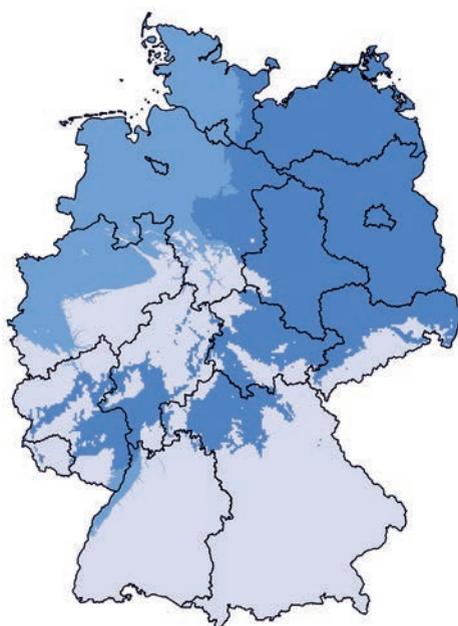


# Hochwertiges Forstvermehrungsgut im Klimawandel

Symposium des Verbundprojektes FitForClim  
vom 14. bis 15. Juni 2016 in Chorin





Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.)  
Hochwertiges Forstvermehrungsgut im Klimawandel

Dieses Werk ist lizenziert unter einer  
[Creative Commons  
Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen  
4.0 International Lizenz.](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



erschienen als Band 16 der Reihe  
„Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt“  
in den Universitätsdrucken im Universitätsverlag Göttingen 2017

---

Nordwestdeutsche  
Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.)

# Hochwertiges Forstvermehrungsgut im Klimawandel

Symposium des Verbundprojektes  
FitForClim vom 14. bis 15. Juni 2016  
in Chorin

Beiträge aus der  
Nordwestdeutschen  
Forstlichen Versuchsanstalt  
Band 16



Universitätsverlag Göttingen  
2017

## Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Global Forest Decimal Classification: 111.83, 165.46, 165.6, 181.2, 232.12, 232.31, 232.311.2, 232.311.3

### *Herausgeber der Reihe:*

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)  
Grätzelstr. 2, D-37079 Göttingen  
Tel.: +49 (0)551-69401-0, Fax: +49 (0)551-69401-160  
E-Mail: [zentrale@nw-fva.de](mailto:zentrale@nw-fva.de)  
[www.nw-fva.de](http://www.nw-fva.de)

*Schriftleitung der Reihe:* Prof. Dr. Hermann Spellmann

*Redaktion der Reihe:* Inge Kehr, Ulrike Gaertner

*Gastredaktion:* Dr. Meik Meißner, Dr. Katharina Volmer

Das Verbundprojekt „FitForClim“ wurde vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages gefördert (Förderkennzeichen: 28WB400701). Die Autorinnen und Autoren sind für den Inhalt ihrer Artikel selbst verantwortlich.

*Layout der Titellabbildung:* Etta Paar, Dr. Katharina Volmer, Christoph Stiehm, André Hardtke und Dr. Wilfried Steiner (*Logo*)

*Titelfotos: oben links:* Vera Bonn; *Mitte unten:* NW-FVA Archiv; *übrige:* André Hardtke

### *Zitiervorschlag:*

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.) 2017: Hochwertiges Forstvermehrungsgut im Klimawandel. Symposium des Verbundprojektes FitForClim vom 14. bis 15. Juni 2016 in Chorin. Beiträge aus der NW-FVA, Band 16, 147 S.

Dieses Buch ist auch als freie Onlineversion über die Homepage der NW-FVA, des Verlags sowie über den Göttinger Universitätskatalog (GUK)

bei der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen (<http://www.sub.uni-goettingen.de>) erreichbar.

Es gelten die Lizenzbestimmungen der Onlineversion.

© 2017 Universitätsverlag Göttingen

<http://univerlag.uni-goettingen.de>

ISBN: 978-3-86395-319-5

DOI: <https://doi.org/10.17875/gup2017-1062>

eISSN: 2512-594X

## **Inhaltsverzeichnis**

### **Vorwort**

(Alwin Janßen)

V

### **Forstpflanzenzüchtung in Schweden und die Vorteile von Samenplantagen**

(Finnvid Prescher)

1

### **Ansprüche der Forstbaumschulen an die Forstpflanzenzüchtung, hochwertiges Vermehrungsgut und die Abnehmer der Pflanzen**

(Alain Paul)

3

### **FitForClim – Bereitstellung von leistungsfähigem und hochwertigem Forstvermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft**

(Meik Meißner)

5

Zusammenfassung

5

Abstract

6

1 Rahmenbedingungen

7

2 Das Projekt FitForClim – eine Zusammenarbeit von Bundes- und Landeseinrichtungen

7

3 Bundesweiter Austausch langjähriger Versuchsdaten der Forstpflanzenzüchtung

8

4 Plusbaumauswahl und Aufbau einer neuen Zuchtpopulation

9

5 Verwendungszonen für Forstvermehrungsgut

10

6 Weitere Arbeiten im Projektverbund

11

7 Ausblick

11

Literatur

12

### **Plusbaumkartierung: Der Weg aus dem Bestand in die Projektdatenbank**

(Lena Peter, Meik Meißner, Wilfried Steiner, Alwin Janßen)

13

Zusammenfassung

13

Abstract

14

1 Die Projektdatenbank

14

2 Plusbaumauswahl

16

3 Sicherung und Bereitstellung des genetischen Materials

17

<b>Gestern, heute, morgen – Forstpflanzenzüchtung am Beispiel der Fichte</b>	<b>21</b>
(Katharina Volmer, Meik Meißner, Wilfried Steiner, Alwin Janßen)	
Zusammenfassung	21
Abstract	22
1 Die „Gemeine Fichte“	23
2 Projektstatus Gemeine Fichte	26
3 Erkenntnis und Ausblick	33
Literatur	35
<b>Verwendungszonen für Vermehrungsgut von Douglasie auf Basis von Klimadaten und Herkunftsversuchen</b>	<b>39</b>
(Katharina J. Liepe, Mirko Liesebach)	
Zusammenfassung	39
Abstract	40
1 Einleitung	41
2 Material und Methoden	43
3 Ergebnisse und Diskussion	46
4 Umsetzung im Aufbau von Zuchtpopulationen	51
5 Schlussfolgerung	52
Literatur	53
<b>Regressionsanalytischer Ansatz zur versuchsübergreifenden Auswertung von Herkunfts-Versuchen mit Wald-Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i> L.)</b>	<b>55</b>
(Jörg Schröder, Volker Schneck)	
Zusammenfassung	55
Abstract	56
1 Einleitung und Zielsetzung	56
2 Methodischer Ansatz und Datenaufbereitung	56
3 Analyse und Ergebnisse	59
4 Diskussion und Schlussfolgerungen	62
Literatur	63

---

<b>Gattung <i>Larix</i> – unterschätzte Potenziale</b>	<b>65</b>
(Heino Wolf, Christian Steinke)	
Zusammenfassung	65
Abstract	66
1    Einleitung	67
2    Stand des Wissens	68
3    Bisherige Ergebnisse des Verbundvorhabens FitForClim bei der Gattung Lärche	70
4    Perspektiven in Züchtung und Anbau	74
Literatur	77
<b>Entwicklung eines Saatguterntekonzeptes für Stiel- und Trauben-Eiche</b>	<b>81</b>
(André Hardtke, Meik Meißner, Wilfried Steiner, Alwin Janßen)	
Zusammenfassung	81
Abstract	82
1    Einleitung	83
2    Entwicklung eines Saatguterntekonzeptes	86
3    Erste Ergebnisse	90
4    Ausblick	97
Literatur	99
<b>Grundlagen zur Züchtung beim Berg-Ahorn im Rahmen des Verbundprojektes „FitForClim“ gelegt</b>	<b>103</b>
(Kinga Jánosi, Charalambos Neophytou, Alexander Braun, Monika Konnert)	
Zusammenfassung	103
Abstract	104
1    Einleitung und Zielsetzungen	104
2    Arbeitsschritte	105
3    Erkenntnisse und Ausblick	107
Literatur	108

<b>Genetische Variation bei Berg-Ahorn in Deutschland: Erkenntnisse aus molekulargenetischen Daten und Anbauversuchen</b>	<b>109</b>
(Charalambos Neophytou, Barbara Fussi, Monika Konnert)	
Zusammenfassung	109
Abstract	110
1    Einleitung	111
2    Material und Methoden	112
3    Ergebnisse	113
4    Diskussion	118
5    Schlussfolgerungen und Ausblick	120
Literatur	121
<b>Hydraulische Xylem-Leitfähigkeit und Leitfähigkeitsverlust – geeignete Weiser für die Trockenstressresistenz von <i>Picea abies</i> (L.) H. KARST.-Klonen?</b>	<b>123</b>
(André Zeibig, Heino Wolf)	
Zusammenfassung	123
Abstract	124
1    Einleitung	125
2    Material und Methoden	127
3    Ergebnisse und Diskussion	128
4    Resümee	135
Literatur	136
<b>Fazit und Schlusswort des Symposiums</b>	<b>139</b>
(Monika Konnert)	
<b>Danksagung</b>	<b>141</b>

## Vorwort

Der vorliegende Tagungsband ist das Ergebnis des Symposiums „Hochwertiges Forstvermehrungsgut im Klimawandel“, das am 14. und 15. Juni 2016 in Chorin stattfand. Es stellte Ergebnisse aus dem Projekt „Bereitstellung von leistungsfähigem und hochwertigem Forstvermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft (FitForClim)“ in Vorträgen und Postern sowie auf einer Exkursion vor. Das Projekt „FitForClim“ wird von allen forstlichen Forschungsanstalten des Bundes und der Länder getragen und ist entstanden aus der Erkenntnis, dass zukünftige Herausforderungen auf dem Gebiet der Forstpflanzenzüchtung nur in einer Zusammenarbeit bewältigt werden können. Das Symposium wurde zusammen mit dem Deutschen Forstwirtschaftsrat und dem Verband Deutscher Forstbauschulen organisiert.

Seit etwa zehn Jahren wird ein notwendiger Neuanfang der Forstpflanzenzüchtung im Kollegenkreis diskutiert. Dieser wurde mit gemeinsamen Vorträgen und Veröffentlichungen auf den Weg gebracht. Über die Diskussionen zur Waldstrategie 2020 des Bundeslandwirtschaftsministeriums und nach dem Workshop Forstpflanzenzüchtung im November 2011 kam es zur Erstellung der Züchtungsstrategie für sechs Baumarten. Die Züchtungsstrategie ist 2013 im Thünen-Report 71 veröffentlicht worden. Dank der Förderung über den Waldklimafonds ist 2014 die Umsetzung angelaufen.

Nutznießer dieser Züchtungsprogramme und -strategien sind die Produzenten von Forstpflanzen und die Waldbesitzer gleichermaßen. Neben der Steigerung des Holztrages und der Holzqualität haben die genetische Vielfalt und damit die Anpassungsfähigkeit zukünftiger Wälder eine hohe Priorität. Es geht dabei um Risikominimierung bei sich ändernden Umwelt- und Produktionsbedingungen.

Dank gilt allen, die zum Gelingen des Symposiums beigetragen haben. Ohne die finanzielle Förderung über den Waldklimafond wäre die Durchführung des Projektes nicht möglich gewesen. Daher wird dem Bundeslandwirtschaftsministerium und dem Bundesumweltministerium dafür gedankt. Unser Dank gilt auch der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung als Projektträger und als Ansprechpartner.

Im Namen aller Teilprojektleiter

Dr. Alwin Janßen

(Leiter der Abteilung Waldgenressourcen der  
Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt)

---

<sup>1</sup> LIESEBACH, M.; DEGEN, B.; GROTEHUSMANN, H.; JANßEN, A.; KONNERT, M.; RAU, H.-M.; SCHIRMER, R.; SCHNECK, D.; SCHNECK, V.; STEINER, W.; WOLF, H. (2013): Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep. 7, 78 S.



# Forstpflanzenzüchtung in Schweden und die Vorteile von Samenplantagen<sup>1</sup>

*Finnvid Prescher*

## **Zusammenfassung**

Die Forstpflanzenzüchtung in Schweden begann im Jahr 1938. Eine erste Samenplantage mit ausgewählten Plusbäumen wurde 1948 angelegt. Seitdem sind mehrere hundert Plantagen errichtet worden, meist Kiefern- und Fichtensamenplantagen, aber auch Plantagen der Baumarten Birke, Stieleiche, Buche, Schwarzerle, Douglasie u. a. Heute existieren Kiefern- und Fichtensamenplantagen für ganz Schweden, außer für den nördlichsten Teil ( $> 67^\circ$  nördliche Breite). In den Jahren 1948-1965 wurde die erste Serie Samenplantagen angelegt. Nachkommen dieser Plantagen haben rund 10 % höhere Zuwächse als Nachkommen aus einem anerkannten Saatguterntebestand. Die Anzahl der Plusbäume aus der ersten Serie erwies sich als zu gering, um ein nachhaltiges Züchtungsprogramm aufzubauen. Deshalb wurden in den 70er-Jahren neue Plusbäume ausgewählt, mit dem Ziel, ein Züchtungsprogramm aufzubauen, das bis zur nächsten Eiszeit nachhaltig ist. Die zweite Serie Samenplantagen wurden 1980-1992 angelegt. In der zweiten Serie sind nur einzelne Kreuzungen (2. Generation) als Klone in den Samenplantagen vertreten, meist sind es alte und neue Plusbäume, die für die Saatgutproduktion genutzt wurden. Der genetische Gewinn von diesen Plantagen ist ein 10-14 % höherer Zuwachs. Seit 2003 wird die dritte Runde Plantagen gepflanzt. Das Programm

---

<sup>1</sup> Zusammenfassung des Redebeitrags

wurde abgeschlossen und die letzten Plantagen im Jahr 2017 angelegt. Diese Plantagen bestehen fast nur aus Klonen der 2. Generation und haben einen erwarteten Zuwachsgewinn von 23-26 %.

Neben den höheren Zuwächsen haben Samenplantagen mehrere andere Vorteile. Ihre Nachkommen verfügen über verbesserte qualitative Eigenschaften wie z. B. Astwinkel, Anzahl von Ästen, Astdurchmesser, Schaftform und Holzdichte. Durch die Erkenntnisse aus Nachkommenschaftsprüfungen ist es möglich, die Pflanzen auf den richtigen Standort zu pflanzen. Dies ist im Klimawandel von größter Bedeutung. In Schweden hat man die Verwendungsempfehlungen um einen halben Breitengrad nach Norden ausgedehnt, damit die Bäume an das Klima im Jahr 2050 besser angepasst sind.

**Stichworte:** Samenplantagen, Schweden, Züchtung, Klimawandel

Autor:

Dr. Finnvid Prescher  
Svenska Skogsplantor  
Fröverksamheten, Åbyforsvägen  
S-34151 Lagan  
[finnvid.prescher@skogsplantor.se](mailto:finnvid.prescher@skogsplantor.se)

# **Ansprüche der Forstbaumschulen an die Forstpflanzenzüchtung, hochwertiges Vermehrungsgut und die Abnehmer der Pflanzen<sup>1</sup>**

*Alain Paul*

## **Zusammenfassung**

Die deutschen Forstbaumschulen sind meist Familienbetriebe des Mittelstandes, die zum Teil seit Generationen hochspezialisiert forstliches Vermehrungsgut aufbereiten (inkl. Saat), produzieren und vertreiben. Etwa 100 Betriebe sind an über 120 Standorten in Deutschland im Verband Deutscher Forstbaumschulen (VDF) e. V. organisiert, wobei der Verband eine reine Interessenvertretung ist und keine ökonomische Funktion erfüllt. Es erfolgt keine Regulierung wie z. B. bei einer kartellrechtlichen Erzeugergemeinschaft. Die Forstbaumschulen produzieren in etwa zu gleichen Mengen Laub- und Nadelholzpflanzen; wurzelnackt und zu ca. 5 % als Containerpflanzen. Über 250 Millionen Jungpflanzen verteilen sich auf kaum 30 Arten inkl. der Neophyten (Gastbaumarten). Zusätzlich kommen Saatgewinnung und Produktion aller ökologisch wichtigen heimischen Feldgehölze für die Florenanreicherungen in Wald/Trauf und Flur hinzu.

Der VDF teilt die berechtigte Sorge der Waldbesitzer und der forstlichen Forschung, den Bedarf an verbessertem Saatgut decken zu können, welches sowohl an den Klimawandel angepasst ist als auch eine bessere Qualität aufweist. Wir unter-

---

<sup>1</sup> Zusammenfassung des Redebeitrags

stützen die Initiative „FitForClim“ und tragen mit allen uns möglichen Mitteln dazu bei, den Sektor des forstlichen Vermehrungsgutes zu stärken.

Grundsätzlich vertritt der VDF die folgenden Standpunkte:

- Der Deutsche Wald muss kernwüchsig, artenreich und klimastabil bleiben
- Agrarholz und Energiewald sind nicht das ideale Waldbild unseres Landes
- Der Saatgutsektor muss überwiegend privat und unreguliert bleiben
- Saatgutplantagen dürfen nicht zu einem unfairen oder einem staatlichen Geschäft werden
- Ohne eine koordinierte EU-weite Kontrolle ist die nationale Anzucht in Deutschland sicherer
- Saatgut ist frei von Klon- und Markenschutz zu halten
- Genetische Manipulation ist tabu

**Stichworte:** Forstvermehrungsgut, Forstbaumschule, Klimawandel, Saatgut, Herkünfte, Versorgung

Autor:

Alain Paul

Verband Deutscher Forstbaumschulen e. V.

Johannes-Kepler-Ring 1

D-22846 Norderstedt

vdf@konzert.com

## **FitForClim – Bereitstellung von leistungsfähigem und hochwertigem Forstvermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft**

FitForClim – Procurement of highly productive and suitable forest reproductive material for future forests under climate change

*Meik Meißner*

### **Zusammenfassung**

Das Verbundvorhaben „FitForClim“ schafft die Grundlagen für eine nachhaltige Versorgung mit hochwertigem Forstvermehrungsgut, welches durch hohe genetische Vielfalt unter den Bedingungen des Klimawandels ein produktives Wachstum in stabilen und anpassungsfähigen Beständen ermöglicht. Im Fokus von „FitForClim“ stehen die Baumarten Gemeine Fichte, Douglasie, Wald-Kiefer, Europäische Lärche, Japanische Lärche, Stiel-Eiche, Trauben-Eiche und Berg-Ahorn. Neben der Steigerung der Wuchsleistung verbunden mit erhöhter Kohlenstoffbindung wird auch eine Qualitätssteigerung verfolgt. Eine länderübergreifende, bundesweite Zusammenarbeit begünstigt eine Arbeits- und Aufgabenteilung sowie die Standardisierung von Methoden. Auf Basis der gemeinschaftlichen Auswertung langjähriger Versuchsflächen werden Verwendungszonen für Forstvermehrungsgut ausgewiesen. Dabei fließen neben genetischen auch Klima- und

Standortvariablen ein. Deutschlandweit werden nach den Kriterien der Vitalität, Wüchsigkeit und Stammqualität 4.200 Plusbäume auf Versuchsflächen und ergänzend in Beständen ausgewählt. In der Vegetationsruhe ernten Baumsteiger Reiser aus den Baumkronen, die anschließend durch Pfropfung vermehrt werden. Parallel wird für alle Plusbäume ein genetischer Fingerabdruck erstellt. Das genetische Potenzial der Plusbäume soll langfristig in Klonarchiven gesichert werden. Dadurch wird mit dem Verbundprojekt „FitForClim“ die Grundlage für den Aufbau neuer hochwertiger und genetisch diverser Samenplantagen gelegt.

**Stichworte:** Klimawandel, Forstvermehrungsgut, Holzproduktion, Holzqualität, Verwendungszonen, Samenplantagen

## Abstract

With the “FitForClim” joint project the foundation is laid for a sustainable supply of high quality forest reproductive material. The high genetic diversity of this material will make productive growth in stable and adaptive stands possible, even under changing climate conditions. The “FitForClim” project focuses on the tree species Norway spruce, Douglas fir, Scots pine, European larch, Japanese larch, pendunculate oak, sessile oak and sycamore maple, with the goal of increasing growth (and the associated carbon sequestration), while at the same time improving quality. A collaborative approach, spanning German federal borders, facilitates the allocation of tasks and the standardization of methodology. On the basis of a joint analysis of long-term experimental plots, seed deployment zones for forest reproductive material will be designated. In doing so, genetic as well as climate and site factors will be considered. From experimental plots and stands across Germany, 4200 plus-trees are to be selected on the criteria vitality, growth and trunk quality. Buds harvested from the tree canopies during the winter dormancy period will be propagated by grafting. A genetic fingerprint will also be established for each plus-tree. The genetic potential of the plus-trees is to be safeguarded long-term in clone archives. In this way, the “FitForClim” joint project creates the basis for the development of new, improved and genetically more diverse seed orchards.

**Keywords:** climate change, forest reproductive material, timber production, wood quality, deployment zones, seed orchards

## 1 Rahmenbedingungen

Holz ist ein wichtiger nachwachsender Rohstoff, der den Vorzug hat, CO<sub>2</sub> zu speichern und für die Nutzung im stofflich-mechanischen und chemischen Bereich oder als CO<sub>2</sub>-neutrale Energiequelle stetig stärker nachgefragt wird (MANTAU 2006, 2012). Bis 2020 wird eine deutliche Deckungslücke im Holzaufkommen gegenüber der heimischen Holznachfrage prognostiziert (THRÄN et al. 2009). Hinzu kommt ein Nutzungsverzicht von 5 % der bisher bewirtschafteten Waldfläche (bzw. 10 % der öffentlichen Waldfläche). Diese Umstände fordern von der Forstwirtschaft eine Erhöhung der Holzproduktion auf gleichbleibender oder sogar geringerer Fläche. Neben der Verbesserung der Bewirtschaftungsmethoden und der Mobilisierung bisher ungenutzter Vorräte bietet auch die Steigerung der Holzproduktion durch Forstpflanzenzüchtung eine Möglichkeit, dieser Herausforderung zu begegnen. Dies sind die Rahmenbedingungen für das vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) aus dem Waldklimafonds geförderte Verbundprojekt „FitForClim“.

## 2 Das Projekt FitForClim – eine Zusammenarbeit von Bundes- und Landeseinrichtungen

In diesem Verbundprojekt werden durch die Zusammenarbeit der Bundes- und Landeseinrichtungen, die Forstpflanzenzüchtung in Deutschland betreiben, die Züchtungsbemühungen bei sechs Baumarten bundesweit intensiviert. Bei diesen Baumarten(-gruppen) handelt es sich um Douglasie, Europäische/Japanische Lärche, Berg-Ahorn, Gewöhnliche Fichte, Gemeine Kiefer und Stiel-/Trauben-Eiche.

Das Vorgehen im Projekt orientiert sich stark an der „Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland“ (LIESEBACH et al. 2013). Um in verhältnismäßig kurzer Zeit (15 Jahre) zu Ergebnissen zu gelangen, ist es wichtig, dass die bereits vorhandenen Züchtungsvorarbeiten genutzt werden. Daher wurden zu Beginn der Projektlaufzeit die bundesweiten Daten langjähriger Versuchsflächen (Herkunftsversuche, Nachkommenschafts- und Klonprüfungen), Klonarchive und Samenplantagen aus sechs Jahrzehnten Züchtungsarbeit evaluiert und aufbereitet, um sie in einer projekteigenen Datenbank zu speichern und erstmals für eine bundesweite Auswertung verfügbar zu machen. Diese Daten bilden die Grundlage für die Auswahl von besonders für die Züchtung geeigneten Bäumen (Plusbäume) und die Ausweisung von Verwendungszonen für forstliches Vermehrungsgut (MEIBNER et al. 2015).

### 3 Bundesweiter Austausch langjähriger Versuchsdaten der Forstpflanzenzüchtung

Die „FitForClim-Datenbank“ beinhaltet 1.045 Flächen (Stand Juni 2016) verteilt über die 6 Baumarten(-gruppen) (s. Abb. 1). Die Flächen verfügen teilweise über genetische Informationen von Herkünften bzw. Einzelbäumen, die in Beständen schon seit Jahrzehnten verloren gegangen sein könnten. Der Zugriff auf diese breite Datengrundlage sowie zum Teil bereits mehrfach im bisherigen Züchtungs-bemühungen geprüft, selektiertes und in der Vergangenheit gesichertes Material, ermöglicht die zielgerichtete, innerhalb des Projektes standardisierte Auswahl geeigneter Plusbäume auf Versuchsflächen.

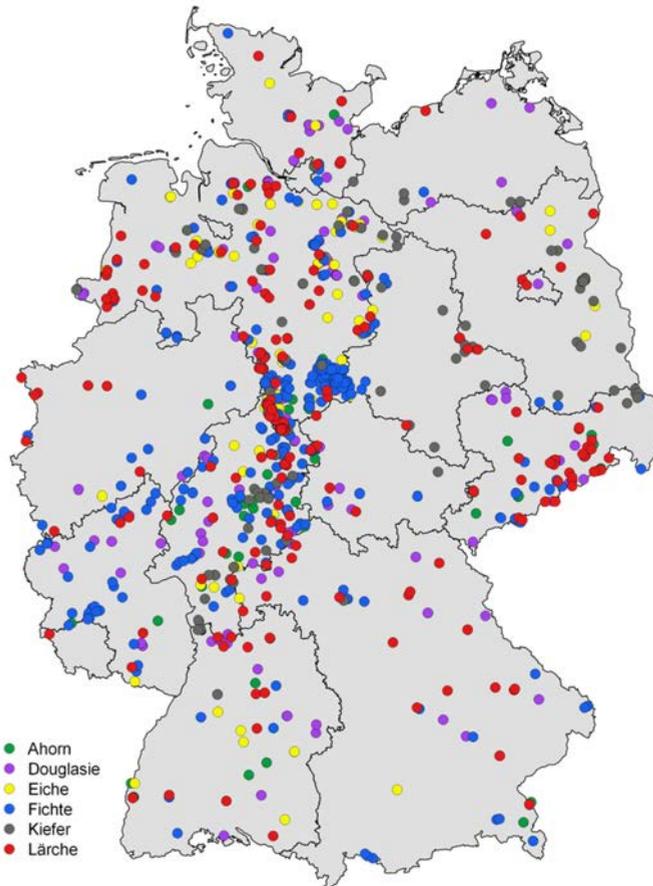


Abbildung 1: Bundesweite Verteilung der Flächen (N = 1.045) der Forstpflanzenzüchtung (FitForClim-Datenbank, Stand Juni 2016)

Kriterien für die rechnerische Auswahl von Plusbäumen auf den Versuchsflächen sind vor allem Durchmesser- Höhenwachstum sowie Vitalität und Qualität. Versuchsflächen, die nach wissenschaftlichen Grundsätzen angelegt wurden, erlauben den objektiven Vergleich verschiedener „Prüfglieder“, beispielweise Nachkommenschaften unterschiedlicher Mutterbäume. Dies ermöglicht die Auswahl der am besten geeigneten Generalisten mit breiten Umweltgradienten und guter Anpassungsfähigkeit oder auch von Spezialisten für besondere Standorte oder Verhältnisse (VOLMER et al. 2016).

#### **4 Plusbaumauswahl und Aufbau einer neuen Zuchtpopulation**

Wurden Plusbäume auf Versuchsflächen anhand der Auswertung identifiziert und im Wald ausfindig gemacht, erfolgt noch eine Bonitierung ausgewählter Merkmale vor Ort. Wichtige Qualitätsmerkmale sind dabei beispielweise ein gerader Stamm, verhältnismäßig geringe Astigkeit und Aststärke, großer Astwinkel, Wipfelschäftigkeit und kein Drehwuchs. Nachkommenschaftsprüfungen ermöglichen es, den Erb- bzw. Zuchtwert der jeweiligen Elternbäume zu bestimmen, um auf diesem Wege ebenfalls leistungsfähige Ausleseebäume zu selektieren. Bisher wurden im Projekt über 2.958 neue Plusbäume ausgewählt (Stand Juni 2016) und ihre Position und Merkmale in der Projektdatenbank verwaltet. Bis Ende 2016 sind 4.200 Plusbäume geplant. Diese bilden die Grundlage für die neu aufzubauende Zuchtpopulation. Obwohl ein Großteil der Plusbäume in Versuchen ausgewählt wird, findet auch eine Auswahl in zugelassenen Saatguterntebeständen statt.

Nach der Auswahl erfolgt der Schritt der Vermehrung der Plusbäume über Pfropfung mit dem Ziel, die genetische Information dieser Bäume langfristig in Klonarchiven zu sichern und für den Aufbau neuer leistungsstarker Samenplantagen zu nutzen. Hierfür ernten zertifizierte Baumsteiger im Winter Reiser aus der Krone der Plusbäume, die dann für Pfropfungen auf Veredlungsunterlagen genutzt werden (s. Abb. 2). Parallel zu den Pfropfungen wird auch eine genetische Charakterisierung (genetischer Fingerabdruck) aller ausgewählten Plusbäume durchgeführt.



*Abbildung 2: Eichen-Pfropfling (links) und Pfropflinge von Berg-Ahorn und Eiche im Versuchskamp in Hannover-Münden (rechts)*

## 5 Verwendungszonen für Forstvermehrungsgut

Neben der Begründung einer neuen Zuchtpopulation wird auch auf die Ausweisung von Verwendungszonen für züchterisch bearbeitetes Forstvermehrungsgut (Saatgut der zukünftigen Samenplantagen) hingearbeitet. Verwendungszonen sind baumartenspezifische, großräumige Gebiete mit bestimmten standörtlichen und klimatischen Eigenschaften. Sie sind jedoch nicht mit den Herkunftsgebieten (HKG) des Forstvermehrungsgutgesetzes zu verwechseln. Wo über die HKG die Kontrolle und der Vertrieb von Saatgut geregelt werden, stellen die Verwendungszonen eine Empfehlung für die örtliche Verwendung von Saatgut dar. Die Verwendungszonen sind daher als Ergänzung zu den schon vorhandenen Herkunftsempfehlungen zu sehen. Sie basieren auf der Auswertung langjähriger Versuchsdaten, kombiniert mit der Berücksichtigung klimatischer Verhältnisse. Anhand der Auswertung von Versuchsdaten werden die Wuchseistung und Vitalität der Prüfglieder (z. B. Nachkommen oder Herkünfte) auf Versuchsflächen über Klimavariablen erklärt. Danach erfolgt eine Unterteilung Deutschlands in Zonen entsprechend der erklärenden Klimavariablen, um so die Verwendungszonen zu bilden, welche für jede Baumart unterschiedlich ausfallen werden.

In den Verwendungszonen werden dann zukünftig neue Samenplantagen aufgebaut, deren Individuen unter der Berücksichtigung von Leistung, Qualität, genetischer Vielfalt und insbesondere Klimavariablen zusammengestellt werden. Dadurch kann zukünftig hochwertiges Saatgut produziert werden, welches über eine möglichst hohe Anpassungsfähigkeit gegenüber dem Klimawandel verfügt. Nachhaltige Züchtung ist nicht nur Leistungs- und Qualitätssteigerung, sondern auch Anpassungsstrategie und damit ein wichtiger Beitrag zur Bewältigung des Klimawandels.

## 6 Weitere Arbeiten im Projektverbund

Unter den sich ändernden Klimabedingungen sind vor allem Frost- und Trockenresistenz Eigenschaften, die eine wichtige Rolle für die Anpassungsfähigkeit von Bäumen spielen. In zukünftige Samenplantagen sollten daher nur Plusbäume einbezogen werden, die bei überdurchschnittlicher Wuchsleistung und Qualität auch gegenüber klimatischen Stressfaktoren hinreichend widerstandsfähig sind. Um dies zu überprüfen, werden physiologische Untersuchungen an den Plusbäumen durchgeführt.

Im Projekt werden auch die Mindestanforderungen (Flächengröße und Individuenanzahl) an Erntebestände der Douglasie aus populationsgenetischer Sicht evaluiert. Hierzu fehlen in Deutschland detaillierte Daten zu den Bestäubungsverhältnissen sowie zu Fremdbefruchtungs- und Inzuchtraten in Samenplantagen von Douglasien. Untersuchungen hierzu werden erstmals im Projekt „FitForClim“ durchgeführt.

Weiterhin wird zurzeit an einem Saatguterntekonzept gearbeitet, welches die Erhöhung der Saatgutqualität aus Eichen-Saatguterntebeständen zum Ziel hat. Dieses sieht eine Einzelbaumbeerntung von phänotypisch hervorragenden Individuen und waldbauliche Maßnahmen am Erntebestand vor. Bisher existiert hierzu ein Konzept, welches zukünftig in der Praxis getestet werden soll.

## 7 Ausblick

Die ersten Schritte zur Umsetzung der Züchtungsstrategie und der Bereitstellung von leistungsfähigem und hochwertigem Forstvermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft in Deutschland sind bereits getan. Um die Umsetzung der Züchtungsstrategie konsequent voranzutreiben sind jedoch weitere Schritte notwendig. Hierzu zählt vor allem der Aufbau von Klonarchiven zur langfristigen Sicherung der genetischen Information der Plusbäume sowie die Konzeption und Anlage von Samenplantagen unter der Berücksichtigung der genetischen Diversität. Ein wichtiger Schritt ist auch die Konzeption und Anlage neuer Versuchsflächen im Bereich der Forstpflanzenzüchtung nach einem bundes-

weit einheitlichen Standard. Diese können helfen den neuen Fragestellungen im Zuge des Klimawandels zu begegnen.

Saatgut aus neu aufzubauenden Samenplantagen wird erst mittel- bis langfristig verfügbar sein, jedoch kann die Umwandlung von älteren Versuchsflächen in Saatguterntebestände für die kurzfristige Bereitstellung von hochwertigem Saatgut genutzt werden.

## Literatur

- BELLETTI, P.; MONTELEONE, I.; FERRAZZINI, D. (2007): Genetic variability at allozyme markers in sycamore (*Acer pseudoplatanus*) populations from northwestern Italy. *Canadian Journal of Forest Research*, 37, 2, 395-403
- LIESEBACH, M.; DEGEN, B.; GROTEHUSMANN, H.; JANBEN, A.; KONNERT, M.; RAU, H.-M.; SCHIRMER, R.; SCHNECK, D.; SCHNECK, V.; STEINER, W.; WOLF, H. (2013): Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep. 7, 78 S.
- MANTAU, U. (2006): Kampf um den Rohstoff Holz trotz riesiger Potentiale? *AFZ/Der Wald*, 61 Jg., 3, 111-113
- MANTAU, U. (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklung und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015. Hamburg,, 65 S.
- MEIBNER, M.; JANBEN, A.; KONNERT, M.; LIESEBACH, M.; WOLF, H. (2015): Vermehrungsgut für klima- und standortgerechten Wald. FitForClim ist ein Projekt zur Bereitstellung von leistungsfähigem und hochwertigem Vermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft. *AFZ/Der Wald*, 70 Jg., 11, 24-26
- THRÄN, D.; EDEL, M.; SEIDENBERGER, T. (2009): Identifizierung strategischer Hemmnisse und Entwicklung von Lösungsansätzen zur Reduzierung der Nutzungskonkurrenzen beim weiteren Ausbau der energetischen Biomassenutzung. 1. Zwischenbericht, Technical Report, Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ), Leipzig
- VOLMER, K.; MEIBNER, M.; STEINER, W.; JANBEN, A. (2016): Plusbäume für klima- und standortgerechten Fichtenanbau. *AFZ/Der Wald*, 71 Jg., 9, 39-41

Autor:

Dr. Meik Meißner  
 Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt  
 Abteilung Waldgenressourcen  
 Prof.-Oelkers-Straße 6  
 D-34346 Hann. Münden  
 meik.meissner@nw-fva.de  
 www.nw-fva.de  
 www.fitforclim.de

# Plusbaumkartierung: Der Weg aus dem Bestand in die Projektdatenbank<sup>1</sup>

Plus tree selection: from the forest to the database

*Lena Peter, Meik Meißner, Wilfried Steiner, Alwin Janßen*

## Zusammenfassung

Die Projektdatenbank des Verbundprojektes „FitForClim“ dient der Verwaltung der bundesweit vorhandenen Daten zu Versuchsflächen, Samenplantagen und Klonarchiven von und für die beteiligten Projektpartner. Dazu zählen die Metadaten, die Rohdaten (Bonituren) und ein Plusbaumregister für die projektrelevanten Baumarten Fichte, Eiche (Stiel- und Traubeneiche), Douglasie, Berg-Ahorn, Kiefer und Lärche (Europäische und Japanische Lärche)

Die Plusbäume für das Plusbaumregister werden vorwiegend auf Basis der Auswertung von Versuchsdaten, kombiniert mit der Ansprache des Phänotyps vor Ort ausgewählt. Für die Auswahl von Plusbäumen wird zur Auswertung auf die Metadaten und die Rohdaten zurückgegriffen. Die Kartierung der identifizierten Plusbäume sowie der Datenimport in die Projektdatenbank schließen die Plusbaumauswahl ab.

Die ausgewählten und kartierten Plusbäume stehen nach dem Import in der „FitForClim-Datenbank“ jedem Projektpartner zur Einsicht zur Verfügung und

---

<sup>1</sup> Artikel auf Basis des gleichnamigen Posterbeitrags

ihr genetisches Material kann durch Pfropfreisergewinnung und Veredlung in Klonarchiven gesichert werden. Die zukünftige Anlage neuer Samenplantagen mit dem gewonnenen Material gewährleistet dann die Bereitstellung von höherwertigem, leistungsstarken und dem Klima angepassten Forstvermehrungsgut.

**Stichworte:** FitForClim, Plusbaum, Datenbank, Pfropfung

## Abstract

The available data from the experimental plots, seed orchards and clone-archives of the participating partners is stored and maintained in the common database of the joint project „FitForClim“. This includes meta-data, raw data (quality assessments) and a register of plus-trees for the project-relevant tree species – spruce, oak (pendunculate and sessile), douglas fir, sycamore maple, pine and larch (European and Japanese).

The plus-trees for the plus-tree register are selected on-site, based primarily on the analysis of data from experimental plots, combined with consideration of the phenotype. The metadata and raw data form the basis of these analyses. The mapping of the selected plus-trees and the import of the data into the project database concludes the plus-tree selection.

Once imported into the “FitForClim” database, data on the selected and mapped plus-trees is accessible by all project partners and, through the harvesting of buds for grafting and improving, their genetic material can be safeguarded in clone-archives. The establishing of new seed orchards with this material can then guarantee the supply of high quality and productive forest reproductive material which is adapted to the climate.

**Keywords:** FitForClim, plus tree, database, grafting

## 1 Die Projektdatenbank

Die Datenbank von „FitForClim“ ist ein umfassendes Instrument, das bundesweit Versuchsdaten von und für die beteiligten Projektpartner zur Verfügung stellt. Sie dient der länderübergreifenden Auswertung vorhandener Versuche und als Register für neue und alte (auf Samenplantagen) Plusbäume. Die Datenbank gliedert sich in die drei Teilbereiche Metadaten, Rohdaten und Plusbaumregister (s. Abb. 1).



Das Plusbaumregister enthält alle Plusbäume, die im Rahmen des Projekts ausgewählt werden, sowie einige ältere Plusbäume von Samenplantagen. Die Plusbäume bilden die Grundlage für die zukünftigen Zuchtpopulationen.

## 2 Plusbaumauswahl

### 2.1 Methodik

Die Auswahl der Plusbäume lässt sich grundlegend in drei Abschnitte unterteilen:

- Die Auswertung der Versuchsdaten,
- die phänotypische Auslese sowie
- die Kartierung und den Datenimport in die Projektdatenbank.

In einem ersten Schritt werden für die Auswertung der Versuchsdaten die Rohdaten zu den Versuchsflächen der einzelnen Baumarten herangezogen und statistisch überlegene Prüfglieder ausgewählt.

Für Plusbäume in den Versuchsflächen erfolgte eine Vorauswahl geeigneter Prüfglieder anhand von Selektionsindizes (SI) aus den adjustierten und standardisierten Mittelwerten der Wachstumsparameter Höhe und Durchmesser (BHD), sowie gegebenenfalls Formparameter. Bei der Berechnung des SI wurde der Einfluss der einzelnen Parameter gemäß ihrer baumartenspezifischen, waldbaulichen oder züchterischen Relevanz gewichtet ( $f_n$ ):

$$SI = f_1 * \text{Höhe} + f_2 * \text{BHD} + f_3 * \text{Form}$$

Der zweite Schritt ist die phänotypische Auslese auf der Versuchsfläche. Dazu werden die statistisch überlegenen Prüfglieder in den Versuchen aufgesucht. In vielen Fällen müssen die Versuche zuerst rekonstruiert werden, da bei den teilweise nicht mehr aktiven Versuchsflächen keine Flächen- / Parzellenmarkierungen mehr vorhanden sind. Die auf der rekonstruierten Fläche identifizierten Prüfglieder werden anschließend nach phänotypischen Kriterien ausgelesen.

Entspricht der aufgesuchte Baum den Qualitätsanforderungen, wird er im dritten und letzten Schritt nach einem bundesweit standardisierten Schema hinsichtlich seiner allgemeinen und baumartenspezifischen hervorragenden Merkmale kartiert. Auch seine Lage (Koordinaten) und – wenn bekannt – seine Herkunft werden dokumentiert. Die aufgenommenen Daten werden in die Datenbank eingepflegt und somit allen Verbundpartnern als Plusbaumregister zur Verfügung gestellt.

## 2.2 Kriterien der phänotypischen Auslese

Die phänotypische Ansprache und Überprüfung der Kriterien am Baum erfolgt in den Bereichen der allgemeinen Lagedaten, Leistung, Vitalität und Form. Es werden hierfür sowohl baumartenspezifische Merkmale herangezogen als auch baumartenübergreifend gleiche Merkmale.

So werden Zuwachs, Zwiesel- und Steilastbildung sowie Geradschaftigkeit bei allen Projektbaumarten anhand der gleichen Kriterien bestimmt. Gerade beim Zuwachs ist die Einschätzung über die gemessenen Merkmale Höhe und BHD für jede Baumart identisch.

Unterschiede gibt es in der Aufnahme von Parametern, die den spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Baumart oder Gruppierung nach Laub- und Nadelhölzern angepasst sind. Ein Beispiel hierfür ist die Beurteilung der Vitalität. Neben Aspekten der Kronenausformung und des allgemeinen Zustands werden hierfür baumartenspezifische Akzente gesetzt. Bei den Eichenarten wird beispielsweise der Kronenschlüssel nach Roloff herangezogen, bei Douglasie liegt ein besonderes Augenmerk auf der Schütte.

Unter den Formparametern finden sich die meisten individuell angepassten Unterschiede zwischen den Baumarten. Während zum Beispiel bei den Eichenarten das Vorhandensein von Wasserreisern und Rosen eine Rolle spielt, wird bei den Nadelhölzern im Gegensatz zu den Laubhölzern auf die Aststellung geachtet.

Ein Teil der auszuwählenden Plusbäume wird rein nach phänotypischer Qualitätseinschätzung z. B. aus zugelassenen Saatguterntebeständen ausgewählt, wenn nicht das gesamte Kontingent an auszuwählenden Plusbäumen aus Versuchen bereitgestellt werden kann. Dieser Sachverhalt trifft vornehmlich auf die Baumarten Eiche und Bergahorn zu.

## 3 Sicherung und Bereitstellung des genetischen Materials

Ein Ziel von „FitForClim“ ist es, vor dem Hintergrund des sich ändernden Klimas höherwertiges, leistungsstarkes und angepasstes Forstvermehrungsgut bereitzustellen. Durch die Auswahl der wüchsigen und hervorragenden Plusbäume wird hierfür die Grundlage gebildet.

Seit Projektbeginn im März 2014 wurden bis einschließlich Juni 2016 insgesamt 2.958 Plusbäume mit hervorragenden Eigenschaften ausgewählt und in die Projektdatenbank eingepflegt. Diese verteilen sich wie folgt auf die einzelnen Baumarten: 739 Bergahorn, 797 Eichen, 426 Fichten, 724 Douglasien, 239 Kiefern und 33 Lärchen. Die zum Teil großen Unterschiede zwischen den Baumarten sind mitunter der Tatsache geschuldet, dass zu verschiedenen Zeitpunkten einzelne Baumarten schwerpunktmäßig bearbeitet wurden und werden.

Abbildung 2 veranschaulicht die räumliche Verteilung der Plusbäume über das Bundesgebiet. Hierbei ist zu beachten, dass sich eine nicht unerhebliche Anzahl an Punkten aufgrund der Darstellungsart überlagert, da sie sich auf der gleichen Versuchsfläche oder Waldstück befinden.

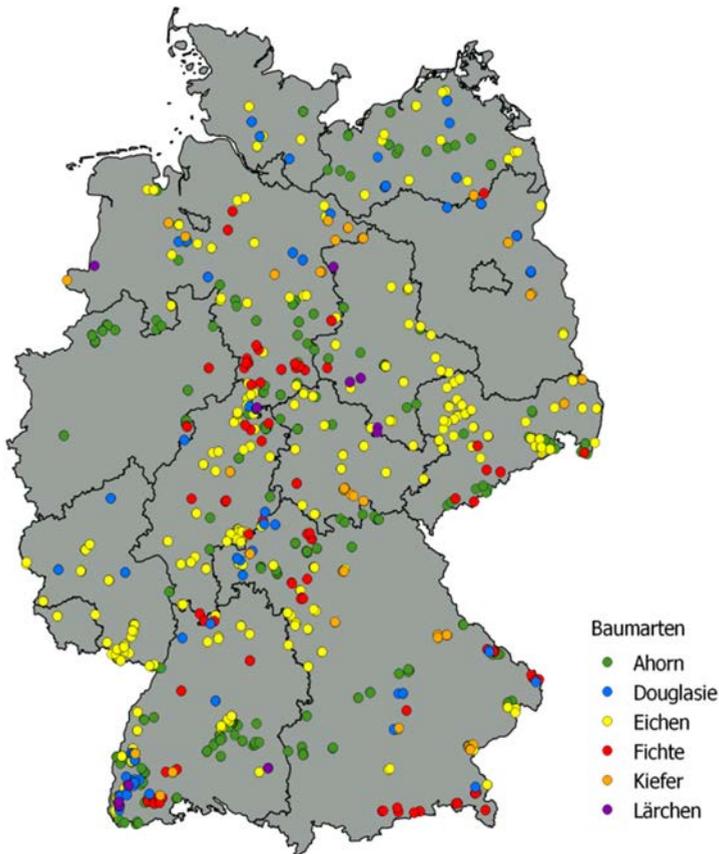


Abbildung 2: Verteilung der Plusbäume (Stand Juni 2016)

Im letzten Schritt werden Pfropfreiser von den ausgewählten Plusbäumen geerntet und diese vegetativ auf Veredlungsunterlagen vermehrt, um die genetischen Informationen der Plusbäume dauerhaft zu bewahren. Durch die zukünftig geplante Anlage von Samenplantagen mit dem gewonnenen Material, kann leistungsstarkes Forstvermehrungsgut für unterschiedliche klimatische Bedingungen zur Verfügung gestellt werden.

Korrespondierende Autorin:

Lena Peter

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Prof.-Oelkers-Strasse 6

D-34346 Hann. Münden

lena.peter@nw-fva.de

www.nw-fva.de

www.fitforclim.de

Dr. Meik Meißner

Dr. Wilfried Steiner

Dr. Alwin Janßen

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt



# **Gestern, heute, morgen – Forstpflanzenzüchtung am Beispiel der Fichte**

Yesterday, today, tomorrow –  
Forest tree breeding using the example of spruce

*Katharina Volmer, Meik Meißner, Wilfried Steiner, Alwin Janßen*

## **Zusammenfassung**

Keine Baumart wurde häufiger gepflanzt, keine Baumart hat eine derart große ökonomische Bedeutung und keine Baumart polarisiert mehr. Für die einen der „Brotbaum“ ist die Fichte für andere zum Sinnbild einer unnatürlichen, klimasensitiven Baumart geworden.

In der mitteleuropäischen Forstpflanzenzüchtung war die Fichte von Anfang an eine der wichtigsten Baumarten. Schon früh wurden mittels phänotypischer Selektion hervorragende Einzelbäume aus überdurchschnittlichen Beständen ausgewählt. Das in Mutterquartieren und Samenplantagen gesicherte und in Herkunftsversuchen, Nachkommenschaftsprüfungen und Stecklingsversuchen noch vorhandene Material bildet heute die Selektionsgrundlage für die Erzeugung von leistungsfähigem und vitalem Vermehrungsgut für die nachfolgenden Generationen.

Insbesondere die Baumart Fichte profitiert von einer einzigartigen Datengrundlage aus 60 Jahren Forstpflanzenzüchtung. Auch unter sich ändernden Klimabedingungen werden für den Fichtenanbau geeignete Standorte verbleiben, auf denen qualitativ hochwertiges Fichtenholz regional und nachhaltig erzeugt werden kann. Für die dazu erforderliche Saatgutproduktion bedarf es vitaler Bäume mit hohem Anpassungspotenzial. Diese Bäume zu identifizieren und für die Forstpflanzenzüchtung zu nutzen ist das Ziel des deutschlandweiten Verbundprojekts „FitForClim“.

Am Beispiel der Fichte werden die einzelnen Auswahlsschritte von der Erstellung eines deutschlandweit einheitlichen Plusbaumaufnahmeschemas, der Sichtung und Auswertung bereits vorhandenen Datenmaterials, der phänotypischen Plusbaumauswahl in Beständen und Versuchsflächen bis hin zur Ausweisung neuer dynamischer Verwendungszonen dargestellt.

**Stichworte:** Fichte, Klimawandel, Forstpflanzenzüchtung, FitForClim

## Abstract

No other tree species has been planted in such numbers, no other tree species is of such great economic importance, and no other tree species is as controversial. Seen by some as a “bread-tree”, for others spruce has become the symbol for unnatural and climate-sensitive tree species.

From the beginning spruce was one of the most important species in central European tree-breeding. Already at an early stage, outstanding trees were selected from above average stands by phenotype selection. This material, which was safeguarded in parent-tree nurseries and seed orchards, and which in provenance experiments, progeny tests and cuttings experiments is still available, forms the basis for generating productive and vigorous reproductive material for the next generation.

For spruce a unique data basis exists resulting from 60 years of forest tree-breeding. Even under changing climate conditions enough suitable sites for spruce will remain, where high quality spruce timber can be produced regionally and sustainably. Vigorous trees with a high adaption potential are required for the necessary seed production. Identifying these trees for use in forest tree-breeding is the goal of the Germany-wide joint project “FitForClim”.

Using spruce as an example, the individual selection steps will be described - from the establishing of a standardized German survey scheme, through the evaluation of available data and the phenotypic Plus-tree selection in stands and experimental plots, to the designation of new dynamic seed deployment zones.

**Keywords:** Norway spruce, climate change, forest tree breeding, FitForClim

## 1 Die „Gemeine Fichte“

Die Gemeine Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) prägt wie keine andere Baumart seit Generationen das Waldbild vieler Regionen. Nicht ohne Grund wurde diese boreale Nadelholzbaumart weit außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebiets angebaut (s. Abb. 1). Ihre Schnellwüchsigkeit und Anspruchslosigkeit hinsichtlich der Bodenqualität machten die Fichte seit jeher zur idealen Baumart für die Aufforstung großer, freier oder devastierter Flächen. Diese Eigenschaften und die im Vergleich zu Laubholz einfachere Ernte von Saatgut sowie das geringere Transportgewicht bei gleichzeitig langer Lagerbarkeit führten bis weit in das vergangene Jahrhundert zur Anlage großer Fichtenreinbeständen (SCHMIDT-VOGT 1988, BROSINGER u. ÖSTREICHER 2009, LIESEBACH et al. 2010).



Abbildung 1: Waldtrakte mit Fichte nach der BWT<sup>3</sup> (grüne Punkte) sowie das potenziell natürliche Verbreitungsgebiet der Baumart (dunkelgrau) aus EUFORGEN 2009 (nach VOLMER et al. 2016)

### 1.1 Fichten von gestern für den Markt von heute

Auch heute noch gilt die Fichte als eine der schnellwüchsigsten und vielseitigsten Baumarten der gemäßigten Zone. Sie ist und bleibt mit 25 % am Gesamtflächenanteil des Waldes die wichtigste Wirtschaftsbaumart Deutschlands (KNOKE 2009, BMEL 2014). Wie keine andere Nadel- oder Laubholzbaumart sichert sie seit alters her die Rohstoffversorgung der Märkte und bildet mit einem Anteil von 51 % am gesamten Rohholzaufkommen bis heute die Basis der Wirtschaftlichkeit vieler Forstbetriebe (POLLEY et al. 2015).

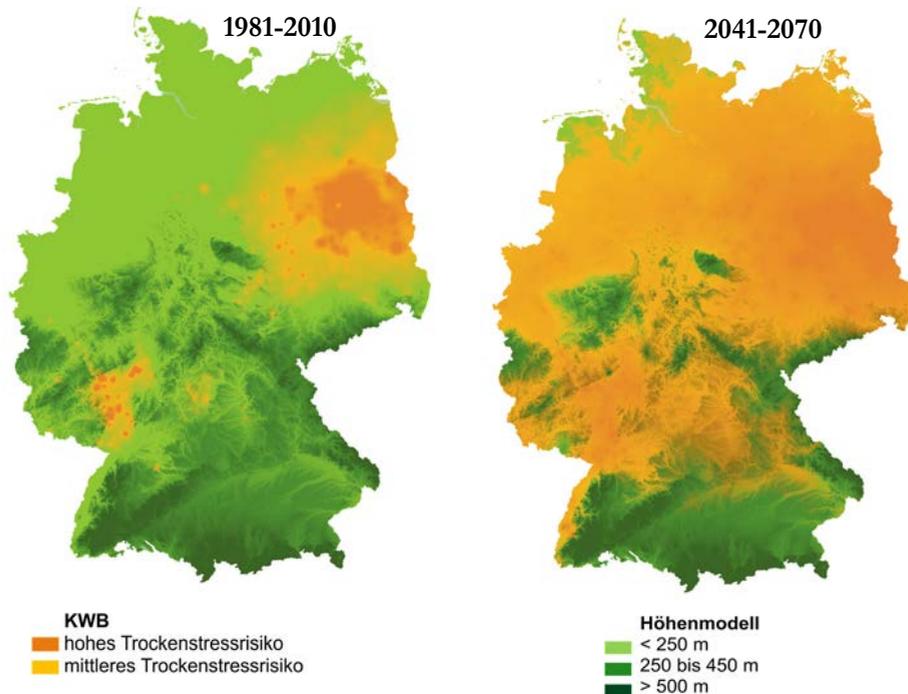
Keine andere Baumart kann sich mit der universellen Einsetzbarkeit von Fichtenholz messen. Die Fichte in ihrer physiologischen Beschaffenheit ist für die Papier-, Zellstoff- und Bauindustrie nur schwer zu ersetzen (BMEL 2014).

Rohstoffe und deren nachhaltige Verfügbarkeit bilden heute die Grundlage jeder Volkswirtschaft. Der Rohstoff Holz, insbesondere Nadelholz ist einer der wenigen Rohstoffe, der innerhalb von Dekaden regenerativ entstehen kann. Bereits heute gilt es, nach dem forstlichen Prinzip der Nachhaltigkeit den einzigartigen Lebensraum Wald einschließlich seiner Leistungsfähigkeit für nachfolgende Generationen uneingeschränkt zu erhalten, um diesen einzigartigen Rohstoff auch in Zukunft nutzen zu können (SPELLMANN 2013, BMEL 2015).

## 1.2 Eine Zukunft für die Fichte

Der Fichtenanbau weit über das potenziell natürliche Verbreitungsgebiet hinaus in großflächigen, kalamitätsempfindlichen Reinbeständen hat in der Vergangenheit immer wieder zu umfangreichen Schadereignissen geführt und schädigte das Ansehen dieser Baumart nachhaltig. Durch die klimatischen Verschiebungen hin zu höheren Temperaturen bei gleichbleibenden oder geringeren (Sommer-)Niederschlägen wird die Anbaueignung und -würdigkeit von Nadelbäumen zusätzlich eingeschränkt (KÖLLING et al. 2008, COLLINS et al. 2013, VOLMER et al. 2016). Dies betrifft bei der Fichte vor allem die tieferen Lagen unter 450 m ü. NN, die sich schon heute aufgrund ihrer Wasserverfügbarkeit (Kombination aus Temperatur, Niederschlag, Bodenqualität) für den Fichtenanbau als grenzwertig erweisen (s. Abb. 2) (SCHMIDT-VOGT 1988, BIERMEYER u. TRETTER 2016).

Nach der weiträumigen Überschreitung des potenziell natürlichen Verbreitungsgebietes dieser Baumart in der Vergangenheit wird es bei sich ändernden Klimabedingungen in den nächsten hundert Jahren in diesen Bereichen zu massiven Anbauflächenverlusten kommen (KÖLLING u. ZIMMERMANN 2007, KÖLLING et al. 2009, JANDL et al. 2012). Den rückläufigen Fichtenanbauflächen steht gleichzeitig eine konstante bis steigende Rohstoffnachfrage gegenüber (SPELLMANN 2013, DESTATIS 2016). Alleine im letzten Jahrzehnt wurden 15 % mehr Fichtenholz (teils verursacht durch Kalamitäten) genutzt, als nachwachsen konnte (POLLEY et al. 2015). Verstärkt wird dieser Effekt noch durch die großflächigen Flächenstilllegungen, z. B. im Rahmen der Bundeswaldstrategie.



*Abbildung 2: Darstellung der Klimatischen Wasserbilanz (KWB) nach RCP 8.5 mit bobem (< -220) und mittlerem (-220 bis -140) Trockenstressrisiko der Fichte (verändert nach NAGEL u. SPELLMANN 2012 sowie SPELLMANN et al. 2011) erweitert um das Höhenmodell für Deutschland*

Um einem Nachfrageüberhang entgegenzuwirken, strebt das Verbundprojekt FitForClim eine Erhöhung der Flächenproduktivität an. Zu diesem Zwecke wird genetisch hervorragendes sowie vitales Pflanzenmaterial mit geeigneter Standortamplitude und Wüchsigkeit für aktuelle und zukünftige Klima- und Vitalitätsanforderungen gezielt selektiert und vermehrt (LIESEBACH et. al. 2013, MEIBNER et al. 2015).

Auch wenn die züchterische Bearbeitung von Waldbäumen in Deutschland nicht mit der Kontinuität anderer Länder und an anderen Nadelbaumarten betrieben wurde, zeigen Nachkommenschaftsprüfungen von phänotypisch selektierten Samenplantagen überlegene Eigenschaften hinsichtlich ihrer Qualität- und Zuwachsleistung (GROTEHUSMANN 2014). Auf der Grundlage dieser Ergebnisse sowie Erkenntnissen aus der Züchtungsarbeit anderer Länder und an anderen Nadelbaumarten wird bei einer 15-jährigen Züchtungsarbeit mit einem Volumenmehrertrag von 10-30 % und mehr gerechnet (CORNELIUS 1994, LEE 1999a, LEE 1999b, PRESCHER 2009, LIESEBACH et. al. 2013).

## 2 Projektstatus Gemeine Fichte

Der Verbund der Institutionen:

- Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Waldgenressourcen,
- Thünen-Institut für Forstgenetik,
- Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht,
- Staatsbetrieb Sachsenforst,
- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg,
- Landesbetrieb Forst Brandenburg,
- Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen,
- Landesforst Mecklenburg-Vorpommern,
- Landesforsten Rheinland-Pfalz,
- und ThüringenForst

ermöglicht erstmalig den deutschlandweiten Zugriff auf Versuchsdaten aus den vergangenen sechs Jahrzehnten (MEIBNER et al. 2015).

### 2.1 Versuchsflächen und Plusbaumauswahl

Aufgrund ihres wirtschaftlichen Wertes für die Forstbetriebe wurde bis Mitte der 80er Jahre die Fichte zum Teil intensiv züchterisch bearbeitet. Deutschlandweit existieren bis heute über 370 Fichten-Versuchsflächen (s. Abb. 3) sowie etwas mehr als 2.000 ausgewählte Plusbäume aus sechs Jahrzehnten Züchtungsarbeit in Samenplantagen. Die Versuchsflächen und Samenplantagen verfügen teilweise über genetische Informationen von Herkünften bzw. Einzelbäumen, die in Beständen schon seit Jahrzehnten verloren gegangen sein können. Der Zugriff auf diese breite Datengrundlage sowie bereits geprüftes, selektiertes und in der Vergangenheit gesichertes Material ermöglicht die zielgerichtete, im Projekt einheitliche, Auswahl geeigneter Plusbäume. Insbesondere über 180 Versuche mit vegetativ vermehrten Material im Zuständigkeitsbereich der NW-FVA bieten zusätzliches Daten- und Erkenntnispotenzial (VOLMER et al. 2016).

Versuchsflächen, die nach wissenschaftlichen Grundsätzen angelegt wurden, erlauben den objektiven Vergleich verschiedener „Prüfglieder“, beispielsweise Nachkommenschaften unterschiedlicher Mutterbäume. Dies ermöglicht die Auswahl der besten Generalisten mit breiten Umweltgradienten und guter Anpassungsfähigkeit hinsichtlich der für die Fichte ausgewählten Kriterien Durchmesser- und Höhenwachstum sowie, bei entsprechender Datenlage, Vitalität und Qualität (Überleben, Stammform, Astigkeit usw.) (VOLMER et al. 2016). Insbesondere Versuchsserien mit mehr als zwei unterschiedlichen Versuchsflächenstandorten, einer möglichst zeitnahen letzten Aufnahme der Flächen und einem Alter von mehr als 20 Jahren wurden bei der Plusbaumsuche berücksichtigt.

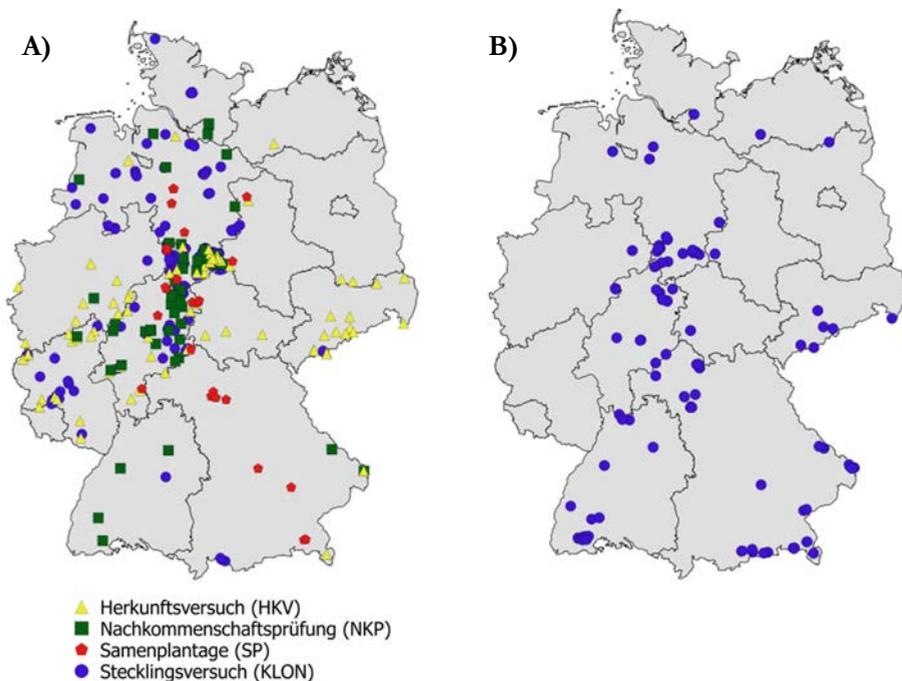


Abbildung 3: A) Versuchsflächen und Samenplantagen aus sechs Jahrzehnten Fichtenzüchtung (Stand: Mai 2016). B) Lage ausgewählter Plusbäume (Stand: Mai 2016,  $n = 391$ , teilweise überlagert)

Alle Berechnungen wurden mit der Statistiksoftware R 3.2.3 durchgeführt (R DEVELOPMENT CORE TEAM 2008). Die Berechnung der Prüfgliedmittel erfolgte mittels eines gemischten Modells aus dem Paket ‚lme4‘, um die Wiederholung im Versuch als Zufallsvariable zu berücksichtigen. Anschließend wurde die Adjustierung der Parzellenmittelwerte mit Hilfe der Funktion ‚lsmmeans‘ aus dem Paket ‚lmerTest‘ vorgenommen. Zuletzt erfolgte eine Standardisierung der Parameter innerhalb jeder Versuchsfläche mittels z-Transformation.

Abschließend wurden die Prüfglieder innerhalb einer Versuchsserie mittels eines Selektionsindexes gewichtet. Für die Plusbaum-Auswahl geeignet waren Prüfglieder, die nach den Selektionsindizes zum besten Viertel, mindestens jedoch zur besseren Hälfte aller Prüfglieder gehörten.

An die statistische Auswertung der Versuchsserien schließt sich ein weiterer Selektionsschritt an. Aus den identifizierten Prüfgliedern werden die phänotypisch herausragendsten Individuen als Plusbäume für das Verbundprojekt FitForClim ausgewählt und mittels der projekteigenen Datenbank verwaltet. Dieses mehrfach selektierte Material wird anschließend durch Pfropfung vermehrt und bildet die Basis für den Aufbau künftiger Zuchtpopulationen (VOLMER et al. 2016).

Zur Sicherung und Ergänzung der genetischen Vielfalt wurden zusätzlich Plusbäume aus den hochwertigsten (Saatguternte-)Beständen der Bundesländer nach einheitlich festgelegten phänotypischen Charakteristika ausgesucht. Mit der Sicherung dieses Materials durch Pfropfungen wurde im Winter 2014/2015 begonnen (VOLMER et al. 2016).

## 2.2 Bildung von Verwendungszonen

Neben der Charakterisierung und Identifizierung von Plusbäumen wurde auch die Ausweisung von großräumigen Verwendungszonen für hochwertiges Vermehrungsgut (als Erweiterung der bisherigen Herkunftsgebiete) mittels klimatisch relevanter Parameter fokussiert (MEIßNER et al. 2015). Geprüft wird, ob eine angeordnete Aufgliederung der Verwendungszonen nach Höhenstufen und Risikopotenzial für Trockenstress durch die Ergebnisse aus großen Herkunftsversuchsreihen gestützt werden kann (VOLMER et al. 2016).

Ein erster Ansatz zur Identifizierung von Variablen, die zur späteren Abgrenzung der Verwendungszonen dienen könnten, besteht in der *Multivariate Regression Tree Analysis* (MRT) (DE'ATH 2002). Das MRT-Modell kann die Wuchsleistung von Prüfgliedern auf verschiedenen Versuchsflächen durch klimatische Kennwerte des ursprünglichen Standorts des Prüfglieds (Ort der Saatgutgewinnung) erklären. Auf dieser Basis können Gruppierungen der Prüfglieder nach ihren standörtlichen Anpassungen vorgenommen und Zuchtpopulationen für Verwendungszonen zusammengestellt werden. Hierzu wurden die Serien mit der höchsten orthogonalen Prüfgliedübereinstimmung zwischen den Versuchsflächen und mit einer möglichst großen Differenz zwischen den Versuchsflächenstandorten ausgewählt (s. Abb. 4).

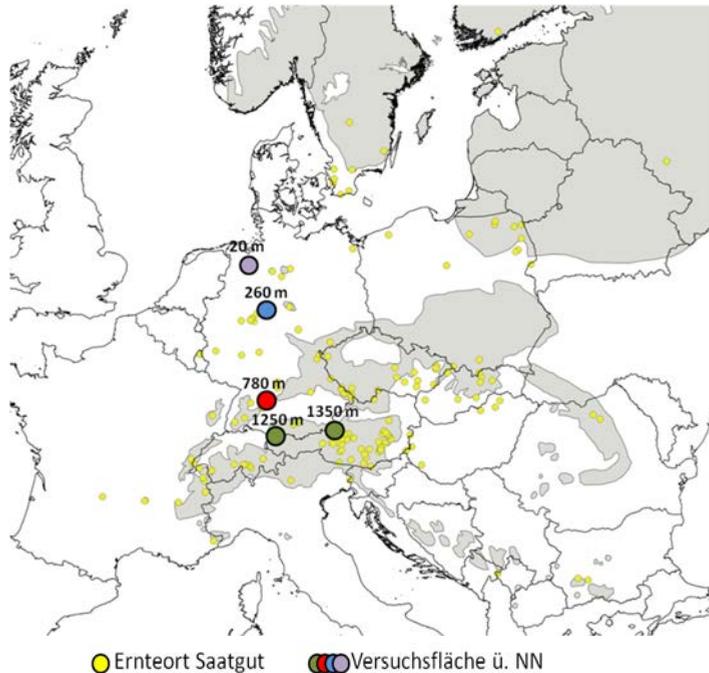


Abbildung 4: Versuchsflächen des Internationalen Fichtenberkuntsversuchs von 1962 (farbige Punkte mit Angabe der Lage ü. NN) sowie Ursprungsorte (gelbe Punkte) der verwendeten 178 Prüfglieder. Das potenziell natürliche Verbreitungsgebiet der Fichte wurde zusätzlich in hellgrau gekennzeichnet (EUFORGEN 2009).

Die Ermittlung der biologisch relevanten Klimadaten als Rechengröße für das MRT-Modell erfolgte mit der Software ClimateEU (<http://tinyurl.com/ClimateEU>, 11.05.2016), die auf dem *Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model* (PRISM) beruht (DALY et al. 2008). Für die Analysen wurden Klimadaten der Normperiode 1981-2010 extrahiert. Anschließend erfolgte die Berechnung der Prüfgliedmittel wie in Kap. 2.1 beschrieben. Das Modell verwendet jährliche und saisonale Klimadaten sowie die aktuellsten Baumhöhendaten der Prüfglieder auf den verschiedenen Versuchsflächen.

Mittels der durch das MRT ausgegebenen Variablengrenzen (Durchschnittstemperatur Frühjahr, Niederschlagsmenge Herbst, Breitengrad und Climatic Moisture Deficite - CMD) lässt sich eine Aufteilung der Prüfglieder in verschiedene Gruppen vornehmen (s. Abb. 5A+B).

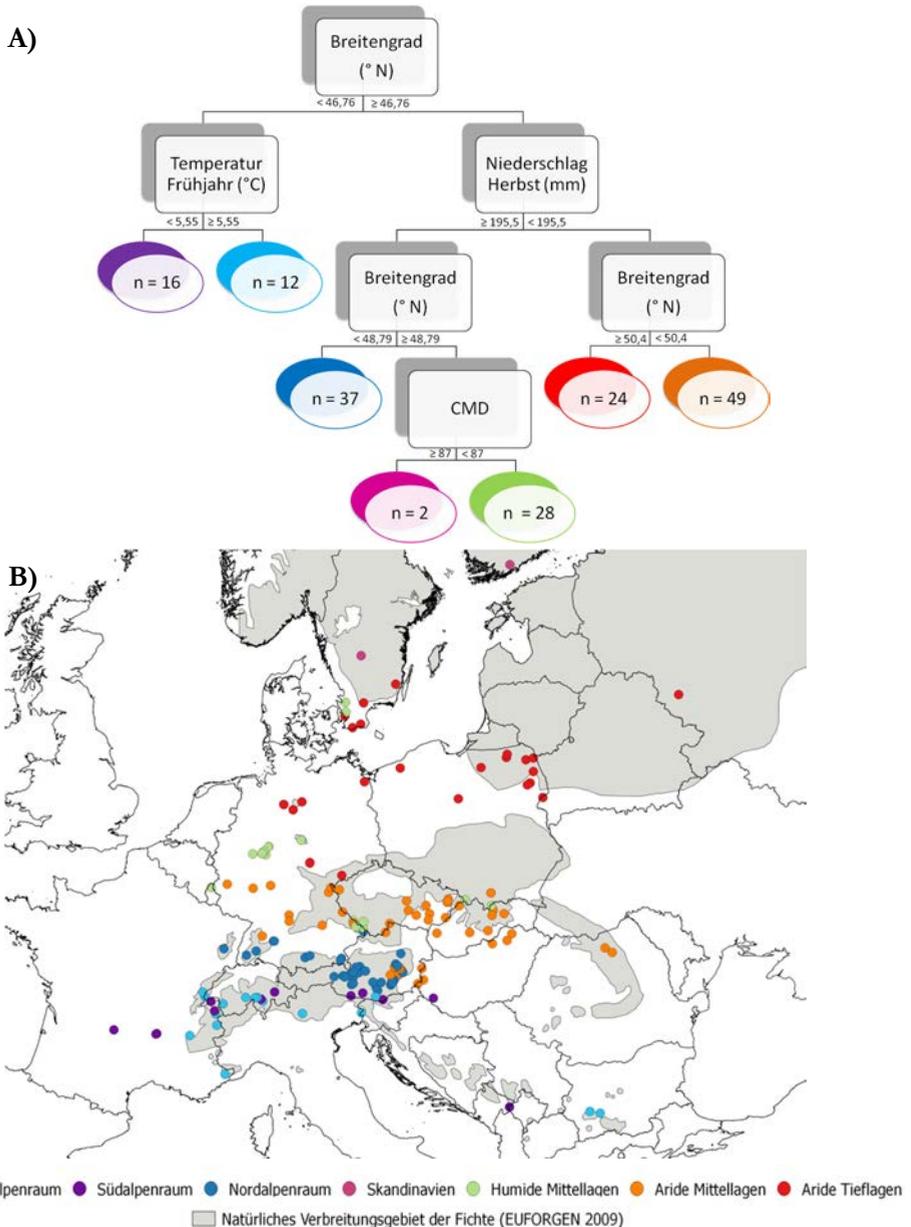


Abbildung 5: Prüfliedgruppierung des Internationalen Fichtenberkungsversuchs von 1962 durch Multivariate Regression Tree Analysis (MRT). A) Die entscheidenden Variablen Temperatur im Frühjahr, Niederschlag im Herbst, Breitengrad und Climatic Moisture Deficits – CMD und ihre Schwellenwerte für die Gruppierung. B) Geografische Visualisierung der Gruppierung unter Verwendung des gesamten Prüfliedsatzes ( $n = 168$ ), wie im Entscheidungsbaum (A) gezeigt.

Bei der in Abb. 5A+B dargestellten Gruppenbildung wurden alle verfügbaren 168 Fichtenherkünfte berücksichtigt, darunter auch zahlreiche von außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes. Zur Klärung der Fragestellung, ob autochthones und somit höchstwahrscheinlich gut an das Ursprungsklima angepasstes Material über ein ähnliches Gruppierungsmuster verfügt, wurde der Datensatz auf Prüfglieder mit vermutlich autochthonem Ursprung reduziert. Durch die in den vergangenen Jahrhunderten stattgefundene weitläufige, unkontrollierte Verbreitung von Fichtensaatgut lässt sich heute die Autochthonie vieler Bestände nicht mehr eindeutig klären (LIESEBACH et al. 2010). Als näherungsweise Kriterium für Autochthonie wurde daher die Lage innerhalb des natürlichen Verbreitungsgebiets verwendet und der Datensatz so auf 98 Prüfglieder reduziert. Das Ergebnis ist in Abb. 6A+B dargestellt.

Trotz der Unterschiede zwischen den Gruppierungsmustern in Abb. 5 und 6 lassen sich bereits bei der Auswertung nur einer Versuchsserie klare Tendenzen erkennen. Für beide Datensätze zeigte sich eine deutliche Trennung zwischen dem südlichen sowie dem nördlichen Alpenraum (inklusive Alpenvorland) und den skandinavischen Herkünften. Im auf „Autochthonie“ reduzierten Datensatz fand keine Gruppierung in Mittel- und Tieflagen statt, diese wurden zusammenfassend als eher sommer-trockene Lagen mittels Summer Heat-Moisture Index ausgewiesen (s. Abb. 6B). Insgesamt weist der auf „Autochthonie“ reduzierte Datensatz mit 98 Prüfgliedern vier, der Gesamtdatensatz mit 168 Prüfgliedern sieben Gruppen aus. Eine umfangreiche Datengrundlage mit einer Prüfglied- und Versuchsflächenverteilung über verschiedenste Standorte kann somit zur Bildung detailgenauerer Verwendungszonen genutzt werden.

Das Ergebnis dieser Auswertung stellt den derzeitigen Stand der Arbeiten dar, weitere Auswertungen stehen noch an. Insbesondere der Abgleich mit anderen Herkunftsserien soll Aufschluss darüber geben, ob bestimmte Variablenmuster/-grenzen sich häufen und wie diese hinsichtlich der Ausweisung von Verwendungszonen zu interpretieren sind. So erscheint eine Beeinflussung des Breitengrads durch die Rückzugsgebiete der Fichte während der letzten Eiszeit möglich und sollte bei zukünftigen Auswertungen weitergehend überprüft werden. Eine Aufteilung von Verwendungszonen nach Höhenstufen sowie dem Risiko für Trockenstress ist somit denkbar.

Die Regionen für die Ausweisung zukünftiger Verwendungszonen werden nach deren zukünftiger Relevanz für den Fichtenanbau ausgewählt bzw. abgegrenzt. In den außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebiets gelegenen Regionen wird der Fichtenanbau zunehmend risikoreicher und unbedeutender werden. Der Bereich für Züchtungsaktivitäten der Fichte im Projekt FitForClim wird sich von der Mitte bis in den Süden Deutschlands erstrecken. Dieser Bereich wird in Verwendungszonen unterteilt, für die zukünftige Zuchtpopulationen zusammengestellt und neue Samenplantagen aufgebaut werden (s. Abb. 7).

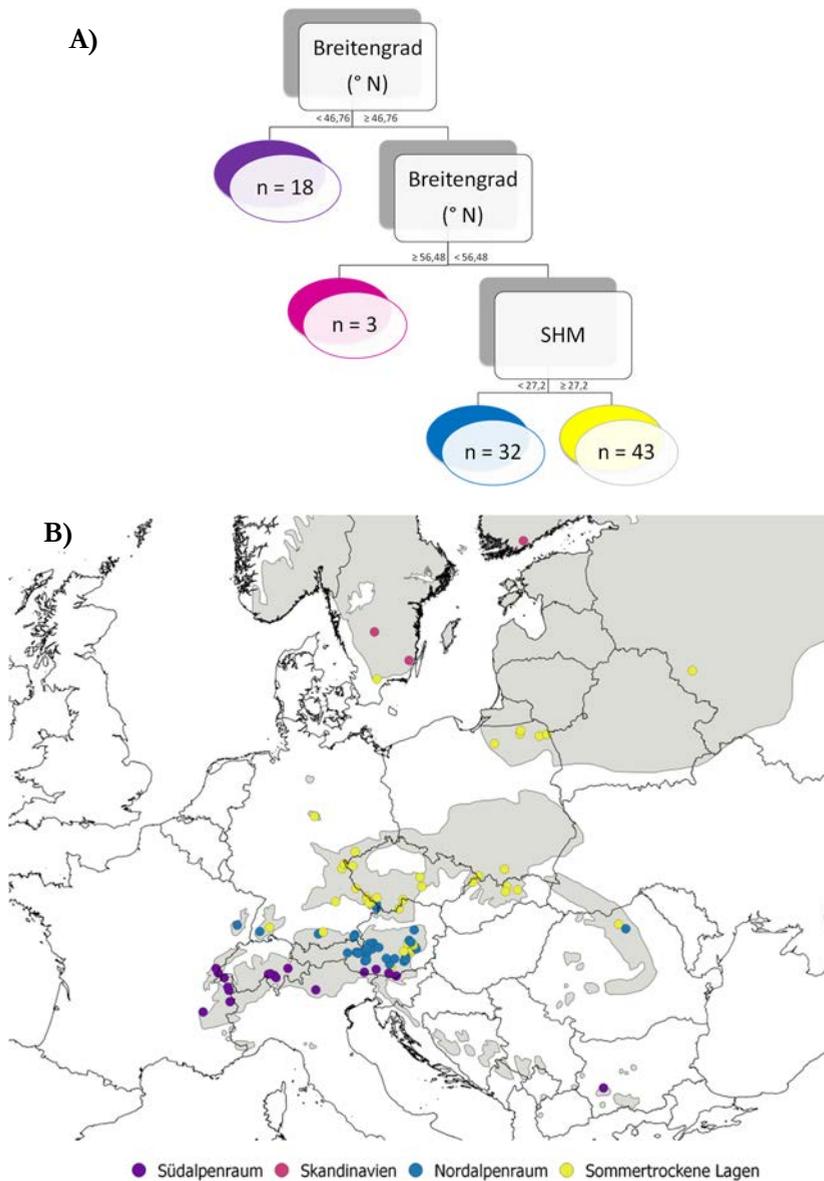


Abbildung 6: Prüfliedergruppierung des Internationalen Fichtenberkungsversuchs von 1962 durch Multivariate Regression Tree Analysis (MRT). A) Die entscheidenden Variablen Breitengrad und Summer Heat-Moisture – SHM und ihre Schwellenwerte für die Gruppierung. B) Geografische Visualisierung der Gruppierung unter Verwendung des als autochthon eingeteilten Prüfliersatzes ( $n = 98$ ), wie im Entscheidungsbaum (A) gezeigt.

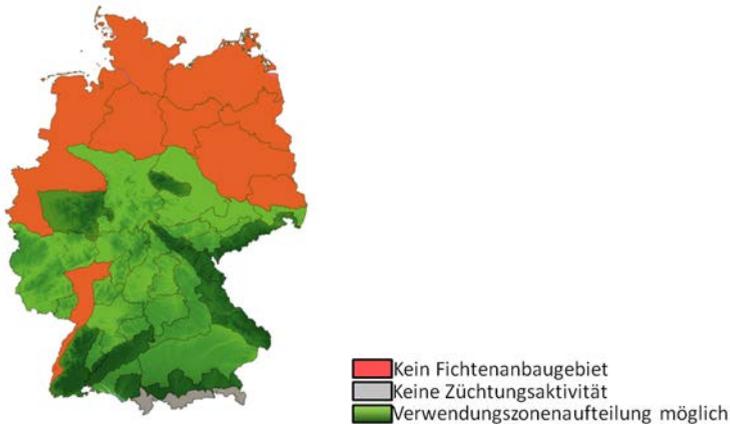


Abbildung 7: Regionale Gliederung Deutschlands für die Züchtungsaktivitäten bei der Baumart Fichte für Deutschland. Die „grünen“ Bereiche sind für eine Verwendungszoneneinteilung ange-dacht.

### 3 Erkenntnis und Ausblick

Zahlreiche Publikationen der nahen Vergangenheit beschäftigen sich mit der waldbaulichen und forstwirtschaftlichen Zukunft der Baumart Fichte und geben Waldbesitzern detaillierte Handlungsempfehlungen (KNOKE 2009, KÖLLING et al. 2009, BIERMEYER u. TRETTER 2016). In keinem anderen Wirtschaftszeig und bei keiner anderen Baumart stehen sich dabei die wechselseitigen Ansprüche von Ökologie und Ökonomie derart ausgeprägt gegenüber (PICKENPACK 2013).

Die hohen Ausfälle der Vergangenheit lehren uns die ökologischen und klimatischen Grenzen des Fichtenanbaus besser zu verstehen und zu berücksichtigen. Nadelholz, Nachhaltigkeit und naturnahe Waldbewirtschaftung müssen einander nicht ausschließen (VOLMER et al. 2016). Durch den standortgerechten Anbau in Mischungen mit Laubhölzern kann auch die Fichte einen wertvollen Betrag für die Vielfalt der Wälder von morgen leisten (BIERMEYER u. TRETTER 2016). Aufgrund der hauptsächlich energetischen Nutzung des Laubholzanteils stellt Fichtenholz zusätzlich die ökonomische Basis für Forstbetriebe sowie die Rohstoffbasis der holzbe- und -verarbeitenden Industrie dar (SPELLMANN 2009).

Um zukünftig nicht am Markt vorbei zu produzieren, wird Nadelholz auf geeigneten Standorten weiterhin eine wichtige Rolle für die Forst- und Holzwirtschaft haben (SPELLMANN 2005, BROSIINGER u. ÖSTREICHER 2009, KNOKE 2009). Schon SPELLMANN (2009) forderte einen langfristig angemessenen, standortgerechten Nadelbaumanteil bei der Bestandesbegründung zu sichern und Kalamitätsnutzung durch die Entwicklung stabiler Mischbestände zu begrenzen. Zur Erreichung dieser Forderung kann hochwertiges und anpassungsfähiges Vermeh-

rungsgut mit geeigneter Standortamplitude und Wüchsigkeit einen hohen Beitrag leisten.

Die Bereitstellung von Züchtungsmaterial in Kombination mit der Ausweisung von Verwendungszonen für das zukünftig produzierte Forstsaatgut ist das mittelfristige Ziel des Verbundprojekts FitForClim. Durch die Selektion genetisch und phänotypisch hervorragender Plusbäume sowie der begonnenen Ausweisung der Verwendungszonen wird die Basis für eine neue klimadynamische Züchtungsarbeit gelegt.

Die langfristig geplanten Zuchtpopulationen und die aus diesen etablierten Samenplantagen für die verschiedenen Verwendungszonen basieren auf diesem ersten Schritt und dienen der Sicherung der Rohstoffversorgung folgender Generationen (s. Abb. 8).

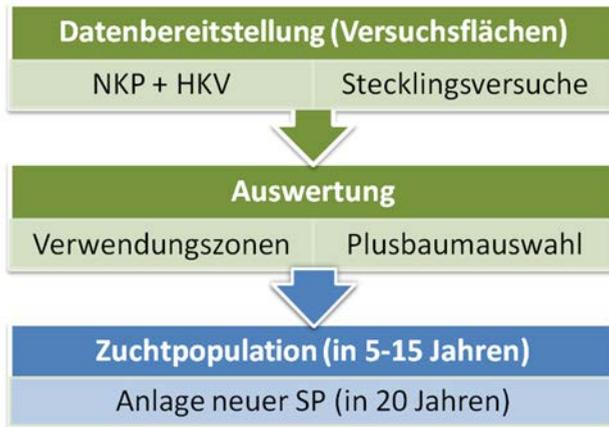


Abbildung 8: Schematische Darstellung der für die Baumart Fichte im Projekt FitForClim laufenden (grün) sowie zukünftig geplanten Arbeiten (blau) (Stand: Juli 2016) (NKP = Nachkommenschaftsprüfung, HKV = Herkunftsversuch, SP = Samenplantage) (verändert nach VOLMER et al. 2016)

Zur mittelfristigen Saatgutversorgung verbleibt die Möglichkeit, bereits vorhandene und fruktifizierende Versuchsflächen mittels der ausgewerteten Datenlage qualitativ zu selektieren und in hochwertige Saatguterntebestände zu überführen. Zudem könnten durch eine genauere Standortkartierung weitergehende Aussagen hinsichtlich der Bodenwasserbeschaffenheit und Nährstoffversorgung der verschiedenen Fichtenstandorte und deren Einfluss auf die Leistungsfähigkeit und möglicherweise die Trockenstressresistenz ausgewählter Plusbäume getroffen werden.

## Literatur

- BIERMAYER, G.; TRETTER, S. (2016): Wie viel Fichte geht noch im Klimawandel? Vorschlag für eine Übergangsstrategie für Hochleistungsstandorte. LWF-aktuell Nr. 108, 44-49
- BROSINGER, F.; ÖSTREICHER, S. (2009): Die Fichte im Wandel. Bayerische Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft – Wissen Nr. 63, 11-15
- BMEL (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT) (2014): Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur, 56 S.
- BMEL (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT) (2015): Nachwachsender Rohstoff Holz, [https://www.bmel.de/DE/Wald-Fischerei/03\\_Holz/\\_texte/NachwachsenderRohstoffHolz.html](https://www.bmel.de/DE/Wald-Fischerei/03_Holz/_texte/NachwachsenderRohstoffHolz.html), Stand: 12.03.15 (abgerufen am 08.07.2016)
- COLLINS, M.; KNUTTI, R.; ARBLASTER, J.; DUFRESNE, J.-L.; FICHEFET, T.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GAO, X.; GUTOWSKI, W.J.; JOHNS, T.; KRINNER, G.; SHONGWE, M.; TEBALDI, C.; WEAVER, A.J.; WEHNER, M. (2013): Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In: STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; DOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Hrsg.): Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 1029-1136, doi:10.1017/CBO9781107415324.024
- CORNELIUS, J. (1994): The effectiveness of plus-tree selection for yield. *Forest Ecology and Management*, Jg. 67, 1-3, 23-34
- DALY, C.; HALBLEB, M.; SMITH, J.I.; GIBSON, W.P.; DOGGETT, M.K.; TYLOR, G.H.; CURTIS, J.; PASTERIS, P.P. (2008): Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States. *International Journal of Climatology*, 28 Jg., 15, 2031-2064. doi: 10.1002/joc.1688
- DE'ATH, G. (2002): Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships. *Ecology*, Jg. 83, 4, 1105-1117
- DESTATIS (STATISTISCHES BUNDESAMT) (2016): <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/LandForstwirtschaftFischerei/WaldundHolz/Aktuell.html;jsessionid=FFA944FDC48F11A39015E5F72B3AB3FC.cae2> (abgerufen am 08.07.2016)
- EUFORGEN (EUROPEAN FOREST GENETIC RESOURCES PROGRAMME) (2009): Distribution maps. <http://www.euforgen.org/distribution-maps/> (abgerufen am 07.07.2016)
- GROTEHUSMANN, H. (2014): Prüfung von Fichten-Samenplantagen. *AFZ/DerWald*, Jg. 69, 5, 6-9
- JANDL, R.; GSCHWANTNER, T.; ZIMMERMANN, N. (2012): Die künftige Verbreitung der Baumarten im Simulationsmodell. Bundesforschungszentrum für Wald – Praxisinformation Nr. 30, 9-12
- KNOKE, T. (2009): Die ökonomische Zukunft der Fichte. Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft – Wissen Nr. 63, 16-21
- KÖLLING, C.; ZIMMERMANN, L. (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*, 67 Jg., 6, 259-268
- KÖLLING, C.; KONNERT, M.; SCHMIDT, O. (2008): Wald und Forstwirtschaft im Klimawandel. Antworten auf 20 häufig gestellte Fragen. *AFZ/Der Wald*, 63 Jg., 15, 804-807
- KÖLLING, C.; KNOKE, T.; SCHALL, P.; AMMER, C. (2009): Überlegungen zum Risiko des Fichtenanbaus in Deutschland vor dem Hintergrund des Klimawandels. *Forstarchiv*, 80 Jg., 2, 42-54
- LEE, S. J. (1999a): Predicted Genetic Gains from Sitka Spruce Production Populations. Research Information Note. Forestry Commission, Edinburgh
- LEE, S. J. (1999b): Genetic Gain from Scots Pine: Potential for New Commercial Seed Orchards. Research Information Note. Forestry Commission, Edinburgh
- LIESEBACH, M.; RAU, H.-M.; KÖNIG, A.O. (2010): Fichtenherkunftsversuch von 1962 und IUFRO-Fichtenherkunftsversuch von 1972. Ergebnisse von mehr als 30-jähriger Beobachtung in Deutschland. *Beiträge aus der NW-FVA*, Bd. 5, 467 S.

- LIESEBACH, M.; DEGEN, B.; GROTEHUSMANN, H.; JANBEN, A.; KONNERT, M.; RAU, H.-M.; SCHIRMER, R.; SCHNECK, D.; SCHNECK, V.; STEINER, W.; WOLF, H. (2013): Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep. 7, 78 S.
- MEIBNER, M.; JANBEN, A.; KONNERT, M.; LIESEBACH, M.; WOLF, H. (2015): Vermehrungsgut für klima- und standortgerechten Wald. FitForClim ist ein Projekt zur Bereitstellung von leistungsfähigem und hochwertigem Vermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft. AFZ/Der Wald, 70 Jg., 11, 24-26
- NAGEL, R.-V.; SPELLMANN, H. (2012): Klimaänderung – Wirkung auf Waldbestände und veränderte Risiken. PowerPoint Präsentation. Fortbildung in Remsfelden/Kassel/Witzenhausen, 27 S.
- PICKENPACK, L. (2013): Fichte ist Brotbaum für die Wertschöpfungskette Forst und Holz. Bundesforschungszentrum für Wald – Praxisinformation Nr. 31, 23-34
- POLLEY, H.; KROHNER, F.; RIEDEL, T.; SEINTSCH, B.; SCHMIDT, U. (2015): Buche und Fichte – beliebt und begehrt. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen á la carte 3, 6 S. doi:10.3220/ca1444828309000
- PRESCHER, F. (2009): Erhöhung der forstlichen Produktion in Schweden durch Forstpflanzenzüchtung. In: MAURER, W.D. u. HAASE, B. (Hrsg.): Holzproduktion auf forstgenetischer Grundlage im Hinblick auf Klimawandel und Rohstoffverknappung. 28 Internationale Tagung der Arbeitsgemeinschaft (ARGE) für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung am 4.-6. November 2009 in Treis-Kalden (Mosel). Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 69/11, 139-148
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2008): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- SCHMIDT-VOGT, H. (1988): Die Fichte. Band I-III. 2. Auflage. Paul Parey, Hamburg und Berlin
- SCHÜLER, S.; ZÜGER, J.; GEBETSROITNER, E.; JANDL, R. (2012): Managementstrategien zur Anpassung von Wäldern im Alpenraum an die Risiken des Klimawandels. Bundesforschungszentrum für Wald – Praxisinformation Nr. 30, 5-8
- SPELLMANN, H. (2005): Produziert der Waldbau am Markt vorbei? AFZ/Der Wald, 60 Jg., 9, 454-459
- SPELLMANN, H. (2009): Sicherung einer nachhaltigen Rohholzversorgung in Deutschland. In: MAURER, W.D. u. HAASE, B. (Hrsg.): Holzproduktion auf forstgenetischer Grundlage im Hinblick auf Klimawandel und Rohstoffverknappung. 28 Internationale Tagung der Arbeitsgemeinschaft (ARGE) für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung am 4.-6. November 2009 in Treis-Kalden (Mosel). Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 69/11, 8-24
- SPELLMANN, H.; ALBERT, M.; SCHMIDT, M.; SUTMÖLLER, J.; OVERBECK, M. (2011): Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse. AFZ/Der Wald, 66 Jg., 11, 19-23
- SPELLMANN, H. (2013): Masse statt Klasse? Waldbauliche Konsequenzen aus einer veränderten Rohholznachfrage. 33. Freiburger Winterkolloquium. AFZ/Der Wald, 68 Jg., 9, 10-15
- VOLMER, K.; MEIBNER, M.; STEINER, W.; JANBEN, A. (2016): Plusbäume für klima- und standortgerechten Fichtenanbau. AFZ/Der Wald, 71 Jg., 9, 39-41

Korrespondierende Autorin:

Dr. Katharina Volmer  
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt  
Abteilung Waldgenressourcen  
Prof.-Oelkers-Str. 6  
D-34346 Hann. Münden  
katharina.volmer@nw-fva.de  
www.nw-fva.de  
www.fitforclim.de

Dr. Meik Meißner  
Dr. Wilfried Steiner  
Dr. Alwin Janßen  
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt



# Verwendungszonen für Vermehrungsgut von Douglasie auf Basis von Klimadaten und Herkunftsversuchen

Deployment zones for reproductive material of Douglas-fir 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 19<sup>th</sup> 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 Anbaugelände 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 m<sup>3</sup>/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 CO<sub>2</sub>-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: Versuchsflächen 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.

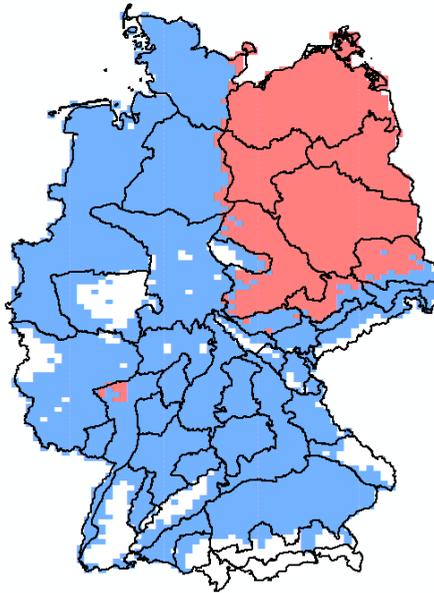
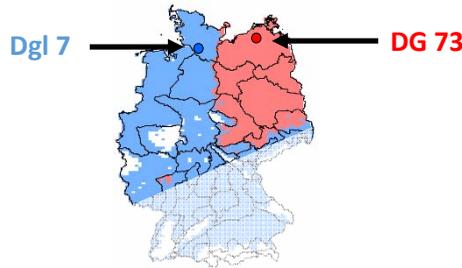
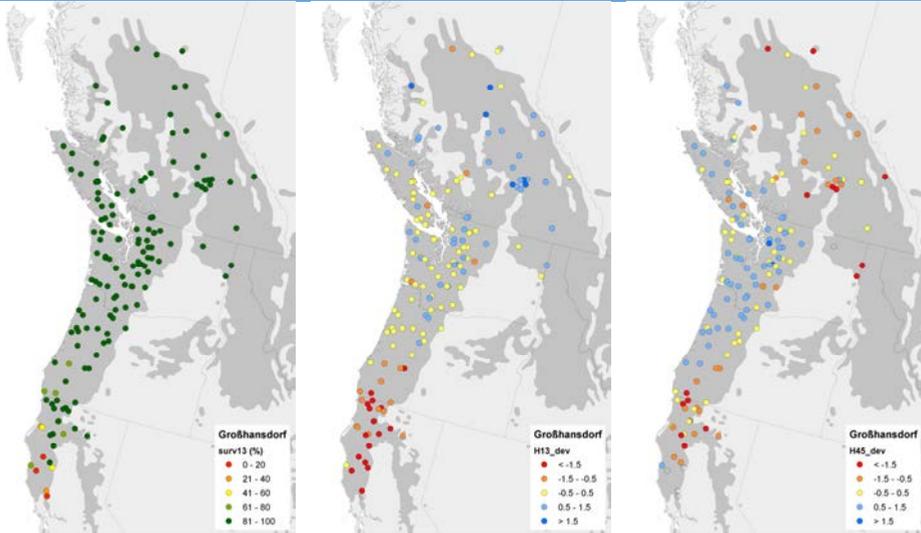


Abbildung 2: Zonierung Deutschlands auf klimatischer Basis. Die schwarzen Linien entsprechen den ökologischen Grundeinheiten.

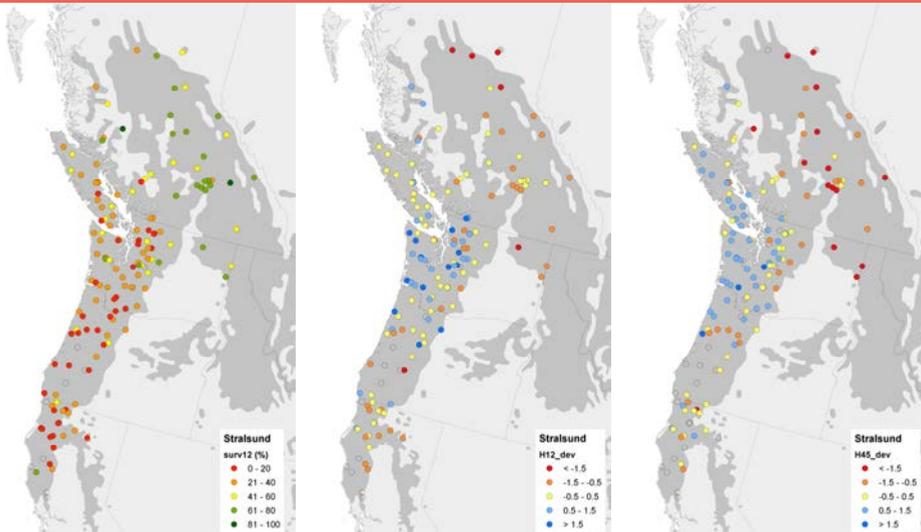
### 3.2 Validierung mit Daten aus Herkunftsversuchen

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).

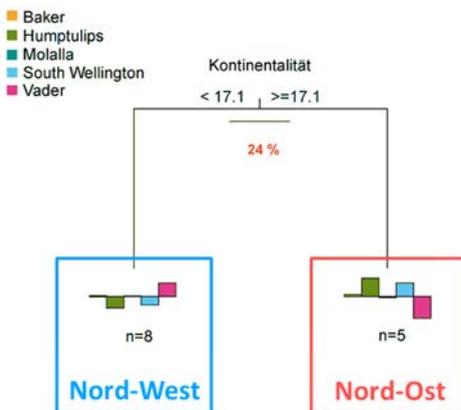
Auf der Fläche in Stralsund (s. Abb. 3, untere Reihe) findet bereits in der Jugend eine deutliche Differenzierung bezüglich des Überlebens statt. Viele Herkünfte der Küstenvarietät leiden unter hoher Mortalität, wohingegen die Herkünfte aus dem Inland etwas besser zurechtkommen. Im Höhenwachstum sind 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 Provenienzversuchsserie 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.

A)



B)

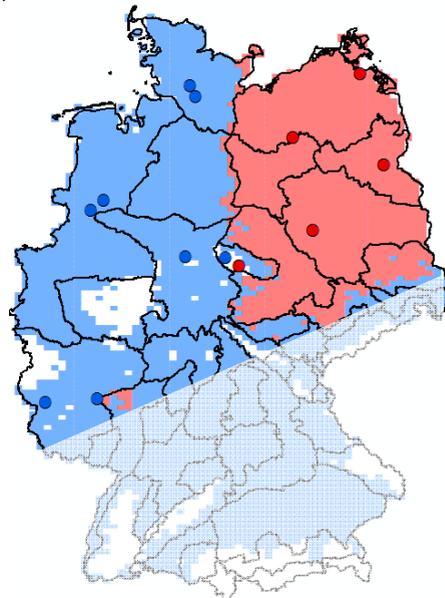


Abbildung 4: A) Der Regressionsbaum der Genotyp-Umwelt-Interaktion trennt 13 Flächen in zwei Gruppen, B) die räumliche Verteilung der MRT-Gruppen bestätigt die klimatische Zonierung. Die schwarzen Linien grenzen die ökologischen Grundeinheiten ab.

## 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 skaliertes 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 Prüfgebietes 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 Prüfgebietausstattung 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](http://www.thuenen.de/fg)

Dr. Mirko Liesebach  
Thünen-Institut für Forstgenetik

# **Regressionsanalytischer Ansatz zur versuchsübergreifenden Auswertung von Herkunfts-Versuchen mit Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.)**

Regression approach for overall analysis of provenance experiments with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)

*Jörg Schröder, Volker Schneck*

## **Zusammenfassung**

Auf Grundlage der im „FitForClim“-Projekt zur Verfügung stehenden Daten wird ein Regressionsansatz entwickelt, mit dem sich Herkunfts-Versuche mit Wald-Kiefer versuchsübergreifend auswerten lassen. Zunächst wird die Herleitung der abhängigen Variablen – der Parzellenmittelhöhe im Alter von 35 Jahren – erläutert. In einem nächsten Schritt wird für einen ausgewählten Teildatensatz ein Standort-Leistungs-Modell zur Schätzung der Parzellenmittelhöhe in Abhängigkeit vom Jahresniederschlag und von der mittleren Jahrestemperatur erstellt. Schließlich wird diskutiert, inwiefern dieses Modell zur Validierung der Selektion von Plusbäumen genutzt und erweitert werden kann.

**Stichworte:** Regressionsansatz, versuchsübergreifende Auswertung, Selektion von Plusbäumen, Wald-Kiefer

## Abstract

Based on the data set provided in the “FitForClim”-project, a regression approach is developed, which can be used for an overall analysis of provenance experiments with Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Initially, the derivation of the dependent variable – the mean plot-height at age of 35 years – is explained. In the next step, a site-productivity model for estimating the mean plot-height as a function of annual precipitation and mean annual temperature is derived. Finally, how this site-productivity model can be used and enhanced for validating selected plus trees is discussed.

**Keywords:** regression approach, overall analysis, selection of plus trees, Scots pine.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Unter Berücksichtigung der erwarteten Klimaänderung ist davon auszugehen, dass die Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) auch zukünftig eine zentrale waldbauliche Rolle in Deutschland spielen wird. Daher ist es gerechtfertigt, für diese Baumart eine Strategie zur Leistungssteigerung durch Forstpflanzenzüchtung zu erarbeiten. Grundlage der Züchtungs-Aktivitäten ist dabei die Auswahl von Plusbäumen für den Aufbau von Zuchtpopulationen (LIEPE et al. 2015, WHITE et al. 2007).

Eine bewährte Methode zur Auswahl dieser Plusbäume ist die Berechnung von Selektionsindices im Rahmen der Auswertung von Einzelversuchen oder einheitlich konzipierten Versuchsserien (STERN 1960). Die Aufgabe, Plusbäume darüber hinaus simultan aus voneinander unabhängigen Versuchen oder Versuchsserien auszuwählen, ist dabei insofern eine Herausforderung, als dass in diesem Fall kein einheitlicher Vergleichsmaßstab gegeben ist. Sollen zusätzlich „wilde“ Plusbäume in Saatguterntebeständen ausgewählt werden, fehlt ein solcher Maßstab völlig.

Vor diesem Hintergrund ist es Ziel des vorliegenden Beitrags, einen regressionsanalytischen Ansatz zu entwickeln und zu prüfen, der eine versuchs-übergreifende Einschätzung der Wuchsleistung von Plusbäumen auf Grundlage eines allgemeinen Standort-Leistungs-Modells ermöglicht. Nicht zuletzt, da dabei ausschließlich die quantitative Wuchsleistung berücksichtigt wird, versteht sich dieser Ansatz nicht als grundsätzliche Alternative zum Selektionsindex, sondern in erster Linie als eine methodische Ergänzung.

## 2 Methodischer Ansatz und Datenaufbereitung

Prämisse des regressionsanalytischen Ansatzes ist, dass die Wuchsleistung eines bestimmten Prüfglieds neben dem Bestandesalter und der Bestandesdichte im Wesentlichen von der Wechselwirkung zwischen standörtlichen Faktoren und den jeweiligen Genotypen abhängt (TAEGER et al. 2013). Gelingt es, die Alters-, Kon-

kurrenz- sowie Standorteffekte zu quantifizieren, lassen sich – so die grundlegende Annahme – mittels Residualanalyse Hinweise auf die genetisch bedingten Unterschiede in der Wuchsleistung verschiedener Prüfglieder gewinnen. Im Folgenden wird zunächst die Herleitung der abhängigen Variablen (Zielvariable) erläutert.

## 2.1 Herleitung der Zielvariablen

Als abhängige Variable wurde die Parzellen-Mittelhöhe (arithmetisches Mittel der jeweils vorliegenden Höhenmessungen einer Parzelle) gewählt, da diese bei einer ausgeprägten Lichtbaumart wie der Wald-Kiefer weitgehend unabhängig von der Bestandesdichte bzw. unabhängig von Konkurrenzeffekten ist. Einbezogen wurden dabei die im Rahmen von „FitForClim“ zur Verfügung stehenden Daten mit geographischem Schwerpunkt in der Norddeutschen Tiefebene. Insgesamt umfasst der Datensatz 5.565 Parzellen-Mittelhöhen. Von jeder Parzelle wurde jeweils ein Alters-Höhenwert gewählt. Die Messungen der Baumhöhen erfolgten im Zeitraum von 2000 und 2010.

Unter Einbeziehung sämtlicher Daten wurde die Höhenentwicklung über dem Alter mit Hilfe der Chapman-Richards-Funktion beschrieben (PIENAAR u. TURNBULL 1973, CLUTTER et al. 1983),

$$H = 34,473 * [1 - e^{-0,0346 * t}]^{1,8606} \quad (1)$$

wobei  $H$  = Parzellen-Mittelhöhe (Meter) und  $t$  = Alter (Jahre). Die Parametrisierung erfolgte mit Hilfe der NLIN-Prozedur in SAS. Abbildung 1 zeigt die einzelnen Wertepaare sowie den Verlauf des durchschnittlichen, mit Gleichung 1 hergeleiteten Höhenwachstums. Mit Hilfe der algebraischen Differenzen-Form von Gleichung 1 wurde anschließend für jede Parzelle die Mittelhöhe im Bezugsalter von 35 Jahren ( $H_{35}$ ) geschätzt:

$$H_{35} = H * \left[ \frac{1 - e^{-0,0346 * 35}}{1 - e^{-0,0346 * t}} \right]^{1,8606} \quad (2)$$

Stratifiziert man die  $H_{35}$ -Werte nach den Ursprungsländern der Herkünfte, lässt sich mit Hilfe von Box-and-Whisker-Plots ein erster Eindruck von der bereits in früheren Untersuchungen (z. B. KOHLSTOCK u. SCHNECK 1994, SCHNECK 2002) aufgezeigten geographisch bzw. genetisch bedingten Varianz der Wuchsleistung gewinnen. So zeigen beispielsweise belgische, ungarische und deutsche Kiefern besonders gutes Wachstum. Schwedische, bulgarische und türkische Herkünfte schneiden hingegen besonders schlecht ab (s. Abb. 2).

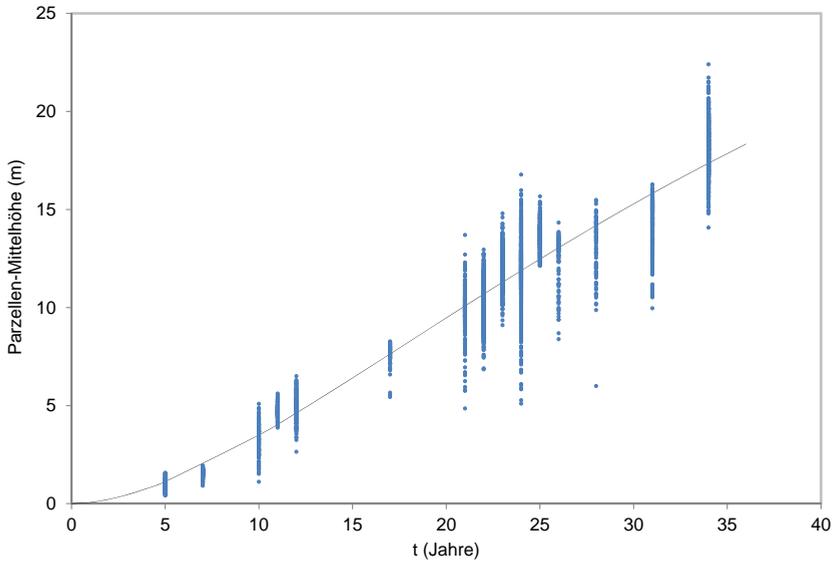


Abbildung 1: Mittelhöhen-Alterswerte von 5.565 Parzellen sowie mit Hilfe von Gleichung (1) berechneter, hypothetischer Verlauf des durchschnittlichen Höhenwachstums

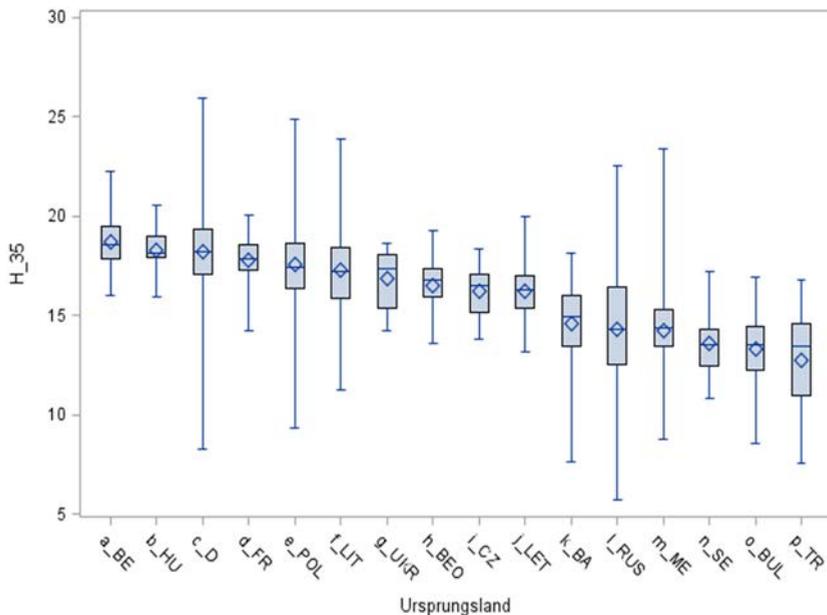


Abbildung 2: Nach Herkunftsland stratifizierte Box-and-Whisker-Plots für die geschätzten Parzellen-Mittelhöhen im Bezugs-Alter von 35 Jahren. Im Ranking der Mittelwerte (Rauten-Symbol) liegen deutsche Kiefern auf Rang c hinter belgischen und ungarischen Herkünften. Die teilweise stark vom Mittel abweichenden Minimal- bzw. Maximalwerte sind auf die unsichere Prognose des Wachstums der sehr jungen Bestände (< 10 Jahre) zurückzuführen.

## 2.2 Klimadaten

Zur Herleitung eines Standort-Leistungs-Modells wurden Klimadaten verwendet, die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) auf Ebene der Wuchsbezirke für die Periode von 1981 bis 2000 berechnet worden sind. Weitere Standortfaktoren (z. B. Bodennährstoffe, Stickstoffdeposition) wurden in der vorliegenden Untersuchung nicht einbezogen, da diese Informationen nicht zur Verfügung standen. Grundsätzlich ist es aber möglich und auch wünschenswert, den hier entwickelten Ansatz im Rahmen einer mehrfachen linearen Regression weiter auszubauen.

## 3 Analyse und Ergebnisse

Mit dem Ziel, einen Regressionsansatz für die Validierung der Auswahl von Plusbäumen zu entwickeln und zu testen, erschien es wenig sinnvoll, den kompletten, für die Parametrisierung von Gleichung 1 verwendeten Datensatz zu verwenden. Stattdessen wurden relativ schlecht wüchsige Herkünfte aus Ländern mit einem mittleren  $H_{35}$ -Wert von weniger als 17,6 Meter ( $17,6 =$  Mittelwert der qualitativ hochwertigen polnischen Herkünfte, vgl. Abb. 2), von vornherein ausgeschlossen. Aufgrund der schlechten Wuchsleistung kommen diese exotischen Herkünfte nämlich ohnehin für eine Plusbaumselektion nicht in Frage. Außerdem wurde der Ansatz zwecks Reduzierung der komplexen Wechselwirkungen zwischen standörtlichen und genetischen Faktoren zunächst ausschließlich mit den Daten von vier ausgewählten Versuchsserien der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) getestet.

Um für diesen Teildatensatz einen Standort-Leistungs-Bezug zu quantifizieren, wurden die  $H_{35}$ -Werte für die jeweiligen Versuchsorte der vier Serien zuvor gemittelt. Dieser Schritt war erforderlich, um die für den Regressionsansatz obligatorische Unabhängigkeit der Daten zu gewährleisten. Anschließend wurde mit Hilfe der REG-Prozedur in SAS untersucht, inwiefern das Höhenwachstum von Jahresniederschlag (mm) und Jahresmitteltemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) abhängt. Schließlich wurde das Klima mit dem folgenden, bereits z. B. von LIESEBACH et al. (2009) verwendeten Ariditätsindex beschrieben:

$$AI = \frac{\text{Jahresniederschlag}}{(\text{Jahresmitteltemperatur}+10)} \quad (3)$$

Die berechnete Regressionsgerade sowie die dazugehörige Punktwolke sind in Abbildung 3 dargestellt. Das klimatisch bedingte Wuchspotenzial der Wald-Kiefer verringert sich mit steigendem Ariditätsindex, d. h. mit zunehmender Küstennähe und mit zunehmender Höhenlage. Die parametrisierte Gleichung lautet:

$$\bar{H}_{35} = -0,1725 * AI + 25,01 \quad (4)$$

wobei  $\bar{H}_{35}$  = der für den jeweiligen Versuchsort gemittelte Parzellen-Mittelwert (m) ist. Das Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) beträgt 0,1839 und der für den Ariditätsindex ermittelte t-Wert liegt mit 2,01 leicht über dem Schwellenwert von 1,725, was bedeutet, dass der Parameter der unabhängigen Variablen ungleich null ist, wenn von einem zweiseitigen 10%-Signifikanzniveau ausgegangen wird.

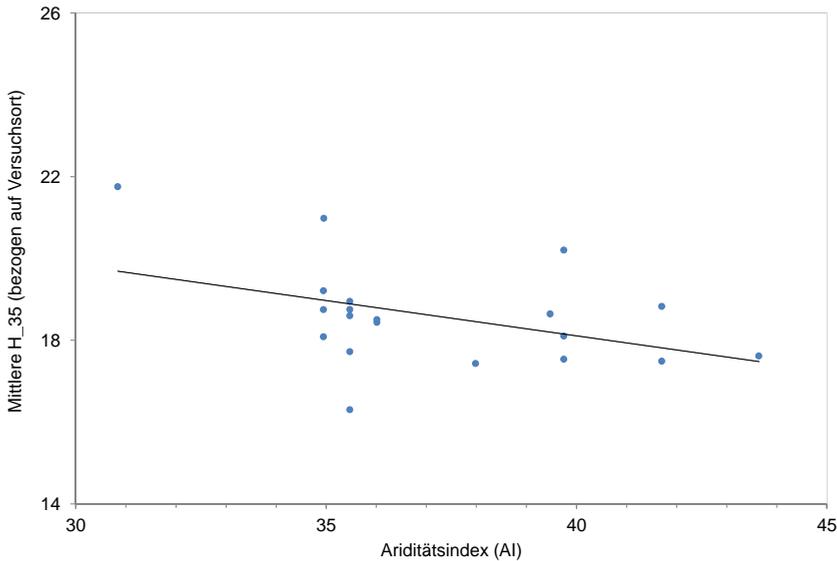


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen Ariditätsindex und der für den jeweiligen Versuchsort gemittelten Bestandeshöhe der Parzellen im Bezugsalter von 35 Jahren

Um Herkünfte bzw. Plusbäume zu identifizieren, die mutmaßlich genetisch bedingt eine besonders gute Wuchsleistung aufweisen, wurde mit Hilfe von Gleichung 4 für jede einzelne Parzelle ein  $H_{35}$ -Wert geschätzt und anschließend vom „tatsächlichen“, mit Hilfe von Gleichung 2 berechneten  $H_{35}$ -Wert subtrahiert. Die auf diese Weise berechneten Residuen wurden anschließend für jede Herkunft (verschiedene Prüfglieder bzw. Parzellen) gemittelt. Besonders hohe mittlere Residualwerte können dabei auf besonders leistungsfähige Genotypen hindeuten.

In Tabelle 1 ist bezüglich dieser mittleren Residuen die Rangfolge der Top-15-Herkünfte dargestellt. Zum Vergleich findet sich in Tabelle 2 die Rangfolge der Top-15-Herkünfte bezüglich des mittleren  $H_{35}$ -wertes. Vergleichend zeigt sich: Unter den Top-15 bezüglich des mittleren Residuums befinden sich vier Herkünfte, die in der Herkunftsempfehlung der NW-FVA als „Geprüft“ oder als „Qualifiziert“ genannt werden. Darüber hinaus befinden sich darunter fünf mit einem Sternchen (\*) markierte Herkünfte, die von RAU (2009) als „Geprüft“ empfohlen worden sind. Hätte man anstatt der Residuen lediglich die „einfachen“  $H_{35}$ -Werte betrachtet (vgl. Tab. 2), hätten diese von RAU empfohlenen Herkünfte

– bis auf „Bremervörde, Abt. 44“ – nicht für die Auswahl von Plusbäumen als besonders interessant identifiziert werden können.

*Tabelle 1: Rangfolge der Top-15-Herkünfte bezüglich des mittleren Residuums*

Herkunft	mittleres Residuum (m)	Herkunftsempfehlung für Herkunftsgebiete in Niedersachsen			Herkunftsempfehlung für Herkunftsgebiete in Hessen	
		851 01	851 03	851 05	851 05	851 13
Bremervörde 44 *	1,61					
Babenhäusen 316	1,39					
Wildeck 46	1,33					
Göhrde 38b *	1,10					
Burghaun 4410b, 4415a	1,09			x	x	
Babenhäusen 317	1,07	x	x			x
Wolfgang 11a	1,05					
SPL Otterberg XIV 2	1,03					
Bleckede 9a1 *	1,00					
SPL Ebrach VIII 3c2	0,99			x	x	
Seligenstadt 317	0,97					
SPL Ebrach IV 9a3	0,92			x	x	
Bleckede 494b *	0,87					
Seehcim 21	0,87					
Gartow 65 *	0,85					

\* = von RAU 2009 als „Geprüft“ empfohlen

*Tabelle 2: Rangfolge der Top-15-Herkünfte bezüglich des mittleren H<sub>35</sub>-Wertes*

Herkunft	mittlere H <sub>35</sub> (m)	Herkunftsempfehlung für Herkunftsgebiete in Niedersachsen			Herkunftsempfehlung für Herkunftsgebiete in Hessen	
		851 01	851 03	851 05	851 05	851 13
Burghaun 4410 B, 4415 A0	20,10			x	x	
Babenhäusen 316	20,08					
Bremervörde 44 *	20,06					
Wildeck 46	20,02					
SPL Ebrach VIII 3c2	20,00			x	x	
SPL Ebrach IV 9a3	19,93			x	x	
SPL Otterberg XIV 2	19,90					
Wolfgang 11a	19,82					
Babenhäusen 317	19,76	x	x			x
Wolfgang 1	19,63					
SPL Weißenstadt V 4b, 5a	19,62					
Seligenstadt 104	19,58					
Seligenstadt 317	19,57					
Seehcim 21	19,55					
Wolfgang 110a	19,55					

\* = von RAU 2009 als „Geprüft“ empfohlen

## 4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Zwar stimmt der in Abbildung 3 quantifizierte Zusammenhang zwischen Wachstum und Klima grundsätzlich mit dem vorhandenen Expertenwissen überein. So hat bereits WIEDEMANN (1948, S. 53) auf die geringe Bonität vieler Kiefernbestände in den meeresnahen Teilen Nordwestdeutschlands hingewiesen. Auch liefert die in Tabelle 1 dargestellte Residualanalyse plausible Ergebnisse. Andererseits ist das Bestimmtheitsmaß im Vergleich zu anderen, differenzierteren Standort-Leistungs-Modellen relativ gering (z. B. ALBERT u. SCHMIDT 2012). Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass der Zusammenhang zwischen der Wuchsleistung und dem Ariditätsindex nicht streng linear ist, sondern in Wirklichkeit komplexeren, nicht-linearen Wirkungsgefügen folgt. Davon ist insbesondere dann auszugehen, wenn nicht – wie im vorliegenden Beitrag – lediglich Nordwestdeutschland, sondern die gesamte norddeutsche Tiefebene einschließlich des bereits kontinental geprägten südöstlichen Brandenburgs betrachtet wird (LOCKOW 2015, S. 56 ff.). Der vorliegende Artikel ist aus diesen Gründen als ein erster, noch eher theoretischer Beitrag zu verstehen, der im Rahmen der Züchtungsstrategie für die Wald-Kiefer zukünftig weiter ausgebaut werden sollte.

Vorteil des regressionsanalytischen Ansatzes ist dabei, dass Standort-Leistungs-Modelle nicht nur im Rahmen der Plusbaumauswahl, sondern darüber hinaus auch als Grundlage für die Unterteilung bestimmter geographischer Gebiete in Zonen mit unterschiedlichen Wachstumspotenzialen verwendet werden können (z. B. BRANDL et al. 2016). Ein denkbar einfacher Ansatz für eine solche Unterteilung ist exemplarisch in Abbildung 4 für die beiden nordwestdeutschen Kiefern-Herkunftsgebiete 851 01 und 851 03 dargestellt.

Ausgehend von der in Abbildung 3 dargestellten Spannweite des Ariditätsindex wurden die beiden Herkunftsgebiete auf Ebene der Wuchsbezirke in drei Zonen unterteilt: Relativ gutes Wachstum findet sich z. B. im Wuchsbezirk Lüchow-Salzwedeler Niederung (Ostniedersächsisch-Altmarkisches Altmoränenland), mittleres Wachstum in der Südheide (ostniedersächsisches Tiefland) und relativ schlechtes Wachstum auf der Wesermünder Geest (niedersächsischer Küstenraum). Gelingt es, Standort-Leistungs-Modelle auch auf Bundesebene zu parametrisieren, wäre dies eine Grundlage für die Validierung der aktuell abgegrenzten Verwendungszonen sowie eine Voraussetzung für die Simulation der Verschiebung dieser Verwendungszonen unter Annahme verschiedener Klimaszenarien.

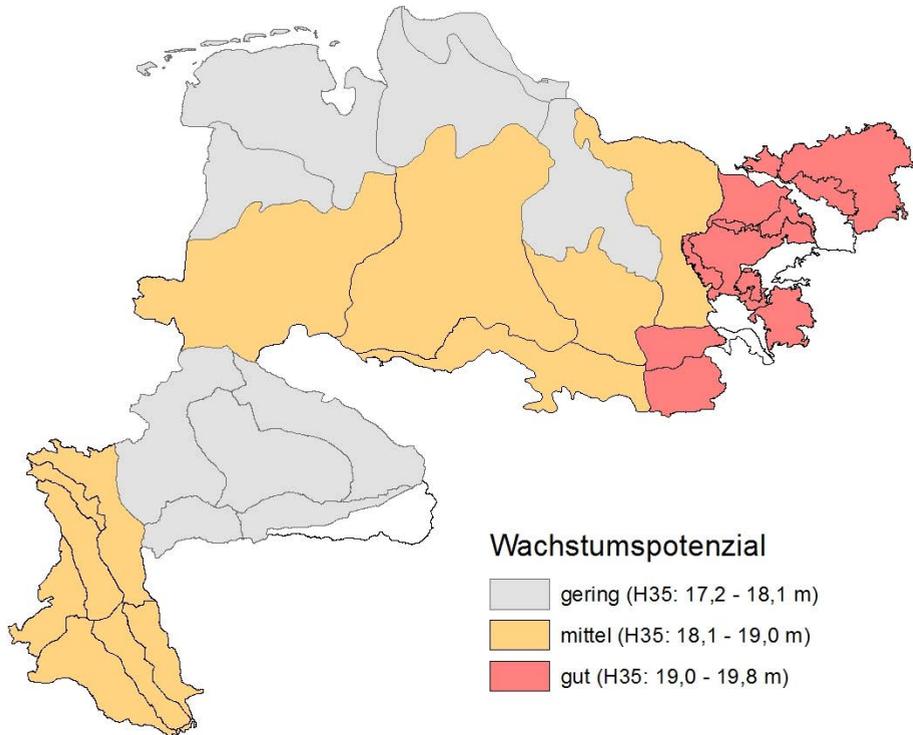


Abbildung 4: Mit Hilfe von Gleichung 4 durchgeführte Unterteilung von zwei nordwestdeutschen Kiefern-Herkunftsgebieten nach klimatisch bedingten Unterschieden im Wachstumspotenzial

## Literatur

- ALBERT, M. u. SCHMIDT, M. (2012): Standort-Leistungs-Modelle für die Entwicklung von waldbaulichen Anpassungsstrategien unter Klimawandel. *Archiv f. Forstwesen u. Landschaftsökol.* 46, 2, 57-71
- BRANDL, S., FALK, W., KLEMMT, H.-J., RÖTZER, T.; PRETZSCH, H. (2016): Standörtliche Wachstumspotenziale. *AFZ/Der Wald*, 4, 19-23
- CLUTTER, J.L., FORTSON, J.C., PIENAAR, L.V., BRISTER, G.H.; BAILEY, R.L. (1983): *Timber management – a quantitative approach*. John Wiley, 333 S.
- KOHLSTOCK, N. u. SCHNECK, V. (1994): IUFRO Provenance Trial of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) at Waldsiedersdorf 1982 – 1994. In: *Scots pine breeding and genetics. Proceedings of the IUFRO S.02.18 Symposium Lithuania 1994*
- LIEPE, K.J., SCHRÖDER, J.; WOJACKI, J. (2015): Neue Perspektiven der Züchtung für Douglasie und Waldkiefer. *AFZ/Der Wald*, 11, 27-29
- LIESEBACH, M., SCHÜLER, S.; WOLF, H. (2009): Klima-Wachstumsbeziehungen von Rotbuchen-Herkünften im Vergleich. In: MAURER, W. u. HAASE, B. (Hrsg.): *Holzproduktion auf forstgenetischer Grundlage im Hinblick auf Klimawandel und Rohstoffverknappung*. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 69/11

- LOCKOW, K.-W. (2015): Grundlagen der Kiefernwirtschaft. Verlag Dr. Kovac, Hamburg, 306 S.
- PIENAAR, L.V. u. TURNBULL, K.J. (1973): The Chapman-Richards Generalization of Van Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. *Forest Sci.*, 19, 2-22
- RAU, H.-M. (2009): Leistungen und Qualitätseigenschaften von nordwestdeutschen Kiefernbeständen (*Pinus sylvestris* L.). In: MAURER, W. u. HAASE, B. (Hrsg.): Holzproduktion auf forstgenetischer Grundlage im Hinblick auf Klimawandel und Rohstoffverknappung. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz Nr. 69/11
- SCHNECK, V. (2002): Ergebnisse und Perspektiven der forstlichen Selektions- und Kreuzungszüchtung am Beispiel der Kiefer. *Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol.*, 36, 132-135
- STERN, K. (1960): Plusbäume und Samenplantagen – Grundzüge der Planung einer Auslesezüchtung bei den Hauptholzarten. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M., 116 S.
- TAEGER, S., ZANG, C., LIESEBACH, M., SCHNECK, V.; MENZEL, A. (2013): Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *Forst Ecology a. Manage.* 307, 30-42
- WHITE, T.L., ADAMS, W.T.; NEALE, D.B. (2007): *Forest Genetics*. CABI Publishing, Wallingford, 682 S.
- WIEDEMANN, E. (1948): Die Kiefer 1948 – waldbauliche und ertragskundliche Untersuchungen. M. & H. Schaper, Hannover, 337 S.

Korrespondierender Autor:

Dr. Jörg Schröder  
Thünen-Institut für Forstgenetik  
Eberswalder Chaussee 3a  
D-15377 Waldsiedersdorf  
joerg.schroeder@thuenen.de  
www.thuenen.de/fg

Volker Schneck  
Thünen-Institut für Forstgenetik

## Gattung *Larix* – unterschätzte Potenziale

### Genus *Larix* – underestimated potentials

*Heino Wolf, Christian Steinke*

#### **Zusammenfassung**

In Deutschland sind derzeit von den Arten der Gattung *Larix* nur die Europäische Lärche (*Larix decidua* MILL.), Japanische Lärche (*Larix kaempferi* [LAMB.] CARR.) und die Hybridlärche (*Larix* × *eurolepis* HENRY) von mehr oder weniger großer Bedeutung. Diese Lärchen-Arten nehmen aktuell einen Anteil von ungefähr drei Prozent an der Waldfläche Deutschlands ein.

Aufgrund der intensiven Bearbeitung dieser Lärchen-Arten bis zum Ende des 20. Jahrhunderts liegen eine Vielzahl von Erkenntnissen zur Ausprägung und Variation von Merkmalen zwischen und innerhalb der Arten vor. Die in diesem Zusammenhang bestehenden Versuchsanlagen sind in Verbindung mit den gesammelten Daten und Ergebnissen eine gute Voraussetzung für weiterführende Züchtungsarbeiten vor allem im Hinblick auf die unterschiedlichen Aspekte des Klimawandels.

In dem Vorhaben „FitForClim“ werden nach einer Evaluierung der vorhandenen Lärchen-Versuchsflächen und Prüfung auf ihre Verwendbarkeit Länder und Institutionen übergreifende Auswertungen durchgeführt. Auf Grundlage der Ergebnisse dieser Auswertungen werden systematisch Plusbäume entsprechend der Zielmerkmale aus denjenigen Herkünften, Kreuzungsnachkommenschaften

und Klone ausgelesen, die sich als überdurchschnittlich erwiesen haben. Eine besondere Berücksichtigung finden hierbei vor allem diejenigen Standortseigenschaften, die im Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt der Versuchsflächen stehen. Die ausgelesenen Plusbäume werden genetisch charakterisiert und heterovegetativ vermehrt, um für die Anlage von Klonsammlungen zur Verfügung zu stehen. In weiteren Schritten werden Zonen für die zukünftige Züchtung und Verwendung von Europäischer Lärche und Hybridlärche unter sich ändernden Klimabedingungen ausgewiesen sowie Zuchtpopulationen für diese Zonen zusammengestellt. Dabei werden die genetische Variation und die Widerstandsfähigkeit der Plusbäume gegenüber abiotischen Faktoren ebenso berücksichtigt wie die zukünftigen Eigenschaften der Anbaustandorte.

Im Mittelpunkt der Züchtungsarbeiten bei der Europäischen Lärche und der Hybridlärche stehen in Zukunft neben den klassischen Leistungs- und Qualitätszielen verstärkt eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Frost und Trockenheit sowie eine überdurchschnittliche Stabilität des zu erzeugenden Vermehrungsgutes.

Die Chancen von Europäischer Lärche und Hybridlärche sind unter sich ändernden Klimabedingungen möglicherweise besser als vorhergesagt. Sie verfügen über Wurzelsysteme, die auch tiefere Bodenschichten erschließen können. Sie werden in Zukunft widerstandsfähiger gegenüber winterlicher Kälte und sommerlicher Trockenheit sein und werden durch ihr schnelles Wachstum eine höhere waldbauliche Flexibilität bei überdurchschnittlicher Werterwartung bieten.

**Stichworte:** Gattung Lärche, Merkmalsvariation, Züchtung, Dürre- und Frostresistenz, Klimawandel

## Abstract

The European larch (*Larix decidua* MILL.), the Japanese larch (*Larix kaempferi* [LAMB.] CARR.) and the hybrid larch (*Larix* x *eurolepis* HENRY), which together make up around 3 percent of the forested area, are the only larch species that are of any importance in Germany at the present time.

Intensive research work on these three species up to the end of the 20<sup>th</sup> century yielded a multitude of findings on the form and variation of characteristics, both between and within species. These findings and the amassed data, together with dedicated experimental plots, provide a good platform for further breeding activities, particularly with regard to different aspects of climate change.

In the “FitForClim” project, after an evaluation of the existing larch experimental plots and an assessment of the suitability of each plot for use in the scheme, analyses spanning plots belonging to many institutions across Germany will be carried out. Based on the results from these analyses plus-trees will be systematically selected from those provenances, progenies and clones which yield above

average results for the target characteristics. Special consideration will be given to those site characteristics which are associated with the water regime of the plot. Plus-trees will be genetically characterized and hetero-vegetative propagated, in order to be available as clone-collections. In subsequent steps, zones for the future cultivation of European larch and hybrid-larch will be established and breeding populations for these zones identified. In doing this, equal consideration will be given to the genetic variation of and resistance of the Plus-trees to abiotic factors, and to the future characteristics of the cultivation site.

Beside the classic performance and quality targets, the focus of the cultivation work for the European larch and the hybrid-larch will in future also include high drought and frost resistance, as well as an above average stability of the resulting reproductive material.

The chances for European larch and hybrid-larch under changing climate conditions are possibly better than expected. They possess root systems that can access deeper soil layers. In the future they will be more resistant to winter cold and summer drought and, due to their rapid growth, will offer higher flexibility in silvicultural management with above average expected value.

**Keywords:** Genus *Larix*, variation of characteristics, tree breeding, resistance to drought and frost, climate change

## 1 Einleitung

Die Europäische Lärche (*Larix decidua* MILL.) ist als einzige der insgesamt 11 Arten der Gattung Lärche im Bereich der bayerischen Alpen in Deutschland heimisch (SCHÜTT et al. 1992). Außerhalb des Alpenraumes ist sie ebenso eine eingeführte Baumart wie die in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts im atlantisch getönten Bereich verstärkt angebaute Japanische Lärche (*Larix kaempferi* [LAMB.] CARR.). Zu diesen beiden Arten tritt die Hybridlärche (*Larix* × *eurolepis* HENRY) als Kreuzung zwischen diesen Arten hinzu, die vor allem in den Rauchschatgebieten des Erzgebirges in nennenswertem Umfang zwischen 1970 und 1990 angebaut wurde.

Aktuell nimmt die Lärche mit einer Gesamtanbaufläche von ca. 307.000 ha einen durchschnittlichen Anteil von 2,8 % an der Waldfläche Deutschlands ein. Die Anteile variieren dabei von 1,2 % in Berlin/Brandenburg bis 7,4 % in Schleswig-Holstein (BMEL 2014).

Eine nennenswerte Zunahme der Flächenanteile der Lärche ist derzeit vermutlich nicht zu erwarten. Ein Grund dafür ist, dass die Verjüngung bzw. Einbringung der lichtbedürftigen Lärche durch die inzwischen überwiegende Anwendung von langfristigen Verjüngungsverfahren unter Belassung von Altholzschirmen zunehmend schwieriger wird. Weiterhin wird der Anbau der Lärche aus Gründen der Bodenpfleglichkeit (Zersetzbarkeit der Streu), aus naturschutzfachlicher Sicht (eingeführte Baumart) oder aus Unkenntnis (im Fall der Hybridlärche) vielerorts

zurückhaltend gehandhabt. Erste Einschätzungen zur Eignung der Lärche für einen klimagerechten Waldbau führten ebenfalls zu einer negativen Einschätzung (FALK et al. 2012).

Im nachfolgenden Beitrag werden der aktuelle Stand des Wissens, erste Ergebnisse aus dem Verbundvorhaben „FitForClim“ sowie Perspektiven in der Züchtung und im Anbau der Lärche unter der Berücksichtigung der Ergebnisse aus anderen Forschungsvorhaben dargestellt.

## 2 Stand des Wissens

In Hinsicht auf die Provenienzfrage gehören die Europäische wie die Japanische Lärche mit zu den in Deutschland und Mitteleuropa am besten untersuchten Baumarten. Ursache für die intensive Bearbeitung waren bei beiden Arten die unterschiedlichen Standortbedingungen und Wuchsformen in ihren natürlichen Verbreitungsgebieten sowie die sehr wechselhaften Anbauerfolge außerhalb ihrer natürlichen Areale (LANGNER 1935, 1958, SCHOBER 1958, WACHTER 1962, WECHSELBERGER 1950). Ausgehend von diesen Beobachtungen entstand eine Reihe von Provenienzversuchen mit der Europäischen Lärche (u. a. RUBNER 1938, 1941, DENGLER 1942, SCHOBER u. FRÖHLICH 1967, SCHOBER 1977, 1981, 1985) und der Japanischen Lärche (u. a. LANGNER 1958, SCHOBER u. RAU 1991).

Im Ergebnis der über lange Zeiträume beobachteten Provenienzversuche konnten zwischen den Provenienzen der Europäischen Lärche aus den verschiedenen Teilen des Verbreitungsgebietes signifikante Unterschiede in der Wachstumsleistung, der Schaftqualität und der Resistenz gegenüber Lärchenkrebs (u. a. SCHOBER 1977, 1985, WEISGERBER 1990, RAU 2004) festgestellt werden. Zwischen den Provenienzen der Japanischen Lärche gibt es keine nennenswerte Variation der genannten Merkmale (SCHOBER u. RAU 1991). Einzelne Studien und Praxiserfahrungen weisen bei beiden Lärchen-Arten auf eine Variation der Dürre-resistenz hin (WACHTER 1962, SCHÖNBACH et al. 1966, HAASEMANN 1986).

Die Beschreibungen von spontanen Hybriden zwischen Japanischer und Europäischer Lärche in einem Park in Dunkeld, Schottland, im Jahr 1907 und 1919 waren auch in Deutschland Auslöser für den Beginn der Lärchen-Hybridzüchtung (DIMPFLMEIER 1959). Seit den 1920er-Jahren erfolgten in verschiedenen Forschungseinrichtungen erste Anbauversuche mit schottischen Hybridlärchen im Vergleich zu Europäischer und Japanischer Lärche und erste Kreuzungsversuche mit den genannten Arten (DIMPFLMEIER 1959). Aufbauend auf diesen und in den Jahren nach dem Zweiten Weltkrieg durchgeführten Untersuchungen begannen in verschiedenen Institutionen Programme zur Züchtung von Hybriden in der Gattung *Larix* (u. a. DIMPFLMEIER 1959, HAASEMANN 1972, HERING 1990, HERING u. BRAUN 1990, 1992, WEISER 1992, FRANKE 1995, LANGNER u. SCHNECK 1998).

Nach Auswertung einer Vielzahl von Nachkommenschaftsprüfungen weisen vor allem Hybriden zwischen Europäischer und Japanischer Lärche im Vergleich zu ihren Elternarten in Abhängigkeit von ihrer Kombinationseignung verbesserte Eigenschaften auf. Dazu gehören eine geringere Mortalität, überlegene Wachstumsleistungen, bessere Schaftformen, eine größere Standorttoleranz sowie eine verminderte Krebsanfälligkeit (Übersicht s. WEISGERBER u. ŠINDELÁŘ 1992). Erste Untersuchungen zur Variation der Dürre-resistenz von Hybridlärchen zeigen Unterschiede zwischen den untersuchten Sorten (DACASA RÜDINGER et al. 2016).

Eine Analyse der Ziele vorgenannter Untersuchungen zeigt, dass grundsätzlich in allen Versuchen die Merkmalsvariation und die Anpassungsfähigkeit der enthaltenen genetischen Einheiten erfasst wurden. Im Mittelpunkt des Interesses standen die Merkmale Schaftqualität, Wachstumsleistung und Resistenz gegenüber Lärchenkrebs. In Folge der schwerwiegenden Immissionsschäden in den sächsischen Mittelgebirgen zielten die Arbeiten in diesem Bereich vor allem auf die Widerstandsfähigkeit gegenüber Schwefeldioxid-Einwirkung und die Anbaueignung in den Lagen über 500 m über NN ab. Eine untergeordnete Rolle spielten Merkmale wie Holzeigenschaften, Astigkeit, Frost- und Dürre-resistenz.

Als ein Ergebnis der intensiven Bearbeitung der Lärchen-Arten gibt es in den deutschen Züchtungsinstitutionen umfassende Sammlungen von Einzelbäumen. Diese umfassen ca. 1.300 Europäische Lärchen aus allen Teilen des natürlichen Verbreitungsgebietes (ca. 40 %) und aus künstlich begründeten Beständen unbekanntem Ursprungs (ca. 60 %), ca. 400 Japanische Lärchen mit bekanntem Ursprung (ca. 63 %) und aus Beständen unbekanntem Ursprungs (ca. 37 %) sowie ca. 50 Einzelbäume anderer Lärchenarten (PAQUES et al. 2012). Als Ergebnis der Züchtungsarbeiten waren zum Zeitpunkt der Erstellung der Züchtungsstrategie ca. 1.640 genetische Einheiten als Ausgangsmaterial für die Erzeugung von Forstvermehrungsgut der Kategorien „Ausgewählt“, „Qualifiziert“ und „Geprüft“ zugelassen (LIESEBACH et al. 2013).

Zusammenfassend existieren in Deutschland für eine Vielzahl von Herkünften, Nachkommenschaften und Klonen der Gattung Lärche Versuchsanlagen (Versuchsfelder, Klonsammlungen, Samenplantagen). Es liegen fundierte Erkenntnisse über Anpassungsfähigkeit, Wachstum, Schaftqualität und Resistenz gegenüber Lärchenkrebs vor. Vereinzelt Untersuchungen weisen auf eine Variation weiterer klimarelevanter Merkmale wie die Widerstandsfähigkeit gegenüber Dürre-resistenz hin. Die vorhandenen Versuchsanlagen in Kombination mit der vorhandenen Fülle an Daten und Ergebnissen stellen grundsätzlich eine gute Ausgangslage dar. Dies gilt insbesondere für eine weiterführende züchterische Bearbeitung der Gattung Lärche in Hinsicht auf die unterschiedlichen Aspekte des Klimawandels.

### 3 Bisherige Ergebnisse des Verbundvorhabens FitForClim bei der Gattung Lärche

#### 3.1 Erfassung und Evaluierung von Versuchsflächen

Eine Voraussetzung für die Auslese von Plusbäumen aus Versuchen ist die Erfassung und Evaluierung aller in Deutschland vorhandenen Versuchsanlagen. Bis zum 31.05.2016 konnten 286 Versuchsanlagen erfasst werden (s. Abb. 1). Davon entfielen 70 % auf Herkunftsversuche und Nachkommenschaftsprüfungen und weitere 18 % auf Samenplantagen. Die restlichen 12 % der erfassten Versuchsanlagen setzten sich aus Klonsammlungen (8 %) und Klonprüfungen (4 %) zusammen.

Mehr als die Hälfte der erfassten Versuchsanlagen wurde im Zeitraum zwischen 1960 und 1979 angelegt. Von 1980 bis 2015 war die Anzahl von neu angelegten Versuchsanlagen deutlich rückläufig, wobei nach 2010 keine Anlagen mehr erfolgten. Das Durchschnittsalter der erfassten Versuchsanlagen beträgt ca. 40 Jahre.

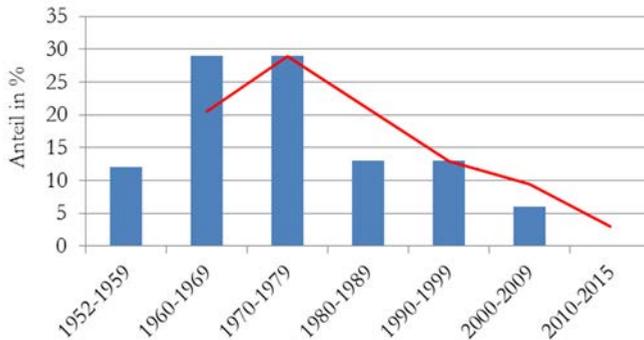


Abbildung 1: Zeitraum und Entwicklung der Anlage von den erfassten 286 Versuchsanlagen mit der Gattung *Larix* in Deutschland (Stand: 31.05.2016)

Nach der Erfassung erfolgte die Prüfung des Zustandes der erfassten Versuchsanlagen in Hinsicht auf ihre Eignung für die Auslese von Plusbäumen, insbesondere die Verfügbarkeit von Ergebnissen, die Reproduzierbarkeit des Versuchsplanes sowie die eindeutige Identifizierbarkeit der in Frage kommenden Versuchseinheiten. Mit Stand vom 31.05.2016 standen 71 Anlagen zur Verfügung, die für die weiterführenden Arbeiten in Hinsicht auf eine übergreifende Auswertung und eine Auslese von Plusbäumen in Frage kommen (s. Abb. 2).

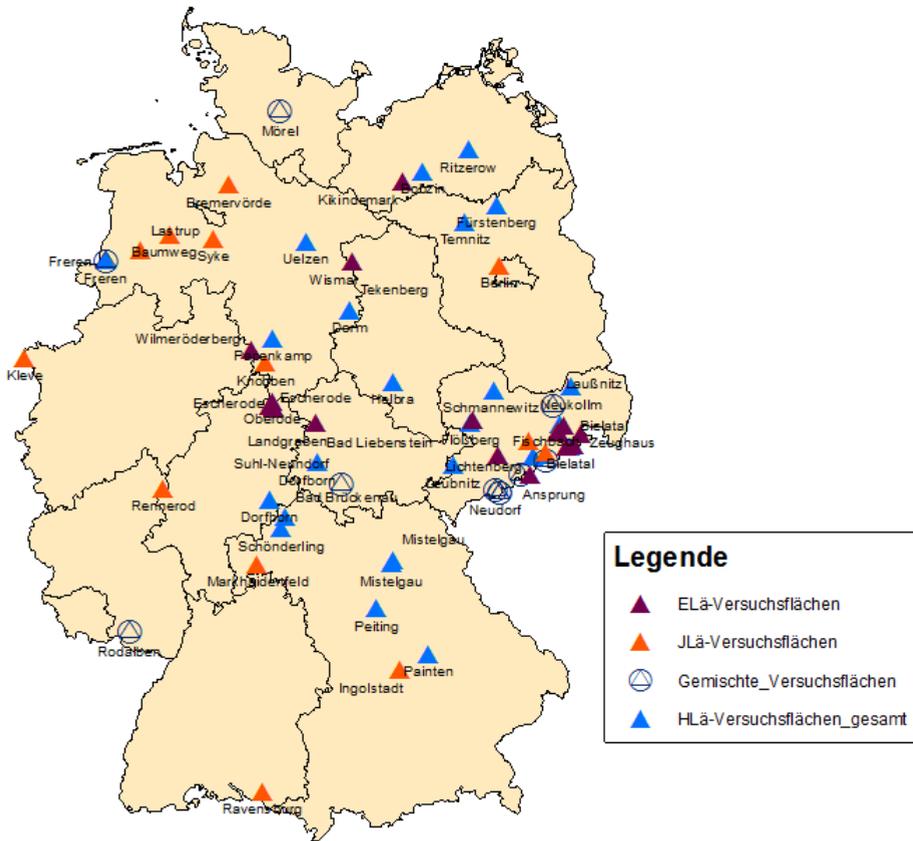


Abbildung 2: *Lärchen-Versuchsflächen in Deutschland, die als geeignet für weitere Arbeiten bewertet wurden (Stand: 31.05.2016; ELä = Europäische Lärche, JLä = Japanische Lärche, HLä = Hybridlärche)*

### 3.2 Übergreifende Auswertung von Versuchsflächen

Am Beispiel von Hybridlärchen-Versuchsflächen in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen und Thüringen werden nachfolgend die ersten vorläufigen Ergebnisse einer übergreifenden Auswertung von Versuchsflächen dargestellt (s. Abb. 3). Die Flächen repräsentieren unterschiedliche Standortverhältnisse in Hinsicht auf Höhenlage, Wasser- und Nährstoffversorgung. Bei einem Vergleich der zehn Prozent bestwüchsigsten Hybridlärchen-Nachkommenschaften im Alter 20 auf jeder Fläche zeigen sich in Abhängigkeit von der Höhenlage der Versuchsflächen eindeutige Unterschiede zwischen den Flächen im montanen und im planaren Bereich (s. Abb. 4, links). Das gleiche Bild ergibt sich, wenn die Höhenlage durch den Ariditätsindex nach DE MARTONNE (1926) ersetzt wird (s. Abb. 4,

rechts). Diese ersten Ergebnisse weisen darauf hin, dass für das Wachstum von Hybridlärchen die Länge der Vegetationszeit einen größeren Einfluss als die Wasserversorgung besitzt.

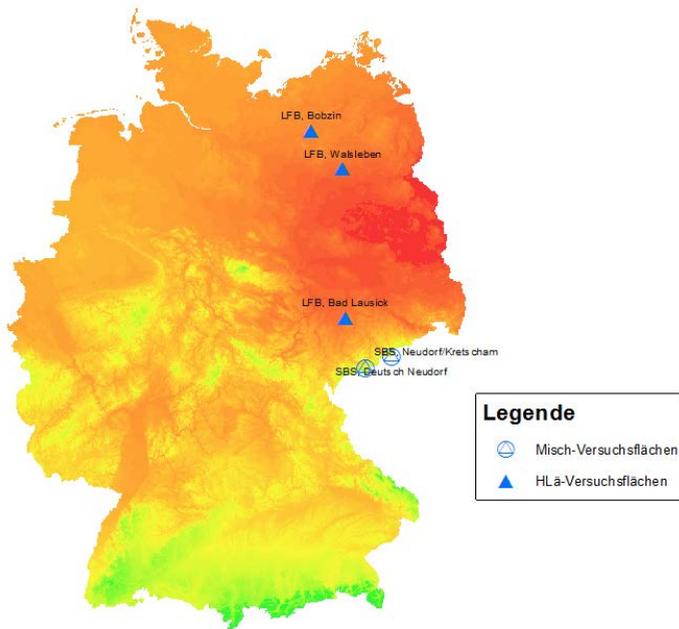


Abbildung 3: Für eine übergreifende Auswertung ausgewählte Versuchsflächen mit Hybridlärchen (HLä) entlang des Standortgradienten „Mittlere jährliche Bodenfeuchte (1991-2010)“ (DWD 2016)

Die auf den verschiedenen Versuchsflächen vorhandenen Daten der genetischen Einheiten (Prüfglieder), die zum Teil aus unterschiedlichen Aufnahmejahren stammen, werden mit Hilfe einer Z-Transformation (BORTZ u. SCHUSTER 2010) standardisiert. Anschließend wird unter unterschiedlicher Gewichtung der Merkmale Höhenwachstum (Faktor 0,6), Schaftform (Faktor 0,3) und Überlebensrate (Faktor 0,1) in einem weiteren Schritt ein additiver Selektionsindex nach HAASEMANN (1969) gebildet. Diejenigen Prüfglieder, die in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle Indizes über dem 3. Quartil aufweisen, werden in erster Linie zur Auswahl von Plusbäumen herangezogen (siehe auch Kapitel 3.3).

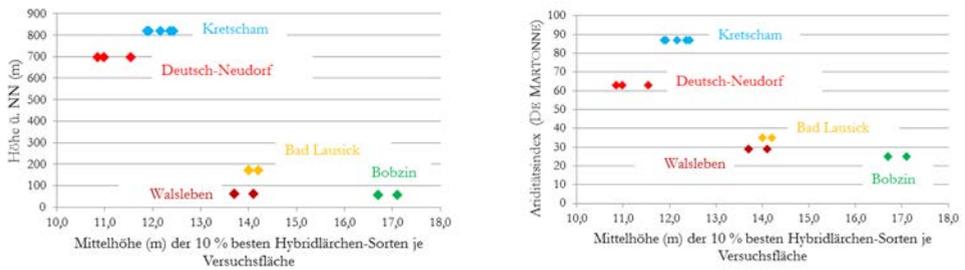


Abbildung 4: Mittelhöhe (m) der 10 Prozent besten Hybridlärchen-Sorten je Versuchsfläche im Alter 20 Jahre in Abhängigkeit von der Höhenlage der Flächen (links) bzw. vom Ariditätsindex nach De Martonne (1926) der Flächen (rechts)

### 3.3 Auslese von Plusbäumen

Die Gattung Lärche wurde wie in Kapitel 2 beschrieben bis in das erste Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts züchterisch intensiv bearbeitet. Trotz des hohen Alters vieler Versuchsflächen steht eine ausreichende Anzahl von rekonstruierbaren Versuchsflächen zur Verfügung, deren Prüfglieder eindeutig identifizierbar sind. Wie im Züchtungskonzept für die Gattung Lärche vorgesehen (LIESEBACH et al. 2013), sollen die Plusbäume für die nächste Samenplantagen-Generation ausschließlich auf Versuchsflächen ausgelesen werden, um den bereits vorhandenen Züchtungsvorlauf zu nutzen. Sollte die Anzahl von Plusbäumen aus Versuchsflächen wieder erwarten nicht ausreichend sein, wird im Ausnahmefall auf eine Auslese in Beständen zurückgegriffen. Besondere Berücksichtigung findet bei der Auslese neben den Merkmalen Schaftform, Wuchsleitung und Resistenz gegenüber Lärchenkrebs die Fähigkeit der auszulesenden Plusbäume, die gewünschten Eigenschaften auch auf trockenen Standorten zu entwickeln.

Nach der übergreifenden Auswertung der Versuchsflächen und der Berechnung des Selektionsindexes erfolgt die Auslese in den 25 % besten Herkünften bzw. Nachkommenschaften je Fläche. Bis zum 31.05.2016 wurden auf diese Weise 530 Plusbäume identifiziert. Davon entfielen 38 % auf Europäische Lärche, 11 % auf Japanische Lärche und 51 % auf Hybridlärche. Der sehr hohe Anteil an Hybridlärche erklärt sich durch die überproportionale Anzahl an Versuchsflächen zur Prüfung von Hybridlärchen, die im Gegensatz zu den älteren Lärchen-Provenienzversuchen noch auswertbar sind.

Die Vermehrungsaktivitäten konzentrierten sich in Absprache mit den Projektpartnern zunächst auf die anderen im Vorhaben zu bearbeitenden Baumarten. Daher wurden bis zum Stichtag 31.05.2016 von den genannten 530 erst 85 Plusbäume vorwiegend der Europäischen Lärche durch Pfropfung vermehrt. Die heterovegetative Vermehrung der für den Aufbau von Klonsammlungen vorgesehenen Plusbäume wird in der zur Verfügung stehenden Projektlaufzeit weitergeführt. Alle

Plusbäume werden wie bei den anderen im Vorhaben bearbeiteten Baumarten mit Hilfe von Mikrosatelliten-Markern genotypisiert.

Die Genotypisierung bildet dann zusammen mit den Ergebnissen der übergreifenden Versuchsflächenauswertung und der noch durchzuführenden Untersuchungen zur Widerstandsfähigkeit gegenüber abiotischen Faktoren die Grundlage für die Zusammenstellung von Zuchtpopulationen für jede Art und Verwendungszone. Die in den Zuchtpopulationen enthaltenen Genotypen der verschiedenen Lärchenarten stehen für die Anlage von Samenplantagen sowie für weiterführende Züchtungsaktivitäten zur Verfügung.

## 4 Perspektiven in Züchtung und Anbau

### 4.1 Perspektiven in der Züchtung

Die züchterische Bearbeitung der Gattung Lärche war bis auf wenige Ausnahmen bis zum Jahr 2010 zum Erliegen gekommen. Mit der Erarbeitung einer Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung der Forstwirtschaft mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland (LIESEBACH et al. 2013) und dem Beginn des Vorhabens „FitForClim“ sind wichtige Schritte zur Wiederbelebung der Lärchenzüchtung unternommen worden.

Die bisherigen Ergebnisse der Züchtungsarbeiten mit der Gattung Lärche zeigen, dass bei der Europäischen Lärche durch eine konsequente Auslese von Plusbäumen in Abhängigkeit von den jeweiligen Merkmalen Leistungssteigerungen von bis zu 40 % möglich sind (DIETZE 1976, PAQUES 2009). Die Überlegenheit von Hybrid-Lärchen gegenüber Populationen der Elternarten beträgt unter anderem bis zu 80 % im Wachstum (eigene Untersuchungen) sowie zwischen 20 und 40 % beim Merkmal Geradschaftigkeit (ROULUND 2007 zit. nach PAQUES et al. 2012).

Die Züchtungsarbeiten bei der Europäischen Lärche werden sich in Zukunft auf die Bereitstellung von Vermehrungsgut konzentrieren, das zum einem überdurchschnittliche Eigenschaften in Hinsicht auf Stammform, Wuchsleistung und Stabilität (hohe Überlebensrate, hohe Anpassungs- und Regenerationsfähigkeit) verspricht. Zum anderen wird besonderer Wert auf eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten und abiotischen Schäden sowie auf sehr gute Holzqualität gelegt. Dies wird durch die konsequente Auslese von Plusbäumen in bereits geprüften Herkünften und Nachkommenschaften mit nachfolgender Anlage von Samenplantagen betrieben. Weiterhin können Europäische Lärchen-Klone mit guter Wüchsigkeit und Klone mit sehr guten Schaffformen, die aus verschiedenen Arealteilen stammen, miteinander gekreuzt werden (LIESEBACH et al. 2013).

Eine weitergehende züchterische Bearbeitung der Japanischen Lärche wird in Deutschland auf Grund der ausschließlich regionalen Bedeutung dieser Baumart

nicht stattfinden. Abgesehen davon besitzen Einzelbäume der Japanischen Lärche eine sehr große und nicht zu ersetzende Bedeutung für die Durchführung von Hybridlärchen-Züchtungsprogrammen. Zur langfristigen Sicherstellung der genetischen Ressourcen für die Hybridlärchen-Züchtung ist daher zunächst der Aufbau von Klonsammlungen nach Auslese geeigneter Plusbäume hauptsächlich in den bestehenden Versuchsanlagen vorgesehen (LIESEBACH et al. 2013).

Bei der Hybrid-Lärche stehen, neben der Wuchsleistung, die Verbesserung der Merkmale Holz- und Stammqualität sowie die Standorttoleranz bei hoher Lärchenkrebsresistenz für die Produktion von Holz für die stoffliche Nutzung im Mittelpunkt des Interesses. Zur Erreichung dieser Ziele bietet die Kombination von Kreuzungszüchtung mit beständig fortgeführter Selektion die größten Chancen zur kurzfristigen Erhöhung der Holzproduktion (LIESEBACH et al. 2013).

Unabhängig von der Lärchenart werden in Zukunft klimarelevante Merkmale wie die Widerstandsfähigkeit gegenüber Frost und Trockenheit verstärkt in die Züchtungsprogramme mit einbezogen. Dies wird zum Beispiel durch eine systematische Prüfung von Plusbäumen auf ihre Reaktion gegenüber diesen Faktoren geschehen.

## 4.2 Perspektiven im Anbau

Auf Grund ihrer vielseitigen Verwendbarkeit, ihres raschen Wachstums sowie ihrer Holzqualität stellen die Europäische Lärche und die Hybridlärche eine waldbaulich und wirtschaftlich interessante Ergänzung des natürlichen Baumartenspektrums dar. Sie können als Beimischung von Laub- und Nadelbaum-Beständen verwendet werden, als Pionier- und Vorwaldbaumarten zur Erst- oder Wiederaufforstung von Freiflächen dienen oder in einem Umtrieb von bis zu 20 Jahren auf Ackerflächen als Alternative zu Pappeln und Weiden angebaut werden.

Vor allem der Verwendung zur Erst- oder Wiederaufforstung von Freiflächen kann in Zukunft eine zunehmende Bedeutung zukommen. Die Anteile der zufälligen Nutzungen an der Gesamtnutzung bewegten sich zum Beispiel in Sachsen von 1885 bis 1934 zwischen 18 und 25 %. Im Zeitraum von 1993 bis 2012 betragen diese durchschnittlich 35 %. Zusätzliche Flächenpotenziale ergeben sich zum Beispiel in Sachsen durch Waldmehrung, Ersatz- und Ausgleichsmaßnahmen sowie Rekultivierung von Flächen des Braunkohletagebaus.

Weitere Perspektiven ergeben sich auch im Hinblick auf den Klimawandel zum Beispiel bei einem Anbau der Lärche in den Mittelgebirgen Sachsens in Höhenlagen über 500 m über NN. Lange Zeit wurde der Lärchenanbau in den höheren Lagen der Mittelgebirge als Problem betrachtet und ausdrücklich vor einem Anbau gewarnt (RUBNER 1941, 1953, SCHÖNBACH u. HAASEMANN 1969, WACHTER 1962). Andererseits erfolgte in einem Zeitraum von 1962 bis 1991 der Anbau von Lärchen-Arten auf 1.700 ha im Schwefeldioxid-Schadgebiet des oberen Erzgebir-

ges in Höhen zwischen 700 und 900 m ü. NN (entspricht ca. 20 % der Gesamtschadfläche) (BUTTER u. RICHTER 1998). Bei einer Bereisung des ehemaligen Hauptschadgebietes im Forstbezirk Neudorf im März 2016 konnten sehr vielversprechende Anbauten unterschiedlicher Lärchen-Arten beobachtet werden (s. Abb. 5 und 6).



*Abbildung 5: 30-jähriger Hybridlärchen-Bestand (links vom Weg) und gleichaltriger Japanischer Lärchen-Bestand (rechts vom Weg) in einer Höhenlage zwischen 920 und 990 m ü. NN im mittleren Erzgebirge (Forstbezirk Neudorf)*



*Abbildung 6: 30-jähriger Europäischer Lärchen-Bestand in einer Höhenlage zwischen 730 und 750 m ü. NN im mittleren Erzgebirge (Forstbezirk Neudorf)*

Die Chancen von Europäischer Lärche und Hybridlärche sind unter den sich ändernden Klimabedingungen möglicherweise besser als vorhergesagt. Sie verfügen über Wurzelsysteme, die auch tiefere Bodenschichten erschließen können. Sie werden in Zukunft als Folge der züchterischen Bearbeitung widerstandsfähiger gegenüber Frost und Trockenheit sein und werden durch ihr schnelles Wachstum eine höhere waldbauliche Flexibilität bei überdurchschnittlicher Werterwartung bieten.

## Literatur

- BMEL (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT) (2014): Bundeswaldinventur III – Alle Ergebnisse und Berichte. Berlin, [www.bundeswaldinventur.de](http://www.bundeswaldinventur.de), Juni 2016
- BORTZ, J.; SCHUSTER, C. (2010): Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer-Verlag, 655 S.
- BUTTER, D.; RICHTER, H.-J. (1998): Beurteilung der im Immissionsschadgebiet des oberen Erzgebirges vorhandenen Bestände aus unterschiedlichen Baumarten und weiteres Vorgehen bei der Waldschadenssanierung. In: PAUL, M. (Red.): Forstpflanzenzüchtung für Immissionsschadgebiete. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 13, Graupa, 73-80
- DACASA RÜDINGER, M.; KADOLSKY, M.; HÜLLER, W.; WOLF, H. (2016): Entwicklung der biotechnologischen Grundlagen und praxisnaher Anbauverfahren zur Steigerung der Dendromasseproduktion durch Züchtung und Massenvermehrung von Sorten ausgewählter Baumarten. Teilvorhaben 2: Züchtung und Anbau von Hochleistungssorten ausgewählter Baumarten in Land- und Forstwirtschaft (FNR-FKZ: 22032011). Abschlussbericht, Staatsbetrieb Sachsenforst, Pirna, 45 S.
- DE MARTONNE, E. (1926): Une nouvelle fonction climatologique: l' indice d' aridité. La Météorologie 2, 449-458
- DENGLER, A. (1942): Ein Lärchenherkunftsversuch in Eberswalde. Z. Forst- und Jagdwes., 74 Jg., 152-179
- DWD (DEUTSCHER WETTERDIENST) (2016): Climate Data Center (CDC): Vieljährige Raster der Bodenfeuchte unter Gras und sandigem Lehm (per Kalendermonat), Version 0.x; [ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/grids\\_germany/multi\\_annual/soil\\_moist](ftp://ftp-cdc.dwd.de/pub/CDC/grids_germany/multi_annual/soil_moist), 02.06.2016
- DIETZE, W. (1976): Züchterische Möglichkeiten zur Verbesserung quantitativer und qualitativer Eigenschaften bei europäischer Lärche (*Larix decidua* Mill.). Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, 13, 107 S.
- DIMPFLMEIER, R. (1959): Die Bastardierung in der Gattung *Larix*. Beihefte zum Forstw. Cbl., 12, 75 S.
- FALK, W.; BACHMANN-GIGL, U.; KÖLLING, CH. (2012): Die Europäische Lärche im Klimawandel. LWF Wissen, 69, 19-27
- FRANKE, A. (1995): Results of hybrid larch breeding in Baden-Württemberg. In: Proceedings of IUFRO-S2.02-07 meeting. Remningstorp, July 1995, 123-125
- HAASEMANN, W. (1969): Beitrag zur phänotypischen Bewertung von „Auslesebäumen“. Archiv f. Forstwesen, 18. Jg., 569-579
- HAASEMANN, W. (1972): Ergebnisse der Leistungsprüfung 7jähriger Lärchen-Nachkommenschaften aus gelenkten Kreuzungen. Beitr. f. d. Forstwirtschaft, 4 Jg., 25-29
- HAASEMANN, W. (1986): Untersuchungen zur Ökologie der Europäerlärche, Japanerlärche und ihrer Hybriden im Naß-Trockenfeld. Beitr. f. d. Forstwirtschaft, 20 Jg., 184-188
- HERING, S. (1990): Analysen zur quantitativen Genetik von Lärchenkreuzungs-Nachkommenschaften sowie Stand und Perspektiven der Kreuzungszüchtung bei der Gattung *Larix* unter besonderer Berücksichtigung ihres Anbaus in den Mittelgebirgen Sachsens. Dissertation, TU Dresden, 144 S.
- HERING, S.; BRAUN, H. (1990): Hybridlärchenhochzuchtsorten für die Mittelgebirge der DDR. Forstwirtschaft, 40 Jg., 174-176
- HERING, S.; BRAUN, H. (1992): Some results of larch hybrid breeding at Graupa. In: WEISGERBER, H. (ed.): Results and Future Trends in Larch Breeding on the Basis of Provenance Research. Proceedings, IUFRO Centennial Meeting of the Working Party S 2.02-07, 146-159
- LANGNER, W. (1935): Bestandesgeschichtliche Untersuchungen über Samenherkunft und ihre forstliche Bedeutung. Dargelegt am Beispiel der Lärche in Sachsen. Thar.-Forst.-Jb, 86 Jg., 1-47
- LANGNER, W. (1958): Planung und erste Ergebnisse eines Japanlärchen-Provenienzversuches mit zugleich züchterischer Zielsetzung. Cbl. ges. Forstwesen, 75 Jg., 168-196

- LANGNER, W.; SCHNECK, V. (1998): Ein Beitrag zur Züchtung von Hybridlärchen (*Larix x eurolepis* HENRY). Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 159 S.
- LIESEBACH, M.; DEGEN, B.; GROTEHUSMANN, H.; JANBEN, A.; KONNERT, M.; RAU, H.-M.; SCHIRMER, R.; SCHNECK, D.; SCHNECK, V.; STEINER, W.; WOLF, H. (2013): Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, Thünen Report 7, 78 S.
- PAQUES, L. E. (2009): Growth Rhythm Parameters as Components of Hybrid Vigour in Young Seedlings of Hybrid Larch (*Larix decidua* x *L. kaempferi*). *Silvae Genetica*, 58 Jg., 42-53
- PAQUES, L. E.; FOFFOVA, E.; HEINZE, B.; LELU-WALTER, M.-A.; LIESEBACH, M.; PHILIPPE, G. (2012): Larches (*Larix* sp.). In: PAQUES, L. E. (ed.): *Forest Tree Breeding in Europe*. Springer-Verlag, 13-106
- RAU, H.-M. (2004): Der Gahrenberger Lärchen-Provenienzversuch. *Forst und Holz*, 59 Jg., 574-576.
- ROULUND, H. (2007): Hybridlärk: En förbavsande överlegen træart (Hybrid Larch – an astonishing superior tree species). *Skoven*, 39 Jg., 88-93
- RUBNER, K. (1938): Die Ergebnisse zweier Lärchenherkunftsversuche im Tharandter Wald. *Thar. Forstl. Jb.*, 89 Jg., 465-491
- RUBNER, K. (1941): Die Ergebnisse zehnjähriger Lärchenherkunftsversuche im Erzgebirge. *Thar. Forstl. Jb.*, 92 Jg., 15-48
- RUBNER, K. (1953): Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaues. 4. völlig überarbeitete Aufl., Neumann-Verlag, Radebeul-Berlin, 583 S.
- SCHÖBER, R. (1958): Ergebnisse von Lärchen-Art- und Provenienzversuchen. *Silvae Genetica*, 7 Jg., 5, 137-154
- SCHÖBER, R. (1977): Vom 2. Internationalen Lärchen-Provenienzversuch 1958/59, ein Beitrag zur Lärchenherkunftsfrage. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, 49, 358 S.
- SCHÖBER, R. (1981): Vom I. Internationalen Lärchenprovenienzversuch 1944. Bericht über drei deutsche Teilversuche. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 152 Jg., 181-195, 201-211, 221-233
- SCHÖBER, R. (1985): Neue Ergebnisse des II. Internationalen Lärchenprovenienzversuches von 1958/59 nach Aufnahmen von Teilversuchen in 11 europäischen Ländern und den U.S.A.. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, 83, 164 S.
- SCHÖBER, R.; FRÖHLICH, H.-J. (1967): Der Gahrenberger Lärchen-Provenienzversuch. *Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen*, 37/38, 208 S.
- SCHÖBER, R.; RAU, H.-M. (1991): Ergebnisse des I. Internationalen Japanlärchen-Provenienzversuches. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, 102, 168 S.
- SCHÖNBACH, H.; HAASEMANN, W. (1968): Probleme des Lärchenanbaues in höheren Lagen unserer Mittelgebirge. *Soz. Forstwirtschaft*, 18 Jg., 339-340
- SCHÖNBACH, H.; BELLMANN, B.; SCHEUMANN, W. (1966): Die Jugendentwicklung, Dürre- und Frostresistenz verschiedener Provenienzen der japanischen Lärche (*Larix leptolepis* GORDON). *Silvae Genetica*, 15 Jg., 141-147
- SCHÜTT, P.; SCHUCK, H.-J.; STIMM, B. (1992): *Lexikon der Forstbotanik*. ecomed, Landsberg am Lech, 581 S.
- WACHTER, H. (1962): Untersuchungen zur Anbaufähigkeit der europäischen Lärche (*Larix decidua* MILL., *L. europaea* D. CAND.) in Deutschland. *Archiv f. Forstwesen*, 11. Jg., 458-576
- WECHSELBERGER, F. (1950): Lärchennachzucht und Anerkennung. *Allg. Forstzeitschr.*, 5 Jg., 205-207
- WEISER, F. (1992): Tree Improvement of Larch at Waldsiedersdorf: Status and Prospects. *Silvae Genetica*, 41 Jg., 181-188
- WEISERBERGER, H. (1990): Beiträge zur genetischen Variation der Waldbäume und Gefahren der Genverarmung durch Pflanzenzüchtung. *Forstliche Forschungsberichte München* 107, 204 S.

WEISGERBER, H.; ŠINDELÁŘ, J. (1992): History, Results, and Future Trends of Research and International Cooperation with European Larch (*Larix decidua* MILL.). *Silvae Genetica*, 41, 150-161

Korrespondierender Autor:

Dr. Heino Wolf

Staatsbetrieb Sachsenforst, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft, Referat  
Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung

Bonnewitzer Str. 34

D-01796 Pirna

heino.wolf@smul.sachsen.de

www.sachsenforst.de

Christian Steinke

Staatsbetrieb Sachsenforst, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft, Referat  
Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung



# Entwicklung eines Saatguterntekonzeptes für Stiel- und Trauben-Eiche

Development of a seed crop concept for pedunculate and sessile oak

*André Hardtke, Meik Meißner, Wilfried Steiner und Alwin Janßen*

## Zusammenfassung

Im Rahmen des Waldumbaus und dem sich abzeichnenden Klimawandel wird den Eichenarten für die Zukunft eine große Rolle zugeschrieben. Der zunehmende Rohstoffbedarf, bei abnehmender bewirtschafteter Waldfläche, steigert zusätzlich den Bedarf an hochwertigem Forstvermehrungsgut mit verbesserten Eigenschaften hinsichtlich Wuchsleistung, Qualität und Anpassungsfähigkeit.

Aktuell wird der Saatgutbedarf hauptsächlich über zugelassene Saatguterntebestände der Kategorie „Ausgewählt“ gedeckt. Bei der bestandesweisen Beerntung werden dabei auch phänotypisch unerwünschte Individuen beerntet. Die genetische Qualität des gewonnenen Vermehrungsgutes kann durch diese Erntemethode beeinträchtigt sein. Demgegenüber stehen die ausschließlich aus Plusbäumen aufgebauten Samenplantagen. Sie liefern hochwertiges Saatgut mit einer überdurchschnittlichen genetischen Diversität und Leistungsfähigkeit. Die Anlage von Samenplantagen ist jedoch mit einem hohen Zeit- und Kostenaufwand verbunden. Zudem kann über neue Samenplantagen erst mittel- bis langfristig ein höherer Anteil des Saatgutbedarfs gedeckt werden.

Als Ergänzung zu den Samenplantagen wird im Projekt „FitForClim“ ein Konzept zur Erhöhung der Saatgutqualität aus Saatguterntebeständen erarbeitet. Dieses sieht eine Einzelbaumbeerntung von phänotypisch hervorragenden Individuen und waldbauliche Maßnahmen vor. Im Frühjahr 2015 und 2016 wurden hierfür fünf Testbestände in Niedersachsen, Hessen und Brandenburg eingerichtet. Die Aufnahme von Lagekoordinaten sowie Leistungs- und Formparametern ermöglicht eine exakte Abbildung der qualitativen Verhältnisse der Bestände. An den Testbeständen werden verschiedene Ernteszenarien und waldbauliche Behandlungsmaßnahmen zur Steigerung der Saatgutqualität simuliert. Ziel ist die kurzfristige und kostengünstige Versorgung mit hochwertigem und genetisch diversem Eichen-Vermehrungsgut. Die Grundlagen des Konzeptes und einige Handlungsoptionen sollen hier dargestellt werden.

**Stichworte:** Eiche, Saatguterntebestände, Samenplantagen, FitForClim, genetische Qualität

## Abstract

Within the framework of forest restructuring and ongoing climate change, oak species may well play a greater role in the forests of the future. A growing demand for raw material, coupled with a shrinking commercial forest area, increases the need for high quality forest reproductive material with improved growth, quality and adaptive characteristics.

The supply of seeds is currently met mainly by certified seed harvest stands. However, with this stand-wise harvesting seeds from phenotypically undesirable trees are also collected. The genetic quality of the reproductive material can, therefore, be compromised by this method of harvesting. In contrast, seed orchards developed exclusively from plus-tree material provide high quality seeds with above average genetic diversity and productivity. Establishing new seed orchards is, however, time consuming and expensive, and they can only provide an increased seed supply in the mid – to – long term.

As a supplement to seed orchards, a concept to improve the seed quality from seed harvest stands is developed in the “FitForClim” project. This envisages the single-tree harvesting of phenotypically outstanding individuals. For this purpose, five test stands were established in Lower Saxony, Hesse and Brandenburg in the spring of 2015 and 2016. The positional coordinates, as well as productivity and form parameters are recorded, which makes an exact depiction of conditions in the stand possible. In the test stands, various harvest scenarios and silvicultural treatments for improving seed quality are simulated, with the goal of short-term and cost-effective provision of high quality, and genetically diverse, oak reproductive material. The basic principles of the concept and some treatment options are presented here.

**Keywords:** oak, seed harvesting stand, seed orchard, FitForClim, genetic quality

## 1 Einleitung

Seit 2014 läuft das deutschlandweite Projekt „FitForClim“ mit dem Ziel, hochwertiges Vermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft bereitzustellen (MEIBNER et al. 2015). Innerhalb des Projektes soll die Forstpflanzenzüchtung unter anderem für die bei uns heimischen Eichenarten Stiel- und Trauben-Eiche intensiviert werden. Insbesondere sollen Plusbäume für den Aufbau zukünftiger Samenplantagen identifiziert und ihre Genetik gesichert werden. Zusätzlich zu der Plusbaumauswahl soll ein Saatguternte- und Bestandesbehandlungskonzept entwickelt werden. Erste Ansätze zum Konzept sind im Thünen Report 7 zu finden (LIESEBACH et al. 2013).

### 1.1 Aktuelle Situation der Eiche

Als Gewinner des Klimawandels werden vielfach die in Deutschland heimischen Baumarten Stiel- und Trauben-Eiche betrachtet (HANEWINDEL et al. 2013). KÖLLING (2007) vergleicht mit seinen Klimahüllen das Klima des natürlichen Verbreitungsgebietes einer Baumart mit dem gegenwärtigen und zukünftigen Klima in Deutschland und kommt zu dem Ergebnis, dass die Eichenarten auch mit zukünftig wärmeren Klimaten zurechtkommen werden. In Zukunft sind ebenfalls starke Arealverschiebungen für die meisten Baumarten zu erwarten. Jedoch zählen die Eichenarten zu den Arten, die am meisten von der Entwicklung profitieren (BRANG et al. 2008). So werden für die Trauben-Eiche 4 % und für die Stiel-Eiche 8 % Flächengewinn in den feucht-kalten bewaldeten Gebieten Deutschlands prognostiziert (KÖLLING u. ZIMMERMANN 2007).

In vielen Landesforsten findet eine Neuausrichtung der waldbaulichen Strategie statt. Seit einigen Jahren werden daher vermehrt Nadelholzbestände in stabilere Laubmischwälder umgebaut. Das niedersächsische Regierungsprogramm „Langfristige ökologische Waldentwicklung“ (LÖWE) legt eine Erhöhung des Laubbaumanteils in Mischwäldern von 37 % auf 65 % fest, an dem die Eiche ihren Anteil hat (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESREGIERUNG 1991).

Auch in anderen Bundesländern wie z. B. Nordrhein-Westfalen sind Umbau- und Anpassungsstrategien veröffentlicht worden, in denen der Eiche eine größere Rolle zugetragen wird (MKULN 2015). Besonders zur Wiederbewaldung von Sturmwurfflächen ist die Eiche eine interessante Möglichkeit (ASCHE et al. 2007).

Der Holzbedarf unserer Gesellschaft ist in den letzten Dekaden stark angestiegen und wird auch in Zukunft weiter steigen (MANTAU 2006, 2012). Demgegenüber steht eine Reduktion der bewirtschafteten Waldfläche durch Restriktionen und Flächenstilllegungen (BMU 2007). Der wirtschaftliche Druck auf die verblei-

benden Waldflächen ist dementsprechend groß. Soll bei gleichbleibender oder geringerer Anbaufläche die Holzversorgung nachhaltig gesichert sein, müssen leistungssteigernde Maßnahmen ergriffen werden (JANßEN u. RAU 2008, REICHWALDT 2012). Bei der künstlichen Verjüngung kommt hochwertigem Vermehrungsgut eine zentrale Bedeutung zu. Für den Umbau oder die Neuanlage von Beständen bedarf es in Zukunft noch größerer Mengen an leistungsfähigem Saatgut.

## 1.2 Quellen forstlichen Vermehrungsgutes

### 1.2.1 Saatguterntebestände

Forstliches Vermehrungsgut wird momentan hauptsächlich in Saatguterntebeständen der Kategorie „Ausgewählt“ gewonnen (BLE 2015). Im Forstvermehrungsgesetz (FoVG 2002) ist allgemein geregelt, dass Saatguterntebestände amtlich zugelassen sein müssen. Die Zulassungsvoraussetzungen sind im Detail in der Forstvermehrungsgut-Zulassungsverordnung (FoVZV 2002) geregelt, unter anderem werden Mindestfläche (Stiel-Eiche 0,5 ha, Trauben-Eiche 1,0 ha), Mindestalter (Eichenbestände 70 Jahre) und Mindestbaumzahlen (bei Eiche 40 für den Bestand, 20 für die Beerntung) genannt. Es finden sich aber keine Vorgaben, welche Bäume konkret in die Beerntung einbezogen werden. Das bedeutet, dass auch Individuen mit unbefriedigendem Phänotyp beerntet werden, wenn sie gut fruktifizieren (s. Abb. 1A und B).

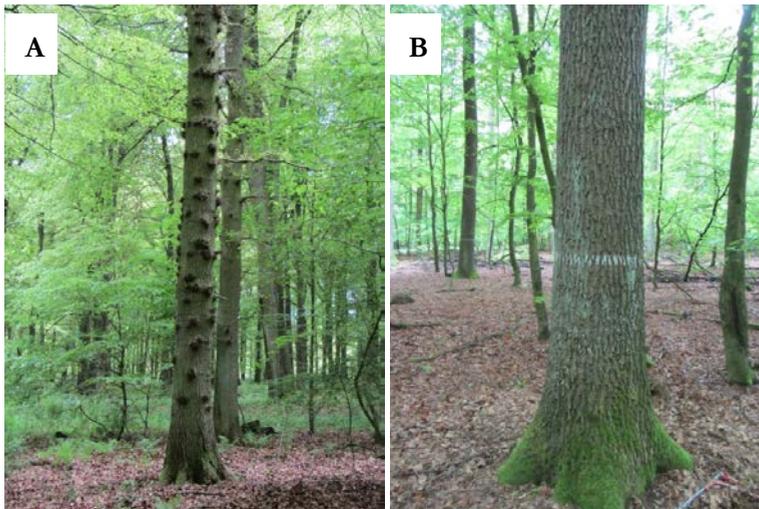


Abbildung 1: Eiche mit unbefriedigenden (A) und hervorragenden Schaftigenschaften (B) in einem nordhessischen Saatguterntebestand

Die Ernte erfolgt bei den Eichen fast ausschließlich von Hand. Nur selten kommen Schüttler oder Sauger zum Einsatz (PROQUERCUS 2010). Aufgrund der praxisüblichen Vergütung nach Gewicht werden die Individuen, die am stärksten fruktifizieren oder besonders großsamige Eicheln hervorbringen, bevorzugt beerntet. Beide Tatsachen können einen enormen Einfluss auf die genetische Qualität des Saatgutes haben und diese negativ beeinflussen. Bei einer repräsentativen Bestandesbeerntung sind keine gerichteten Abweichungen der genetischen Strukturen gegenüber dem Saatguterntebestand zu erwarten. Damit wird die Leistungsfähigkeit des Saatgutes dem des Elternbestandes entsprechen. Eine merkliche Leistungssteigerung kann daher nicht erwartet werden.

In Vergleichsprüfungen hat sich das Saatgut mancher Bestände als überdurchschnittlich gut veranlagt erwiesen, sodass diese Saatguterntebestände in der Kategorie „Geprüft“ zugelassen werden konnten. Es gibt aber nur wenige Bestände dieser Kategorie. Im Ganzen sind 0,35 % der Eichenbestände als geprüft zugelassen (BLE 2013).

### 1.2.2 Samenplantagen

Als weitere Quelle für forstliches Vermehrungsgut können die Samenplantagen genannt werden. Auf ihnen stehen Pfropflinge von Plusbäumen in mehrfacher Wiederholung. Samenplantagen stocken isoliert von Beständen gleicher Art. Dadurch wird der Polleneintrag von außen minimiert und nur die Individuen der Samenplantage können sich am Reproduktionsprozess beteiligen. Das Ergebnis ist hochwertiges Saatgut (Kategorie „Qualifiziert“ oder „Geprüft“) mit einer überlegenen Wuchsleistung und guten bis sehr guten Formeigenschaften (RAU 1998, GROTEHUSMANN u. SCHÖNFELDER 2011, GROTEHUSMANN 2014). Jedoch ist die Anlage von Samenplantagen mit einem erheblichen Zeit- und Kostenaufwand verbunden. So vergehen von der vegetativen Vermehrung (Pfropfung) bis zur ersten lohnenden Ernte bei der Stiel-Eiche 15 und bei der Trauben-Eiche 20 Jahre (KLEINSCHMIT et al. 1975). Für die Anlage von einem Hektar Kiefersamenplantage werden 15.000 € (LINDGREN et al. 2015), für die Anlage mit Eiche sogar 20.000 € veranschlagt (REICHWALDT 2011). Auch der Pflegeaufwand ist enorm und verursacht besonders in den ersten Jahren hohe Kosten (STEINER 2012). Daher existieren für die beiden Eichenarten nur sehr wenige Plantagen. Bedingt durch die geringe Fläche tragen Samenplantagen zurzeit nur marginal zur Saatgutversorgung bei. Im Erntejahr 2013/2014 betrug der Anteil lediglich 0,3 % des Gesamtsaatgutaufkommens in Deutschland (BLE 2014).

## 2 Entwicklung eines Saatguterntekonzeptes

Samenplantagen können den derzeitigen Bedarf an hochwertigem Vermehrungsgut nicht kurz- und mittelfristig decken. Daher wird im Zuge des „FitForClim“-Projektes ein Konzept erarbeitet, dass die Gewinnung hochwertigen Saatguts aus vorhandenen Saatguterntebeständen ermöglicht sowie kurzfristig und kostengünstig realisiert werden kann.

### 2.1 Wissenschaftlicher Hintergrund

Die phänotypische Ausprägung von Bäumen wird durch das Zusammenspiel der Umweltbedingungen und der Erbanlagen (Genetik) gesteuert (GEBUREK 2004). Zwangsläufig findet sich die genetische Veranlagung der Elternbestände im Saatgut wieder. Schon MATTHÄI (1922) kommt in seinen Überlegungen zur waldbaulichen Bedeutung der Samenprovenienz zu einem ähnlichen Schluss. Einen phänotypischen Zusammenhang zwischen Mutterbäumen und deren Nachkommen konnte CIESLAR (1923) in dem ersten internationalen Stiel-Eichen-Herkunftsversuch nachweisen. Neuere genetische Untersuchungen unterstreichen diese Annahme: Phänotypische Merkmale wie Geradschaftigkeit, Drehwuchs und Steilastigkeit sind hoch vererblich (NANSON 2002). So werden Geradschaftigkeit und Drehwuchs zu 60 % und das Höhenwachstum immerhin noch zu 25 % von genetischen Faktoren beeinflusst (GEBUREK 2004).

Die Forstvermehrungsgut-Zulassungsverordnung (FoVZV) fordert zwar ebenfalls von den Saatguterntebeständen, dass sie in den relevanten „phänotypischen Merkmalen unter Berücksichtigung der normalen individuellen Variabilität ausreichend einheitlich“ sind. Dennoch ist die Variabilität innerhalb der Bestände bezüglich ihrer Qualität und Massenleistung z. T. sehr groß. Die Auswahl der zu beerntenden Bäume hat demnach einen erheblichen Einfluss auf die Saatgutqualität. Eine flächige Beerntung der Bestände ist daher für eine Steigerung der genetischen Qualität nicht zielführend.

### 2.2 Von der Bestandesbeerntung zur Beerntung des Einzelbaums

Als Kernstück sieht das Konzept die Beerntung der phänotypisch besten Bäume vor, die zuvor nach einheitlichen Kriterien der Vitalität, Wuchsleistung und Qualität ausgewählt wurden. Dadurch wird über den mütterlichen Beitrag die genetische Qualität des Saatgutes angehoben. Weitere Einflussfaktoren sind der Anteil an Fremdsamen unter den Erntebäumen und der Pollenbeitrag von Vererbern mit ungeeigneten Merkmalen. Waldbauliche Maßnahmen unterschiedlicher Intensität können hier ansetzen und die genetische Qualität des Saatgutes weiter verbessern. Bestände, die allein der Saatgutproduktion dienen, wären ein mögliches Ergebnis. Die Holzproduktion würde in solch reinen Saatguterntebeständen in den Hintergrund rücken. Das nach dem Konzept geerntete Saatgut lässt einen großen gene-

tischen Qualitätssprung und damit einen höheren Wertholzanteil und eine höhere Wuchsleistung in den Folgebeständen erwarten.

### 2.3 Behandlungsvarianten

Im Zuge der Konzeptbearbeitung wurden vier mögliche Behandlungsvarianten für Saatguterntebestände entwickelt, die über unterschiedliche Eingriffsintensitäten die genetische Qualität des geernteten Saatgutes beeinflussen sollen (HARDTKE et al. 2016). Die Varianten stellen den theoretischen Handlungsspielraum dar und werden einzeln evaluiert.

- In Variante 1 erfolgt die Ernte ausschließlich unter den im Vorfeld phänotypisch selektierten Einzelbäumen. Durch die benachbarten Bäume kann es im Randbereich der Erntebäume zu einer Durchmischung des Saatgutes kommen. Dies wird in Variante 1 toleriert, sodass keine waldbaulichen Maßnahmen erforderlich sind.
- In Variante 2 werden ebenfalls nur die im Vorfeld phänotypisch selektierten Einzelbäume beerntet. Jedoch wird eine Durchmischung mit Saatgut der Nachbarbäume nicht toleriert. Dies erfordert eine Freistellung der Samenbäume, sodass der Fremdsameneintrag minimiert ist.

Diese beiden Varianten zielen lediglich auf einen qualitätssteigernden Effekt auf der mütterlichen Seite. In den folgenden Varianten soll durch weiterführende waldbauliche Maßnahmen die genetische Qualität weiter gesteigert werden. Dies geschieht über die Entnahme von phänotypisch unerwünschten Individuen, um sie als Pollenspender auszuschließen.

- In Variante 3 werden in Erweiterung zu Variante 2 zusätzlich die schlechtesten Individuen entnommen. Diese können sich so nicht mehr als Pollenspender am Reproduktionsprozess beteiligen und die genetische Qualität des Saatgutes negativ beeinflussen.
- In Variante 4 verbleiben nur die im Vorfeld phänotypisch selektierten Bäume im Bestand. Alle anderen Individuen werden entfernt.

Die Eingriffsintensitäten nehmen von der ersten zur vierten Variante stark zu, jedoch lassen die Varianten mit hohen Eingriffsintensitäten das Saatgut mit der höchsten genetischen Qualität erwarten.

### 2.4 Testbestände

Für die Evaluierung der einzelnen Varianten wurden in Deutschland fünf Testbestände angelegt (s. Tab. 1).

Tabelle 1: Übersicht einzelner Testbestände (HARDTKE et al. 2016)

Bundesland	Forstamt	Baumart	Fläche [ha]	Begründungs- jahr
Brandenburg	Cottbus	Trauben-Eiche	20,8	1876
Hessen	Reinhardts- hagen	Stiel- und Trauben-Eiche	10,7	1900
Niedersachsen	Dassel	Stiel-Eiche	4,6	1897
Niedersachsen	Grünenplan	Trauben-Eiche	3,1	1895
Niedersachsen	Münden	Trauben-Eiche	5,4	1841

Die Testbestände unterscheiden sich hinsichtlich der Bestandesalter und dem Mischungsanteil der Buche. Bei dem Bestand in Brandenburg handelt es sich um einen Trauben-Eichen-Reinbestand. Innerhalb der Bestände wurden Testflächen mit einer Größe von 1,5 bis 3,0 Hektar angelegt. Auf den Testflächen wurden alle Eichen mit ihren exakten Positionen erfasst. An jeder Eiche wurden die Leistungsparameter Baumhöhe, Kronenansatz und Brusthöhendurchmesser (BHD) sowie die Formparameter Schnürigkeit, Zwieselwuchs, Steilastigkeit, Rosenbesatz, Wasserreiser und Drehwuchs erhoben. Zusätzlich wurden an vier Beständen die Kronenradien mit Hilfe eines Kronenspiegels aufgenommen.

## 2.5 Baumklassifizierung

Die aufgenommenen Leistungs- und Qualitätsparameter wurden für eine differenzierte Klassifizierung der Eichen in den Testbeständen genutzt (s. Abb. 2).

Die Vitalität ist Hauptausschlusskriterium und wird mit Hilfe des Kronenstrukturschlüssels für Alteichen bestimmt (AG DBF/LII-Kronenzustand). Bäume bis zur Kronenstrukturstufe 4 (Segment-Stadium) werden als ausreichend vital angesehen. Erfüllt ein Individuum die geforderte Vitalität nicht, wird es in die Stufe 5 eingeordnet. Eichen, die die erforderliche Vitalität aufweisen, werden bezüglich ihrer Massenleistung und Schnürigkeit in vier Gruppen aufgeteilt. Exemplare mit einer geringen Massenleistung und unschnürigem Stamm werden in Stufe 4 gruppiert. Ist eines der beiden Merkmale unzureichend ausgeprägt, wird der Baum in Stufe 3 eingeordnet. Individuen mit einer mindestens überdurchschnittlichen Massenleistung und einschnürigem Wuchs werden in die Stufe 2 eingeordnet. Zweischnürige Eichen mit einer weit überdurchschnittlichen Massenleistung werden in Stufe 1 gruppiert. Die Bäume der Stufen 1 und 2 werden mit Hilfe der weiteren Formparameter differenzierter bewertet. Jeder dieser Formparameter ist in 4 Abstufungen unterteilt. Dadurch kann ein Baum je nach Grad der Merkmals-

ausprägung bis zu 3 Minuspunkte sammeln. Abschließend werden die Punkte getrennt nach Formparametern gewichtet und zu einem Gesamtpunktstand verrechnet. Ein hoher Punktstand bedeutet ein schlechtes Abschneiden bei den Formparametern. Als Grenzwerte wurden für die Stufen 1 und 2 fünf bzw. elf Minuspunkte festgelegt. Überschreitet ein Baum die Punkteschwelle, wird er in die nächst schlechtere Stufe zurückgestuft.

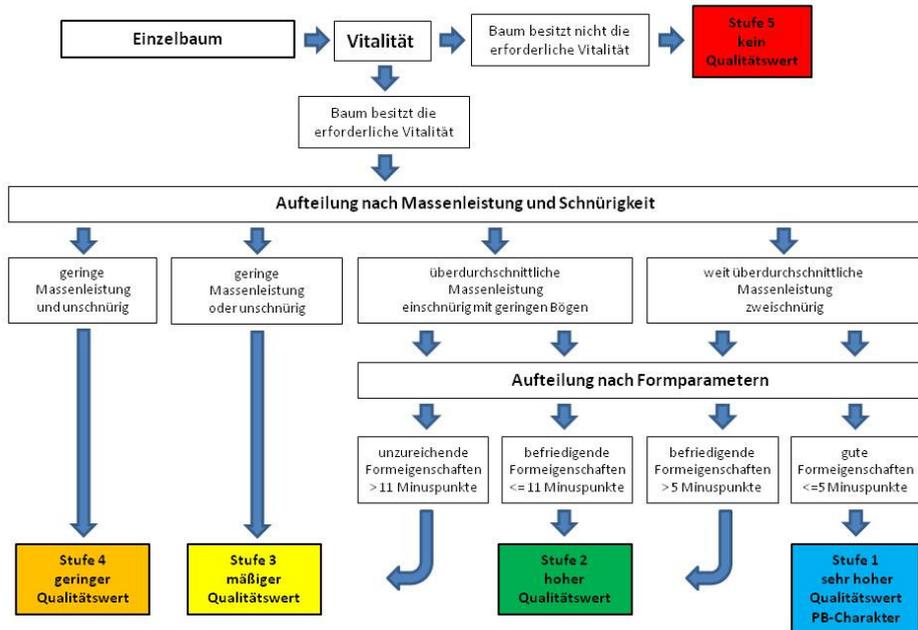


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Baumklassifizierung (HARDTKE et al. 2016)

Für eine einzelbaumweise Beerntung kommen nur Individuen der Stufen 1 und 2 in Frage. Alle übrigen Stufen sind für die Produktion von Forstvermehrungsgut aus genetischer Sicht ungeeignet oder sogar unerwünscht (s. Abb. 3).

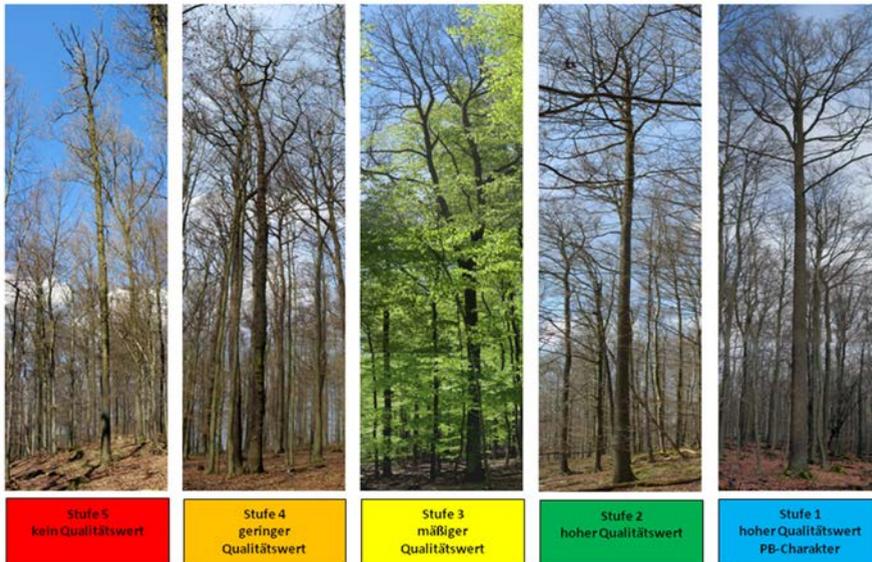


Abbildung 3: Beispiele der Baumklassifizierung (HARDTKE et al. 2016)

### 3 Erste Ergebnisse

Die in Kapitel 2 dargestellten Vorarbeiten und Grundzüge des Konzeptes sind die Basis für weitere Untersuchungen, Simulationen und Evaluierungen. Mit Hilfe der Lagekoordinaten und der Klassifizierung kann die vorliegende Struktur der Testbestände detailliert abgebildet werden (s. Abb. 4). Die digitalisierten Bestände können nun zum Testen der einzelnen Behandlungsvarianten genutzt werden.

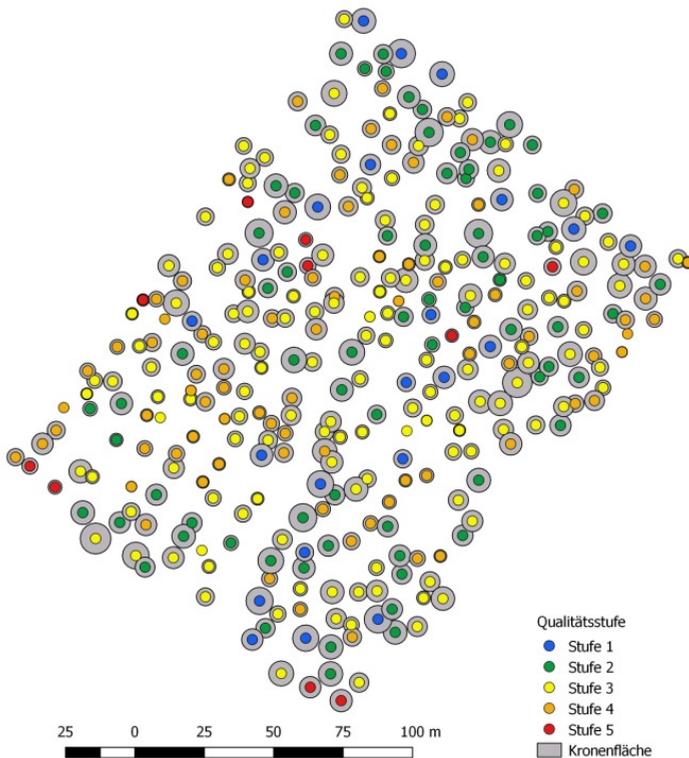


Abbildung 4: Lageplan aller Eichen, ihrer Kronenflächen und Klassifizierungsstufen im Testbestand Reinhardshagen (HARDTKE et al. 2016)

### 3.1 Variabilität der Saatguterntebestände

Im vorgestellten Konzept soll die Variabilität innerhalb der Saatguterntebestände bezüglich Leistung und Qualität für eine Steigerung der genetischen Qualität des geernteten Saatgutes genutzt werden. Die Quantifizierung der einzelnen Qualitätsstufen in Tabelle 2 belegt die große Variabilität. Nur wenige Bäume erfüllen die strengen Anforderungen der Stufe 1. Werden die Individuen der Stufen 1 und 2 als potenzielle Saatgutbäume betrachtet, sind lediglich bis zu 29 % der Bäume für die Saatgutproduktion geeignet. Auffallend ist der hohe Anteil an Bäumen der Stufe 4, die für die Produktion von hochwertigem Saatgut ungeeignet sind.

Tabelle 2: *Anteile der Qualitätsstufen auf den verschiedenen Versuchsflächen (HARDTKE et al. 2016)*

Qualitätswert	Cottbus	Reinhardshagen	Dassel	Grünenplan	Münden
	N = 280 [%]	N = 322 [%]	N = 229 [%]	N = 177 [%]	N = 140 [%]
Stufe 1	3	7	3	2	2
Stufe 2	18	22	18	10	18
Stufe 3	55	43	49	48	39
Stufe 4	19	25	27	30	39
Stufe 5	6	3	3	10	2

*N = Anzahl Bäume*

### 3.2 Qualitätsmodell

Für die Evaluation der einzelnen Varianten muss geklärt werden, welchen Mehrertrag an Leistung und Form die einzelnen Beerntungs- und Behandlungsszenarien liefern. Dazu wurde ein einfaches Qualitätsmodell unter der Annahme entwickelt, dass kein Pollen von außen in den Testbestand eingetragen wird und sich alle Individuen zu gleichen Anteilen am Reproduktionsprozess beteiligen. Bäume der Stufe 5 bleiben aufgrund der mangelhaften Vitalität unberücksichtigt.

Für die Eichen wird ein Mehrertrag von bis zu 10 % durch die Verwendung von Samenplantagenmaterial berichtet (KLEINSCHMITT et al. 1975). Bei einer Auswahl von Plusbaumabsaaten der Stiel-Eiche konnte ein Mehrertrag von bis zu 12,4 % gegenüber Bestandesabsaaten ermittelt werden (VIDAKOVIC et al. 2000). Daher wird im hier verwendeten Qualitätsmodell ebenfalls von einem maximalen Zugewinn von 10 % bei Eltern der Stufe 1 ausgegangen. In Schritten von 5 % fallen die weiteren Stufen jeweils ab bis zu einem Wert von -5 % für Eltern der Stufe 4. Der Mehrertrag einer Beerntungs- und Behandlungsvariante setzt sich rechnerisch aus dem durchschnittlichen Wert der beteiligten (beernteten) Mütter und dem durchschnittlichen Wert des Väterkollektivs (alle verbleibenden Bäume des Bestandes) zusammen.

In Tabelle 3 sind die einzelnen Varianten und die daran beteiligten Mütter- und Väterkollektive aufgelistet. Die Varianten wurden um die Untervarianten erweitert, in denen entweder nur die Bäume der Stufe 1 oder die Bäume der Stufen 1 und 2 als potenzielle Erntebäume dienen. Variante 0 stellt die Beerntung des ganzen Bestandes dar. Bei Variante 1 werden die Beiträge der Stufen 3 und 4 in Klammern gesetzt oder in Tabelle 4 als „X“ ausgewiesen. Dies soll den unbekanntem Anteil des Fremdsamens verdeutlichen. Variante 4.3 stellt in etwa den Zustand auf Samenplantagen dar. Tabelle 4 gibt eine Übersicht über den qualitativen Zugewinn der einzelnen Behandlungsvarianten.

*Tabelle 3: Übersicht über die einzelnen Varianten und die daran beteiligten Mütter- und Väterkollektive sowie deren Qualitätsstufen*

Variante	mütterlicher Beitrag [Qualitätsstufen]	väterlicher Beitrag [Qualitätsstufen]
0	1+2+3+4	1+2+3+4
1.1	1+2+(3+4)	1+2+3+4
1.2	1+(3+4)	1+2+3+4
2.1	1+2	1+2+3+4
2.2	1	1+2+3+4
3.1	1+2	1+2+3
3.2	1	1+2+3
4.1	1+2	1+2
4.2	1	1+2
4.3	1	1

*Tabelle 4: Zugewinn bei einzelnen Beerntungs- und Behandlungsvarianten auf den verschiedenen Versuchsflächen*

Variante	Cottbus [%]	Reinhardshagen [%]	Dassel [%]	Grünenplan [%]	Münden [%]
0	0,30	0,54	-0,20	-0,88	-0,84
1.1	3,52-X	3,76-X	3,06-X	2,67-X	2,60-X
1.2	5,13-X	5,30-X	4,89-X	4,56-X	4,52-X
2.1	3,52	3,76	3,06	2,67	2,60
2.2	5,13	5,30	4,89	4,56	4,52
3.1	4,28	4,71	4,07	3,69	4,32
3.2	5,83	6,26	5,78	5,58	5,87
4.1	5,76	6,18	5,64	5,96	5,54
4.2	7,93	8,20	7,88	8,00	7,82
4.3	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

*X = nicht bekannter Beitrag durch Fremdsamen*

Die flächige Beerntung von Saatguterntebeständen zeigt in diesem Modell Werte nahe Null für den „Mehrgewinn“ (Durchschnitt: -0,22 %). Dies belegt, dass die angenommene Abstufung des Zugewinns für die Qualitätsstufen 1 und 4 plausibel ist und das Modell zwischen Variante 0 (klassische Bestandesbeerntung) und Variante 4 (vergleichbar Plusbaumabsaat bzw. Samenplantage) den nach der Literatur zu erwartenden Mehrgewinn von 10 % ausweist.

Die Modellberechnungen weisen für eine Beerntung auf Einzelbaumbasis in allen Beständen einen deutlichen Mehrgewinn gegenüber der klassischen Bestandesbeerntung aus. So liegt Variante 2.2 beim Mehrgewinn in etwa in der Mitte zwischen Bestandsernte und Samenplantagenabsaat. Durch Eingriffe in das Väterkollektiv kann der Mehrgewinn zusätzlich merklich gesteigert werden.

Erwähnenswert ist die Tatsache, dass die Beschränkung auf die besseren Mütter (nur Qualitätsstufe 1 gegenüber 1 und 2) bereits eine merkliche Qualitätssteigerung bei geringeren Eingriffsintensitäten bewirkt. So erreicht Variante 2.2 einen deutlich höheren Mehrgewinn gegenüber der Variante 3.1 mit dem Vorteil, dass man dazu nicht ca. 30 % der Bäume (Stufe 4) entnehmen muss. Ebenso ist die Variante 3.2 besser als die Variante 4.1, ohne dass die Pollenspender der Stufe 3 (ca. 45 %) aus dem Bestand entfernt werden müssen (vgl. Tab. 2). Zu klären wäre allerdings, ob die lineare Abstufung des Zugewinns mit den Qualitätsstufen gerechtfertigt ist oder ob die Unterschiede zwischen 1 und 2 eventuell geringer sind.

### 3.3 Systematische Eichelernte

Für die Varianten 2 bis 3 ist der Fremdsamenanteil unter den Samenbäumen von besonderer Bedeutung. Dieser entscheidet, ob eine Freistellung der Bäume nötig ist und in welchem Umfang sie erfolgen muss. Zur Klärung des Sachverhaltes wurde im Herbst 2015 unter einigen Eichen systematisch Saatgut gesammelt. Zu den nächsten drei Bäumen eines Erntebaumes wurden Transekte gelegt und die Strecke bis zum Kronentrauf in drei gleich lange Abschnitte unterteilt. In jedem Abschnitt wurden die nächsten zwölf Eicheln entlang des Transekts eingesammelt. Über DNA-Analysen wurde die Abstammung der Eicheln ermittelt.

Erwartungsgemäß ist der Fremdsamenanteil im inneren Kronenbereich am geringsten. In den äußeren Bereichen nimmt er zum Teil stark zu. Eine Minimierung des Fremdsamenanteils hätte ohne waldbauliche Eingriffe eine massive Reduktion der zu beerntenden Fläche zur Folge. Dies ist in der Praxis nicht durchführbar, weil die Erntemengen unter den Einzelbäumen und insgesamt in den Beständen dadurch sehr gering ausfallen würden. Soll die gesamte Kronenprojektionsfläche beerntet werden, ist eine Freistellung der Samenbäume zu empfehlen (s. Tab. 5). Der hohe Fremdsamenanteil bei Baum 2 dürfte mit einer niedrigeren Fruktifikationsrate des Erntebaumes zusammen hängen.

Tabelle 5: *Samenanteile und Erntefläche der Erntebäume in Abhängigkeit der einzelnen Teilflächen (N = 36 für jede Teilfläche)*

Baum	Teilfläche	Abstammung vom Erntebaum [%]	Erntefläche [m <sup>2</sup> ]
1	innerer Ring	91	9,7
1	mittlerer Ring	86	23,2
1	äußerer Ring	58	37,0
2	innerer Ring	31	9,1
2	mittlerer Ring	41	22,1
2	äußerer Ring	6	35,3
3	innerer Ring	94	6,1
3	mittlerer Ring	94	14,5
3	äußerer Ring	84	23,0

### 3.4 Ausgangssituation Saatguterntebestände

Für die Realisierbarkeit des Konzeptes ist die zur Verfügung stehende Anzahl an Saatguterntebeständen von entscheidender Bedeutung. Nur wenn genügend Saatguterntebestände vorhanden sind, kann über eine selektive Beerntung ausreichend Saatgut zur Verfügung gestellt werden. Aus diesem Grund wurden die zugelassenen Saatguterntebestände und die daraus gewonnenen Saatgutmengen der letzten 10 Jahre über die zuständigen Landesstellen ermittelt. Hierüber ist eine Aussage über das mögliche Potenzial einer selektiven Beerntung möglich. Beispielhaft sind die Anzahl und die Fläche aller beernteten Saatguternteeinheiten für die Trauben-Eiche in Hessen im Zeitraum 2004 bis 2014 dargestellt (s. Abb. 5). Als Referenz sind Anzahl und Gesamtfläche aller vorhandenen Zulassungseinheiten (Stand 2014) eingezeichnet. Es zeigt sich deutlich, dass in den einzelnen Erntejahren nur wenige der zur Verfügung stehenden Einheiten und Flächen beerntet worden sind. Insgesamt wurden nach Anzahl und Fläche nur etwa 10 % der verfügbaren Saatguterntebestände auch beerntet. Selbst wenn man bei Eiche nicht jährlich von einer Mast ausgehen kann, ist hier noch großes ungenutztes Nutzungspotenzial vorhanden. In den meisten anderen Bundesländern sieht die Situation ähnlich aus.

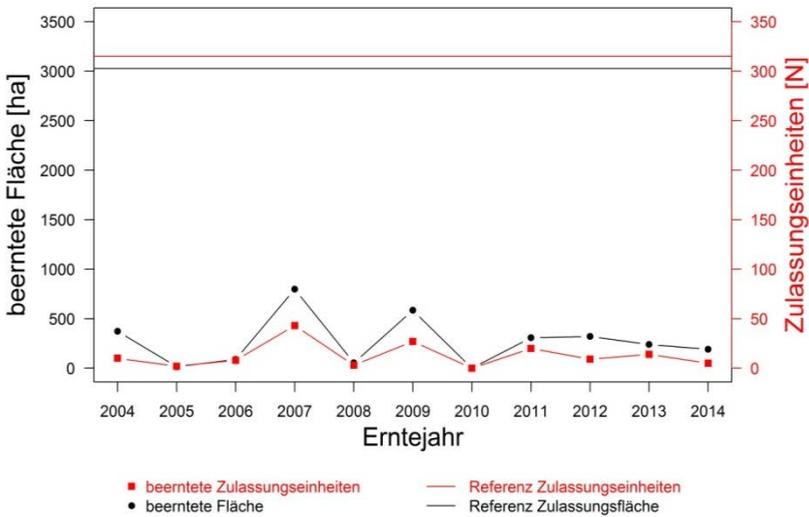


Abbildung 5: Nutzungsstatus von Saatguterntebeständen der Trauben-Eiche in Hessen. Die Referenz bezieht sich auf die gemeldeten Einheiten und Flächen aus dem Jahr 2014.

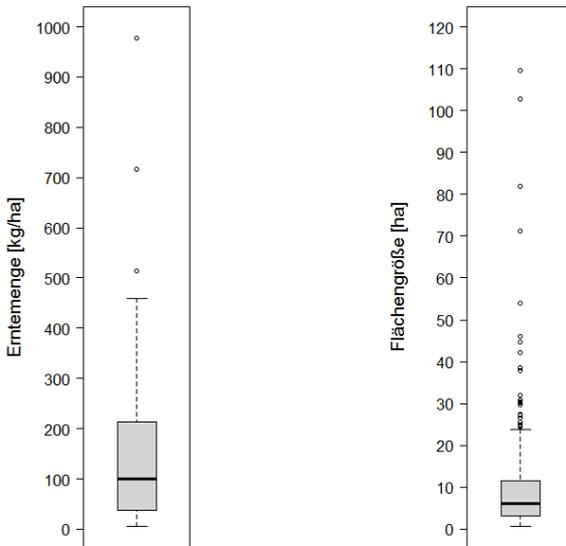


Abbildung 6: Durchschnittliche Saatgutmenge (links) einer Saatgutbestandesbeerntung bei der Trauben-Eiche und Flächengröße (rechts) der Trauben-Eichen-Saatguterntebestände in Hessen (Zeitraum 2004-2014)

Betrachtet man nur die durchgeführten Ernten und deren Ernteertrag in kg/ha (s. Abb. 6), so zeigt sich, dass im Mittel pro Hektar lediglich 100 kg Saatgut in den einzelnen Zulassungseinheiten geerntet werden. Selten werden Mengen von über 500 kg geerntet. Bei einer möglichen Erntemenge von bis zu 2.000 kg je Hektar (REICHWALDT 2011) ist auch hier die Kapazitätsgrenze bei weitem nicht erreicht. Dies kann auch darin begründet sein, dass die Ernteeinheiten eine zum Teil enorme Flächengröße aufweisen. Große Ernteeinheiten werden in der Regel nicht vollständig beerntet, sondern nur in Teilbereichen. Die angestrebte Erntemenge orientiert sich dabei am voraussichtlichen Bedarf. Selbst innerhalb der beernteten Saatguterntebestände ist Potenzial zur Erhöhung der Saatgutmenge vorhanden.

## 4 Ausblick

Zur vollständigen Bearbeitung des Konzeptes bedarf es noch weiterer Arbeiten. Diese sind notwendig, um der Forstpraxis ein wissenschaftlich fundiertes und in der Praxis erprobtes Beerntungs- und Behandlungskonzept vorlegen zu können.

### 4.1 Fremdsamenanteil bei Einzelbaumberntung

Eine systematische Eichelernte aus dem Jahr 2015 liefert erste Hinweise über die Notwendigkeit einer Freistellung der Samenbäume. Die Auswertung erfolgte jedoch nur an wenigen Individuen und bei einer guten Halbmast. Zur Evaluation der Ergebnisse bedarf es weiterer systematischer Ernten bei einer Vollmast. Um gesicherte Aussagen über den Freistellungsgrad tätigen zu können, sind ebenfalls weitere Saatgutuntersuchungen (DNA-Analysen) notwendig.

### 4.2 Auswirkungen auf die Genetik des Altbestandes und des Saatgutes

Waldbauliche Maßnahmen wie die Freistellung der Samenbäume und das Entfernen der schlechten Vererber stellen massive Eingriffe in die Genetik des Altbestandes dar. Auch die selektive Beerntung hat einen großen Einfluss auf die genetische Diversität des gewonnenen Saatgutes. Jedoch darf das Saatgut weder durch die selektive Beerntung noch durch die Umbaumaßnahmen größere Verluste an Diversität erfahren. Zur Klärung der Frage sind daher genetische Inventuren des Altbestandes und des Saatgutes notwendig. Mit Hilfe von DNA-Analysen kann die genetische Diversität der Testbestände bestimmt und die Auswirkungen der einzelnen Varianten ermittelt werden.

### 4.3 Bestäubungsverhältnisse

Zur Evaluierung der Varianten 3 und 4 sind die Bestäubungsverhältnisse innerhalb des Bestandes und von außen von besonderem Interesse. So entscheidet der

Pollenbeitrag von Bäumen der Qualitätsstufe 4 über die Effektivität der dritten Behandlungsvariante und der Polleneintrag von außen über den Nutzen der Varianten 3 und 4. Elternschaftsanalysen am Saatgut aus den Testbeständen werden Informationen hierzu liefern.

#### 4.4 Qualität des Saatgutes

Das Konzept beabsichtigt eine merkliche Steigerung der genetischen Qualität des Saatgutes. Zur Überprüfung des grundsätzlichen Konzeptes einer selektiven Beerntung von Einzelbäumen wurde im Oktober 2015 von 16 Einzelbäumen Saatgut gesammelt. Acht Saatgutpartien stammen von phänotypisch guten bis sehr guten Bäumen. Die übrigen acht Parteien stammen von Bäumen der Stufe 4. Das Saatgut wurde im Frühjahr 2016 ausgesät und wird für die Anlage einer Vergleichsprüfung verwendet. Der Vergleich von Einzelbaumabsaaten und weiteren Bestandesabsaaten soll qualitative Unterschiede im Saatgut und späteren Wuchsverhalten aufzeigen. Im Beobachtungsfokus liegen zuerst die Höhenwuchsleistung und zu einem späteren Zeitpunkt die Stamm- und Kronenausprägungen.

#### 4.5 Weitere Überlegungen

Neben den einzelnen Hauptpunkten, die es im Zuge des Konzeptes zu klären gilt, gibt es noch einige Unterpunkte die ebenfalls behandelt werden müssen.

##### 4.5.1 *Begrenzungen durch die Forstvermehrungsgut-Zulassungsverordnung*

Die FoVZV schreibt für die Eichen die Mindestzahl von 20 zu beerntenden Bäumen vor. Es bedarf daher einer Prüfung, in wie vielen Saatguterntebeständen das Konzept umsetzbar ist. Zusätzlich wäre zu prüfen, welche Vorschriftenänderungen oder Ausnahmeregelungen für eine Umsetzung des Konzeptes erforderlich wären. Interessant wären Regelungen, die eine Beerntung von weniger als 20 Bäumen unter der Auflage zulassen, dass solche Ernten mit denen anderer Bestände gemischt werden, um die Mindestbaumzahl zu erreichen.

##### 4.5.2 *Waldbanliche Konsequenzen*

Die einzelnen Behandlungsvarianten stellen zum Teil massive Eingriffe in den Altbestand dar. Diese Eingriffe haben Konsequenzen, die es zu berücksichtigen gilt. Unter keinen Umständen darf die Stabilität der Bestände durch biotische und abiotische Ursachen ernsthaft gefährdet werden. Bei der vorzeitigen Entnahme von nicht hiebsreifen Bäumen entstehen Zuwachseinbußen auf Bestandesebene. Gleichzeitig findet eine Entwertung des Verbleibenden Bestandes statt. Ebenfalls dürfen die Varianten die Beerntung durch starken Bodenbewuchs als Folge der

Durchforstung nicht negativ beeinträchtigen. Oder die Beerntbarkeit muss durch zusätzliche Maßnahmen zur Freihaltung der Erntebereiche gewährleistet werden.

#### 4.5.3 *Saatgutkosten, Kontroll- und Ernteaufwand, Folgekosten*

Das Saatgut aus einer selektiven Beerntung wird teurer sein als herkömmliches Saatgut. Dies ist bedingt durch einen erhöhten Kontroll- und Ernteaufwand. Die bessere genetische Qualität und die dadurch erreichbare verbesserte Wachstumsleistung, Stabilität und Anpassungsfähigkeit sowie der erhöhte Wertholzanteil in den Folgebeständen sollten im Interesse einer zukunftsfähigen Forstwirtschaft aber diesen Aufwand rechtfertigen.

## Literatur

- AG DBF/LII-Kronenzustand (2001): Kronenstrukturschlüssel für Alteichen. Arbeitsgemeinschaft Dauerbeobachtungsflächen / Level II – Kronenzustand des Bundes und der Länder, 130 S.
- ASCHE, N.; DAME, G.; GERTZ, M.; HEIN, F.; KREIENMEIER, U.; LEDER, B.; NAENDRUP, G.; SONDERMANN, P.; SPELSBERG, G.; STEMMER, M.; WAGNER, H. C.; FREIHERR V. WREDE E. (2007): Empfehlungen für die Wiederbewaldung der Orkanflächen in Nordrhein-Westfalen. Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, 71 S.
- BLE (2013): Zusammenfassung über zugelassenes Ausgangsmaterial für forstliches Vermehrungsgut in der Bundesrepublik Deutschland (Stand:01.07.2013) – korrigierte Fassung. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE). [http://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/02\\_Kontrolle/07\\_SaatUndPflanzgut/Ausgangsmaterial\\_Zusfassg.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/02_Kontrolle/07_SaatUndPflanzgut/Ausgangsmaterial_Zusfassg.pdf?__blob=publicationFile) (abgerufen am 04.11.2016)
- BLE (2014): Erhebung zur Versorgungssituation von forstlichem Vermehrungsgut im Bundesgebiet. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. [http://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/02\\_Kontrolle/07\\_SaatUndPflanzgut/Ernte2013\\_2014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/02_Kontrolle/07_SaatUndPflanzgut/Ernte2013_2014.pdf?__blob=publicationFile) (abgerufen am 05.07.2016)
- BLE (2015): Versorgungsbilanz für forstliches Saatgut (Ernteaufkommen, Einfuhr, Ausfuhr). Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. [http://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/02\\_Kontrolle/07\\_SaatUndPflanzgut/Bilanz\\_2014\\_2015.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/02_Kontrolle/07_SaatUndPflanzgut/Bilanz_2014_2015.pdf?__blob=publicationFile) (abgerufen am 05.07.2016)
- BMU (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 180 S.
- BRANG, P.; BUGMANN, H.; BÜRGI, A.; MÜHLENTHALER, U.; RIGLING, A.; SCHWITTER, R. (2008): Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. Schweiz. Zeitung für Forstwesen, 159 Jg., 10, 362-373
- CIESLAR, A. (1923): Untersuchungen über die wirtschaftliche Bedeutung der Herkunft des Saatgutes der Stieleiche. Centralblatt für das gesamte Forstwesen, 49, (4/6), 97-149
- FoVG (2002): Forstvermehrungsgutgesetz vom 22. Mai 2002 (BGBl. I S. 1658), das zuletzt durch Artikel 414 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/fovg/BJNR16580002.html> (abgerufen am 05.07.2016)
- FoVZV (2002): Forstvermehrungsgut-Zulassungsverordnung vom 20. Dezember 2002 (BGBl. I S. 4721; 2003 I S. 50). <http://www.gesetze-im-internet.de/fovzv/BJNR47210002.html> (abgerufen am 05.07.2016)
- GEBUREK, T. (2004): Die Weitergabe genetischer Information - eine wichtige Komponente bei der Waldverjüngung. BFW-Praxisinformation, 4, 18-20

- GROTEHUSMANN, H. (2014): Prüfung von Fichten-Samenplantagen. AFZ/Der Wald, 69 Jg., 5, 6-9
- GROTEHUSMANN, H.; SCHÖNFELDER E. (2011): Comparison of French and sessile oak (*Quercus petraea* (Matt. Lieb.) provenances. *Silva Genetica*, 60 Jg., 5, 186-196
- HANEWINKEL, M.; CULLMANN, D. A.; SCHELHAAS, M. J.; NABUURS, G. J.; ZIMMERMANN, N. E. (2013): Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land. *Nature Climate Change*, 3, 203-207
- HARDTKE, A.; MEIßNER M.; STEINER, W.; JANßEN; A. AMMER, C. (2016): Entwicklung eines Behandlungs- und Bewirtschaftungskonzeptes für Saatgutbestände der Eichen. AFZ/Der Wald (eingereicht)
- JANßEN, A.; RAU, H. M. (2008): Leistungssteigerung durch klassische forstliche Züchtung. *Archiv f. Forstwesen u. Landschökol.*, 42 Jg., 3, 127-133
- KLEINSCHMIT, J.; OTTO, H.; SAUER, A. (1975): Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung von Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* und *Quercus petraea*). *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 146 Jg, 9, 157-166
- KÖLLING, C. (2007): Klimahüllen für 27 Waldbaumarten. AFZ/Der Wald, 62 Jg., 23, 1242-1245
- KÖLLING, C.; ZIMMERMANN L. (2007): Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft*. 67 Jg., 6, 259-268
- LIESEBACH, M.; DEGEN, B.; GROTEHUSMANN, H.; JANßEN, A.; KONNERT, M.; RAU, H.-M.; SCHIRMER, R.; SCHNECK, D.; SCHNECK, V.; STEINER, W.; WOLF, H. (2013): Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 7, 78 S.
- LINGREN, D.; PRESCHER, F.; EL-KASSABY, Y.; ALMQVIST, C.; WENNSTRÖM, U. (2015): Considerations about life time and graft density of future Scots pine seed orchards. <http://slideplayer.com/slide/4308758/> (abgerufen am 28.01.2016)
- MANTAU, U. (2006): Kampf um den Rohstoff Holz trotz riesiger Potentiale? AFZ/Der Wald, 61 Jg., 3, 111-113
- MANTAU, U. (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland, Entwicklung und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung 1987 bis 2015. Hamburg,, 65 S.
- MATTHÄI (1922): Die waldbauliche Bedeutung der Samenprovenienz bei der Eiche. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 44 Jg. 12., 405-419
- MEIßNER, M.; JANßEN, A.; KONNERT, M.; LIESEBACH, M.; WOLF, H. (2015): Vermehrungsgut für den Klima- und standortgerechten Wald. AFZ/Der Wald, 70 Jg., 11, 24-26
- MKULNV (2015): Wald und Waldmanagement im Klimawandel. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2. Auflage, 64 S.
- NANSON, A. (2002): Natural regeneration seen from the genetic stand point. In: MEIER-DINKEL, A.; STEINER, W. (Hrsg.): *Forest Tree Breeding in an Ecologically Orientated Forest Management System*, Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 134, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 75-83
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESREGIERUNG (1991): Niedersächsisches Programm zur langfristigen ökologischen Waldentwicklung in den Landesforsten, 24 S.
- PROQUERCUS (2010): Die Samenernte bei der Eiche. Merkblatt 02. ProQuercus (Hrsg.) 2. überarbeitete Auflage, 7 S.
- RAU, H.-M. (1998): Vermehrungsgut von Samenplantagen im Vergleich zu handelsüblichen Material. AFZ/Der Wald, 58 Jg., 8, 236-239
- REICHWALDT, G. (2011): Saatguternte im Bestand und in der Samenplantage sowie Saatgutkosten. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE: Gülzower Fachgespräche Band 36, Tagungsband zum Workshop Forstpflanzenzüchtung am 7. Und 8. November 2011 in Berlin, 282 S.
- REICHWALDT, G. (2012): Verjüngungspraxis und nachhaltige Holzproduktion deutscher Wälder. AFZ/Der Wald, 67 Jg., 8, 11-18

- STEINER, W. (2012): Hochwertiges Vermehrungsgut durch züchterische Verbesserung: Ein Vergleich verschiedener Möglichkeiten am Beispiel der Roteiche (*Quercus rubra* L.). Forstarchiv, 83 Jg., 2, 85-92
- VIDAKOVIC, M.; KAJBA, D.; BOGDAN, S.; PODNAR, V.; BECAREVIC, J. (2000): Estimation of Genetic Gain in a Progeny Trial of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.). Glas. sum. Pokuse, 37, 375-381

Korrespondierender Autor:

André Hardtke  
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt  
Abteilung Waldgenressourcen  
Prof.-Oelkers-Str. 6  
D-34346 Hann. Münden  
andre.hardtke@nw-fva.de  
www.nw-fva.de  
www.fitforclim.de

Dr. Meik Meißner  
Dr. Wilfried Steiner  
Dr. Alwin Janßen  
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt



## **Grundlagen zur Züchtung beim Berg-Ahorn im Rahmen des Verbundprojektes „FitForClim“ gelegt<sup>1</sup>**

Breeding program for sycamore maple initiated in the frame of the joint research project “FitForClim”

*Kinga Jánosi, Charalambos Neophytou, Alexander Braun, Monika Konnert*

### **Zusammenfassung**

Mit dem Ziel, hochwertiges Vermehrungsgut für den klima- und standortgerechten Wald der Zukunft bereitzustellen, wurden im Rahmen des Verbundprojektes „FitForClim“ die Grundlagen für eine langjährige Züchtungsstrategie beim Berg-Ahorn gelegt. In der ersten Phase des Projektes wurden deutschlandweit mit Rücksicht auf die Höhenzonierung des natürlichen Verbreitungsgebietes drei Auswahlzonen (planar, kollin und montan) ausgewiesen. Darauf basierend wurden je Zone 300 Plusbäume ausgewählt, die die Zuchtpopulationen bilden werden. Die Auswahl von Plusbäumen mit herausragenden Wuchsmerkmalen fand schwerpunktmäßig in zugelassenen Saatguterntebeständen sowie nach vorausgehender Versuchsauswertung aus herausragenden Prüfgliedern von Versuchsserien statt. Die Vermehrung der Plusbäume erfolgte durch Pfropfung in verschiedenen Einrichtungen der Projektpartner. Im Jahr 2016 waren bereits 750 Klone durch

---

<sup>1</sup> Artikel auf Basis des gleichnamigen Posterbeitrags

Pfropfungen vegetativ vermehrt. Weitere 138 sind in Samenplantagen und Klonarchiven gesichert.

**Stichworte:** Züchtung, Berg-Ahorn, Verwendungszone, Herkunftsversuch, Plusbaum, Pfropfung

## Abstract

With the goal of providing high quality, site and climate appropriate reproductive material for the forest of the future, a long-term breeding strategy for sycamore was initiated within the framework of the “FitForClim” joint project. In the first phase of the project, three selection zones (planar, colline, montane) were designated across Germany, to take into account the vertical zoning in the natural range of the species. Based on this, 300 plus-trees were selected per zone, which will make up the breeding population. The selection of plus-trees with outstanding growth characteristics was carried out chiefly in approved seed harvesting stands, as well as in trial series based on previous evaluation. Propagation of the plus-trees by grafting took place at various facilities belonging to the project partners. Already in 2016, 750 clones were propagated by grafting, while a further 138 are safeguarded in seed orchards and clone archives.

**Keywords:** breeding, sycamore maple, deployment zone, provenance trial, plus tree, grafting

## 1 Einleitung und Zielsetzungen

Der Berg-Ahorn kommt in Deutschland als Mischbaumart vor, die ihren Schwerpunkt der Verbreitung in kollinen bis montanen Lagen hat (SCHMIDT u. ROLOFF 2009). Obwohl er vor allem auf gut wasser- und nährstoffversorgten Böden wächst, belegen Studien, dass seine physiologische Amplitude breiter ist als bisher angenommen (CLAESSENS et al. 1999, JENSEN et al. 2008). Waldbaulich ist er einfach zu behandeln: seine Verjüngung ist ergiebig, er ist schattentolerant während der Jugend und zeichnet sich durch eine frühe Kulmination des Höhenwachstums sowie kurze Umtriebszeiten aus (SCHMIDT u. ROLOFF 2009). In Beimischung steigert Berg-Ahorn die ökonomische Leistung von buchenreichen Beständen (MAYER 1992). Angesichts des Klimawandels und der Krankheiten mit denen andere einheimische Edellaubhölzer zu kämpfen haben, werden deshalb große Hoffnungen in den Berg-Ahorn gesetzt. Alle diese Eigenschaften schaffen beste Voraussetzungen für eine züchterische Bearbeitung, weshalb die Baumart Berg-Ahorn nun stärker in den Fokus der Züchtung in Deutschland tritt (LIESEBACH et al. 2013). Im Rahmen des Verbundprojektes „FitForClim“ wurden nun die Grundlagen eines langfristigen Züchtungsprogramms gelegt.

## 2 Arbeitsschritte

### 2.1 Ausweisung von Verwendungszonen

Zuerst wurden Verwendungszonen für drei verschiedene Zuchtpopulationen definiert. Da die Art eine eindeutige Höhenanpassung aufweist (ERMHAUSEN 1991), hat man sich für eine Einteilung in drei Höhenzonen entschieden (s. Abb. 1). In jeder Höhenzone wurden nach Plan jeweils etwa 300 Plusbäume ausgewählt.

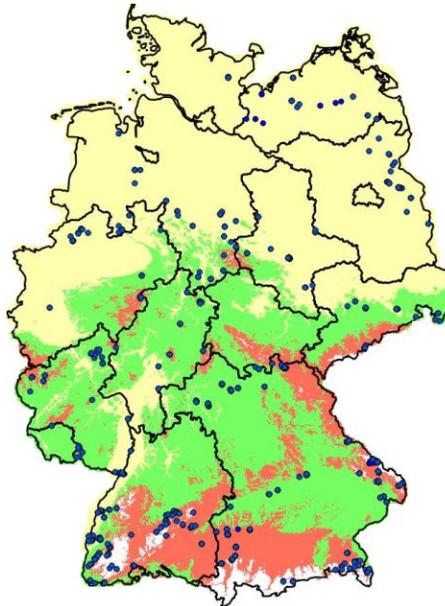


Abbildung 1: Ausgewiesene Verwendungszonen für den Berg-Ahorn in Deutschland (gelb = planar 0-200 m, grün = kollin 200-500 m, rot = montan 500-800 m). Punkte: Verteilung ausgewählter Plusbäume (eingetragen in die Projektdatenbank; Stand April 2016).

### 2.2 Versuchsauswertung

Ein wichtiger Bestandteil der wissenschaftlichen Arbeiten war die Analyse und Auswertung von bereits vorhandenen Versuchen als Grundlage für die Auswahl von Plusbäumen. Durch diese Auswertungen wurden einerseits die Unterschiede beim Wuchsverhalten zwischen verschiedenen Höhenzonen bestätigt und so die Höheneinteilung der Verwendungszonen validiert (siehe Beitrag von NEOPHYTOU et al. in diesem Band). Andererseits wurden, um den Züchtungsfortschritt zu nutzen, die jeweils besten Prüfglieder identifiziert und als Quelle zur Auslese von Plusbäumen verwendet. Die Projektdatenbank wurde als Plattform zum Austausch von Versuchsdaten zwischen den Projektpartnern benutzt. Insgesamt wurden 16 Samenplantagen, 4 Klonarchive, 2 Herkunftsversuche mit 22 Flächen, 8 Nach-

kommenschaftsprüfungen mit 22 Flächen und 2 Klonprüfungen mit insgesamt 3 Flächen dokumentiert (insgesamt 67 Flächen).

### 2.3 Plusbaumauswahl

Die Auswahl von insgesamt 896 Plusbäumen erfolgte unter zwei unterschiedlichen Voraussetzungen. Einerseits wurden 800 Plusbäume direkt aus Waldbeständen (i. d. R. Saatguterntebeständen) oder Samenplantagenklone anhand der Plusbaumkarteien ausgelesen. Daten aus Nachkommenschaftsprüfungen wurden ggf. genutzt, um zu entscheiden, welche Klone bzw. welche Samenplantagen in Betracht gezogen werden (z. B. NEOPHYTOU et al. 2016). Andererseits wurden innerhalb von herausragenden Prüfgliedern direkt auf Versuchsflächen die besten Individuen für das Züchtungsprogramm ausgewählt. 96 Plusbäume wurden auf diese Weise direkt in Versuchen ausgewählt.

In beiden Fällen unterlag der Auswahl ein abgestimmter Kriterienkatalog mit der Gewichtung auf herausragende Qualität, Wuchsleistung und Vitalität. Aufgenommene Felddaten aller ausgewählten Plusbäume sowie die dazugehörigen Bestandesdaten befinden sich in der Projektdatenbank.

### 2.4 Plusbaumvermehrung

In den Wintern 2014/15 und 2015/16 wurden während der Vegetationsruhe Reiser von zuvor ausgewählten Plusbäumen mittels Seilklettertechnik gewonnen. Die frischen Reiser mit ein- bis zweijährigen Endtrieben wurden darauffolgend auf passende ein- bis zweijährige Veredlungsunterlagen derselben Art aufgepfropft.



Abbildung 2: Mittels Kopulation veredelter Berg-Aborn (links) und Berg-Aborn Pfropflinge in Containern in Trippstadt (rechts)

Dabei wurden die Pfropfverfahren des seitlichen und endständigen Anplattens sowie die Geißfuß-, Kopulation- und Spaltpfropfmethode angewandt. Von den geplanten 900 Klonen wurden 750 abgepfropft. Die restlichen Klone stehen

bereits gesichert in Samenplantagen. Tabelle 1 gibt einen Überblick der Anzahl abgepfropfter Plusbäume und Pfropflinge nach Institutionen und Bundesländern.

*Tabelle 1: Anzahl abgepfropfter Plusbäume (Anzahl Klone), Anzahl Pfropflinge und Standort (Bundesland) der Plusbäume (Stand Juni 2016)*

Institution	Anzahl Klone	Anzahl Pfropfungen	Bundesland
Freiburg	333	4.995	BW, BY, NW, MV
Tripstadt	115	1.825	BY, RP
Hann. Münden / Arnsberg	195	3.900	HE, NI, NW, ST
Graupa	56	846	SN
Gotha	21	294	TH
Großhansdorf	30	600	BB
Summe	750	12.460	

BB = Berlin-Brandenburg, BW = Baden-Württemberg, BY = Bayern, HE = Hessen, NI = Niedersachsen, MV = Mecklenburg-Vorpommern, NW = Nordrhein-Westfalen, RP = Rheinland-Pfalz, SN = Sachsen, ST = Sachsen-Anhalt, TH = Thüringen

### 3 Erkenntnisse und Ausblick

Mit dem nun zur Verfügung stehenden Pool von phänotypisch herausragenden Plusbäumen aus ganz Deutschland ist eine Vielzahl weiterer Züchtungsschritte bei dieser Baumart möglich geworden. Zu den vorrangigen Zielen gehört der Aufbau von Samenplantagen, die langfristig als Quelle zur Gewinnung von Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“ genutzt werden sollen. Mittels Nachkommenschaftsprüfungen sollen die ausgewählten Plusbäume auf ihre Erbanlagen hin geprüft werden. Dadurch soll die gesteigerte Qualität des produzierten Forstvermehrungsgutes geprüft werden: Weitere Ausleseschritte, wie z. B. die Beibehaltung der qualitativ besten Klone in der Zuchtpopulation, sollen zu einer weiteren Verbesserung des Vermehrungsgutes führen. Anhand der durchgeführten Arbeitspakete wurde eine solide Basis für die Fortsetzung des vor kurzem begonnenen Züchtungsprogramms beim Berg-Ahorn begründet.

## Literatur

- CLAESSENS, H.; PAWELS, D.; THIBAUT, A.; RONDEUX, J. (1999): Site index curves and autecology of ash, sycamore and cherry in Wallonia (Southern Belgium). *Forestry*, 72, 171-182
- ERMHAUSEN, J. (1991): Abhängigkeit der Phänologie und der Wuchsleistung von Bergahornherkünften und Einzelbäumen von den ökologischen Variablen der Herkunftsorte. Dipl.-Arb. Univ. Göttingen
- JENSEN, J.K.; RASMUSSEN, L.H.; RAULUND-RASMUSSEN, K.; BORGGAARD, O.K. (2008): Influence of soil properties on the growth of sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.) in Denmark. *European Journal of Forest Research*, 127, 263–274
- LIESEBACH, M.; DEGEN, B.; GROTEHUSMANN, H.; JANSSEN, A.; KONNERT, M.; RAU, M.; SCHIRMER, R.; SCHNECK, D.; SCHNECK, V.; STEINER, W.; WOLF, H. (2013): Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. Thünen Report 7. Thünen-Institut, Braunschweig, 68 S.
- MAYER, H. (1992): Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York
- NEOPHYTOU, C.; KAROPKA, M.; KONNERT, M. (2016): Leistungsstarker Bergahorn vom Oberrhein. *AFZ-Der Wald*, 3, 30-33
- SCHMIDT, O.; ROLOFF, A. (2009). *Acer pseudoplatanus* Linné 1753. Enzyklopädie der Holzgewächse, Handbuch und Atlas der Dendrologie, 51, 1-26

Korrespondierender Autor:

Dr. Charalambos Neophytou  
Universität für Bodenkultur (BOKU), Institut für Waldbau  
Peter-Jordan-Straße 82  
A-1190 Wien, Österreich  
charalambos.neophytou@boku.ac.at  
www.wabo.boku.ac.at

Alexander Braun  
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg  
Kinga Jánosi  
Dr. Monika Konnert  
Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht

# **Genetische Variation bei Berg-Ahorn in Deutschland: Erkenntnisse aus molekulargenetischen Daten und Anbauversuchen**

Genetic variation of sycamore maple in Germany: Insights from molecular genetic data and field trials

*Charalambos Neophytou, Barbara Fussi, Monika Konnert*

## **Zusammenfassung**

Der Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) zählt zu den Waldbaumarten Mitteleuropas, die aus genetischer Sicht relativ wenig untersucht sind. Im Rahmen des Projektes „FitForClim“ wurde mit Hilfe von Mikrosatellitenmarkern aus der Chloroplasten- und Kern-DNA der genetische Fingerabdruck von 766 Berg-Ahorn-Plusbäumen, die über ganz Deutschland verteilt sind, erstellt. Die Ergebnisse zeigen eine West-Ost Differenzierung sowie eine Übergangszone in der Mitte Deutschlands. Dieses Variationsmuster spricht dafür, dass sich unterschiedliche Genpools im Zuge der nacheiszeitlichen Rückwanderung im Untersuchungsgebiet trafen und dort über viele Generationen ihre genetischen Varianten austauschten. Abweichungen von dem natürlichen Muster sind wahrscheinlich die Folge rezenter Verfrachtungen von Forstvermehrungsgut über größere Distanzen. Über die molekulargenetische Analyse hinaus fand im Projekt auch eine gemeinsame Auswertung von Anbauversuchen statt, mit dem Ziel, das Wuchsverhalten unterschiedlicher

Provenienzen zu vergleichen. Im Durchschnitt wiesen Provenienzen aus tieferen Lagen eine bessere Wuchsleistung auf. Dies kann durch die Anpassung an die unterschiedlich lange Vegetationsperiode in Hoch- und Tieflagen bedingt sein. Andererseits war eine Variation im Wuchsverhalten auch zwischen Provenienzen und Einzelbaumnachkommenschaften aus vergleichbaren Lagen festzustellen. Beispielsweise waren manche Provenienzen aus kollinen bis submontanen Lagen durchaus wüchsig. Im Projekt „FitForClim“ wurden nach der Datenanalyse gezielt Plusbäume aus wüchsigen Provenienzen ausgewählt, um einen Züchtungsfortschritt zu erzielen. Insgesamt bietet die hohe genetische Variation des Berg-Ahorns sowohl auf molekularer Ebene als auch in Bezug auf seine Wuchsleistung eine gute Ausgangslage für das vor kurzem begonnene Züchtungsprogramm.

**Stichworte:** Berg-Ahorn, genetische Variation, Mikrosatelliten, Provenienz, Forstpflanzenzüchtung

## Abstract

The sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) is, from the point of view of genetics, one of the less studied central European tree species. Within the framework of the “FitForClim” project the genetic fingerprint of 766 sycamore plus-trees from across Germany was compiled using microsatellite markers from the chloroplast and core DNA. The results show a west-east differentiation, with a transitional zone in central Germany. This pattern of variation suggests that in the course of post-glacial colonization different gene-pools met in the study area and exchanged genetic variants over many generations. Deviations from the natural pattern are probably the result of the recent shipping of forest reproductive material over great distances. Apart from the molecular genetic analysis, a common evaluation of field trials was carried out within the project, with the aim of comparing the growth of different provenances. On average, provenances from lower-lying areas exhibited greater productivity, which could be caused by adaption to the different length of vegetation period at higher and lower altitudes. On the other hand, a variation in growth between provenances and between the progeny of single trees from similar altitudes was also apparent. For example, some provenances from collinear to submontane altitudes exhibited very vigorous growth. In the “FitForClim” project, after analysis of the data, plus-trees were selected from productive provenances for breeding. The high genetic variation of the sycamore maple, both at the molecular level and with regard to growth, provides good initial conditions for the recently begun tree-breeding program.

**Keywords:** sycamore maple, genetic variation, microsatellites, provenance, forest tree breeding

## 1 Einleitung

Der Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) ist in den letzten Jahren wegen seiner ökologischen, waldbaulichen und holztechnischen Eigenschaften in den Vordergrund der Forstpflanzenzüchtung getreten (KRABEL u. WOLF 2013, LIESEBACH et al. 2013). Kenntnisse über seine populationsgenetische Variation sind dabei von besonderer Bedeutung. Obwohl Genmarkersysteme bereits etabliert wurden (KONNERT et al. 2001, BITTKAU 2003, PANDEY et al. 2004), sind Untersuchungen zur genetischen Diversität und Differenzierung des Berg-Ahorns bis dato relativ selten. Bisherige Studien fokussierten auf Populationsstrukturen innerhalb von Beständen, auf die Phylogeografie und auf regionale Muster der genetischen Variation. In Bezug auf die Phylogeografie zeigt eine arealübergreifende Studie, dass nach der letzten Vereisung Populationen von einem südalpinen Refugium aus Mitteleuropa besiedelten, während Haplotypen balkanischen Ursprungs nordostwärts bis Kroatien und die Slowakei einwanderten (BITTKAU 2003). Allerdings ist die Dichte der in dieser Studie untersuchten Populationen eher gering. Weitere molekulargenetische Studien berichten über genetische Variation in regionalem Maßstab oder auf Bestandesebene (KONNERT 2006, BELLETTI et al. 2007, PANDEY et al. 2012). Auf regionalübergreifender Ebene ist die genetische Struktur des Berg-Ahorns weitgehend unerforscht.

Auch im Bereich der Herkunftsforschung sind bei Berg-Ahorn Ergebnisse aus Anbauversuchen relativ selten. WEISER (1996) und BURESCH (2014) berichteten von einer Prüfung der Absaaten von acht Beständen aus Thüringen und Sachsen-Anhalt, angelegt in den Jahren 1966 und 1967, und stellten signifikante Unterschiede beim Höhenwachstum und bei der Schaftform zwischen den verschiedenen Provenienzen fest. In einer weiteren Arbeit vergleicht CUNDALL et al. (1998) das Wachstum von 10 Herkünften aus Großbritannien und Europa im Alter von bis zu 4 Jahren, während ERMHAUSEN (1991) die Variation phänologischer Merkmale zwischen Provenienzen untersuchte. Obwohl mehrere Flächen mit Herkunftsversuchen und Nachkommenschaftsprüfungen in Europa vorhanden sind (KRABEL u. WOLF 2013), wurden nach bestem Wissen der Autoren bisher keine weiteren Ergebnisse publiziert.

In der vorliegenden Arbeit wird im Rahmen des Projekts „FitForClim“ sowohl auf die genetische Variation als auch auf die Variation der Wuchsleistung verschiedener Provenienzen eingegangen. Für die genetische Studie wurden Plusbäume aus dem gesamten Areal der Art in Deutschland mittels molekularer DNA-Marker analysiert. Ziel war es, die genetische Struktur zu ermitteln und Rückschlüsse über den Ursprung des Berg-Ahorns in Deutschland zu ziehen. Für die Herkunftsstudie wurde das Höhenwachstum der Bäume in zwei Versuchsserien analysiert. Es sollte geprüft werden, ob Zusammenhänge zwischen Klima- und Lageparameter der Herkunft und dem Höhenwachstum der Bäume bestehen. Dies wäre ein Hinweis auf Anpassungsprozesse.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Populationsgenetische Analyse mittels molekularer Marker

Für die genetische Analyse wurden Gewebeproben (Knospen oder Blattmaterial) von Plusbäumen aus Beständen oder von Klonen aus Samenplantagen gewonnen. Insgesamt wurden 766 Individuen aus ganz Deutschland analysiert. Die DNA wurde nach dem Protokoll von DUMOLIN et al. (1995) isoliert. Anschließend wurden die Proben an dem Chloroplasten-Mikrosatellitenort *ccmp10* (WEISING u. GARDNER 1999), und folgenden 11 Kernmikrosatellitenorten genotypisiert: *Am118* aus KIKUCHI u. SHIBATA (2008), *Aop116*, *Aop122* und *Aop943* aus SEGARRA-MORAGUES et al. (2008), *MAP2*, *MAP9*, *MAP12*, *MAP33* und *MAP40* aus PANDEY et al. (2004) sowie *SM29* und *SM60* aus GRAIGNIC et al. (2013). Nach der Genotypisierung wurden die Daten der Kernmikrosatellitenorte mittels einer Cluster-Analyse in der Software STRUCTURE 2.2 (PRITCHARD et al. 2000, FALUSH et al. 2003) weiterbearbeitet. Anhand dieser Methode wird die Grundgesamtheit in eine vordefinierte Anzahl von K Subpopulationen (Cluster) zerlegt, die in sich genetisch homogen sind. Die Individuen werden dann anteilig den einzelnen Clustern zugeordnet. Programmläufe wurden bei K-Werten zwischen 1 und 10 vorgenommen. Um die optimale Anzahl der Cluster (K-Wert) zu bestimmen wurde die Methode von EVANNO et al. (2005) angewendet.

### 2.2 Gemeinsame Auswertung von Anbauversuchen

Für die gemeinsame Auswertung wurden zwei Versuchsserien untersucht: der internationale Herkunftsversuch, angelegt in den Jahren 1983 und 1984 auf 11 Flächen in vier deutschen Bundesländern (Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und Schleswig-Holstein) mit 232 Halbgeschwisterfamilien, die zu 48 Provenienzen gehörten, sowie ein Herkunftsversuch in Hessen, angelegt in den Jahren 2001-2003 mit 70 Provenienzen auf 11 Flächen. Es wurden Baumhöhen im Alter von 22-24 Jahren für den ersten Versuch und im Alter von 8-11 für den zweiten Versuch ausgewertet. Innerhalb jeder Fläche wurden Provenienzmittelwerte ermittelt und standardisiert, sodass jede Fläche einen Mittelwert von Null und eine Standardabweichung von Eins aufwies. Die Standardisierung diente der Vergleichbarkeit zwischen Provenienzen über mehrere Flächen hinweg. Um zu prüfen, ob die Höhenlage oder das Klima der Herkunft einen Effekt auf das Höhenwachstum (standardisierte Baumhöhe) der Provenienzen hatten, wurden Klassifikations- und Regressionsbäume (CART, BREIMAN et al. 1984) anhand des Pakets RPART (THERNEAU et al. 2015) sowie multivariate Regressionsbäume (MRTs, DE'ATH 2002) mittels des Pakets MVPART (DE'ATH 2014) erstellt. Als erklärende Variable wurde bei einer ersten Variante des Modells die Meereshöhe des Ursprungs angegeben. Bei einer zweiten Variante wurden Klimavariablen verwendet, die mit Hilfe des Programmes ClimateEU v4.63 (Methode basierend

auf HAMANN et al. 2013) für jede Herkunft erzeugt wurden (Option: „All Variables“, Periode 1981-2010). Um Multikollinearität zu verhindern, wurde im Fall von zwei hoch korrelierenden Variablen ( $R > 0,95$ ) nur die eine behalten. Danach wurden mittels schrittweiser Selektion (Funktion stepAIC in R) nur diejenigen Variablen beibehalten, die einen signifikanten linearen Effekt auf die standardisierte Höhe aufwiesen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Genetische Variation basierend auf molekulargenetischen Markern

Am Chloroplastenmikrosatelliten *ccmp10* wurden insgesamt zwei haplotypische Varianten gefunden. Haplotyp „102“ (mit einer Allellänge von 102 Basenpaaren) war weit verbreitet in ganz Deutschland mit Ausnahme des südöstlichen Teils von Bayern (s. Abb. 1). Dort war überwiegend der Haplotyp „105“ (mit einer Allellänge von 105 Basenpaaren) vertreten. Der Haplotyp „105“ wurde auch bei Einzelbäumen und Beständen aus dem Oberrheingraben gefunden. Dort trat aber auch der Haplotyp „102“ in ähnlicher Häufigkeit auf. Im übrigen Deutschland kam der Haplotyp „105“ nur sehr vereinzelt vor.

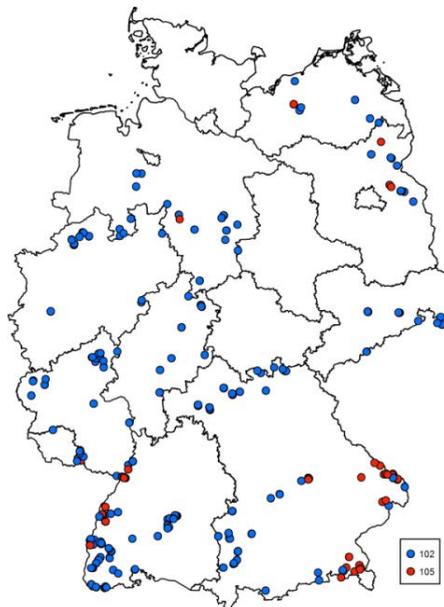


Abbildung 1: Räumliche Verteilung der zwei Varianten Haplotyp „102“ (blaue Punkte) und Haplotyp „105“ (rote Punkte) am Chloroplastenmikrosatellit *ccmp10*

Basierend auf den genotypischen Daten der Kernmikrosatelliten wurden mit Hilfe der STRUCTURE-Analyse und nach den Kriterien von EVANNO et al. (2005) zwei Cluster ermittelt, hier Cluster I und Cluster II genannt. Individuen aus dem westlichen Teil des Untersuchungsgebiets verzeichneten meist eine Zugehörigkeit zum Cluster I von oft über 90 %. Individuen, die zu über 90 % dem Cluster II zugeordnet wurden, waren vorwiegend im Südosten und Osten verbreitet (s. Abb. 2). In der Mitte bildete sich eine relativ breite Übergangszone, in der die meisten Berg-Ahorne eine gemischte Affinität zu beiden Clustern aufwiesen. Schließlich kamen vereinzelt Individuen vor, die vom großräumigen Muster abwichen. So waren z. B. zwei Bäume aus dem Bayerischen Wald Cluster I mit einer Zugehörigkeit von über 90 % zugeordnet, während alle umliegenden Bäume Cluster II angehörten. Diese beiden Individuen besaßen mit Haplotyp „102“ auch einen von dem regionalen Muster (Haplotyp „102“) abweichenden Haplotypen am Chloroplastenmikrosatellit ccmp10 (s. Abb. 3).

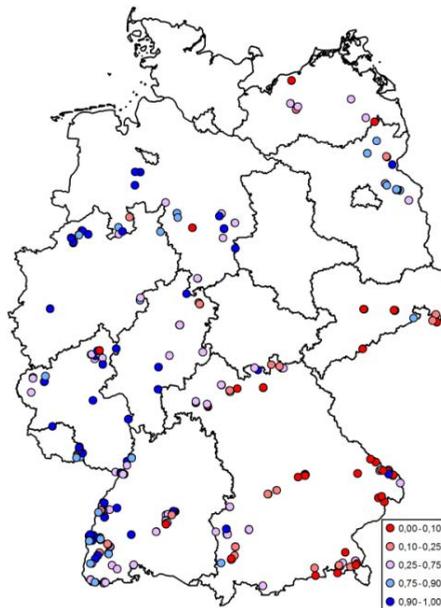


Abbildung 2: Zugehörigkeit der Berg-Ahorne zu zwei verschiedenen genetischen Clustern, ermittelt über die STRUCTURE-Analyse. Die Legende zeigt die unterschiedliche Färbung der Individuen je nach Anteil der Zugehörigkeit zu Cluster I mit Schwerpunkt der Verbreitung im Westen (bspw. dunkelblau: 90 – 100 % Zugehörigkeit zu Cluster I).

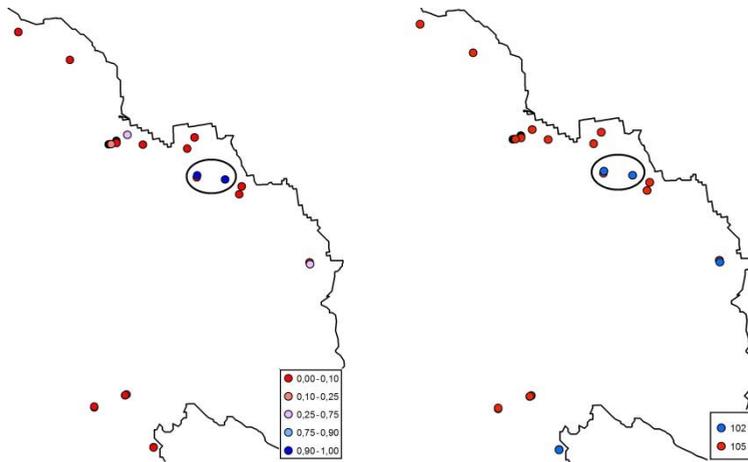


Abbildung 3: Zuordnung von Individuen im Bayerischen Wald zu Clustern nach STRUCTURE (links) und zu verschiedenen Chloroplasten-Haplotypen (rechts, blau = Haplotyp „102“, rot = Haplotyp „105“). Die Farbauswahl der Individuen auf der linken Karte basiert auf deren anteiliger Zugehörigkeit zum Cluster I (bspw. dunkelblau: 90 – 100 %). Auf der Abbildung sind einzelne Individuen zu sehen (im Kreis), die vom großräumigen Muster der Variation abweichen. Mit durchgezogener Linie wird die Bundesgrenze markiert.

### 3.2 Variation des Wuchsverhaltens in Abhängigkeit von der Höhenlage und dem Klima der Herkunft

Die Analyse mittels Regressions- und Klassifikationsbäumen (CART) zeigte eine Differenzierung der Provenienzen nach Klimaparametern bzw. nach der Höhenlage der Herkunft. Im Fall des Herkunftsversuchs von 1983-1984 wiesen Provenienzen aus Lagen mit einer frostfreien Periode von unterhalb 183 Tagen ein unterdurchschnittliches Höhenwachstum auf (s. Abb. 4). Zieht man die Meereshöhe der Herkunft als erklärende Variable in Betracht, dann zeigt sich, dass die Wuchsleistung mit zunehmender Höhe des Ursprungs abnimmt. Bei der Partitionierung der Regressionsbäume ergaben sich Parallelen. So überlappen sich räumlich Herkünfte mit frostfreier Periode von unterhalb 183 Tagen mit solchen aus Höhenlagen oberhalb 531 m größtenteils (s. Abb. 5). Diese Tendenzen wurden auch im hessischen Herkunftsversuch von 2001-2003 bestätigt. Interessanterweise erwies sich auch in diesem Fall die frostfreie Periode als die klimatische Variable mit der besten Aussagekraft (keine grafische Darstellung in diesem Artikel). Trotz dieser allgemeinen Tendenzen ist auch eine Variation zwischen Herkünften aus ähnlichen klimatischen bzw. Höhenlagen zu beobachten. Während die meisten Herkünfte aus Tieflagen überdurchschnittlich wüchsig waren, gab es einige Herkünfte aus solchen Lagen, die im Schnitt eine Baumhöhe unter dem Gesamtmittelwert aufwiesen (s. Abb. 6).

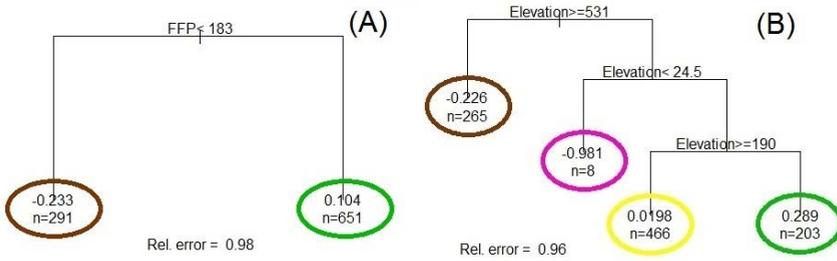


Abbildung 4: Klassifikations- und Regressionsbäume (CART) bei der Versuchsserie von 1983-1984. (A) Partitionierung in Abhängigkeit von Klimavariablen, (B) Partitionierung in Abhängigkeit von der Meereshöhe der Herkunft. An den Knoten wird die jeweilige erklärende Variable (Grenzwert zur Auftrennung von Clustern), an den Zweigen der Mittelwert der standardisierten Baumhöhe abgebildet. FFP = Frostfreie Periode in Tagen, Elevation = Meereshöhe der Herkunft in Metern, n = Anzahl Prüflieder im jeweiligen Cluster, Rel. Error = relativer Fehler.

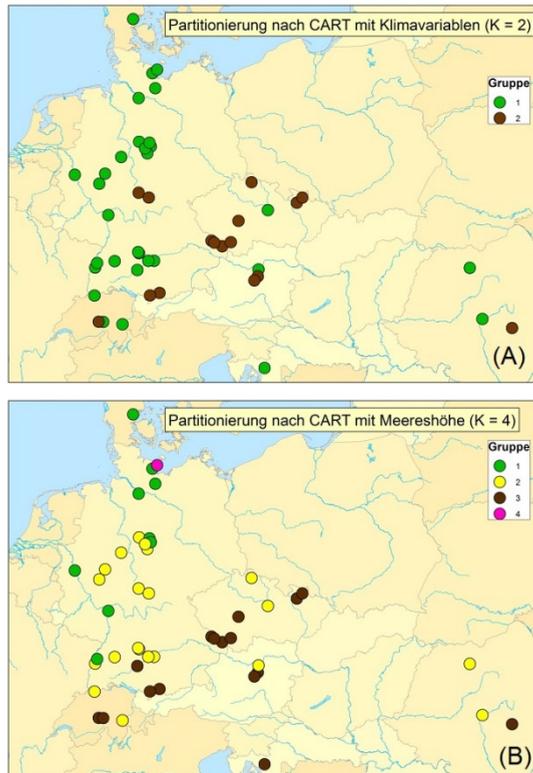


Abbildung 5: Räumliche Verteilung der verschiedenen Gruppen nach CART bei der Versuchsserie von 1983-1984. Die Farbe entspricht den Regressionsbäumen, die in Abb. 4 gezeigt werden.

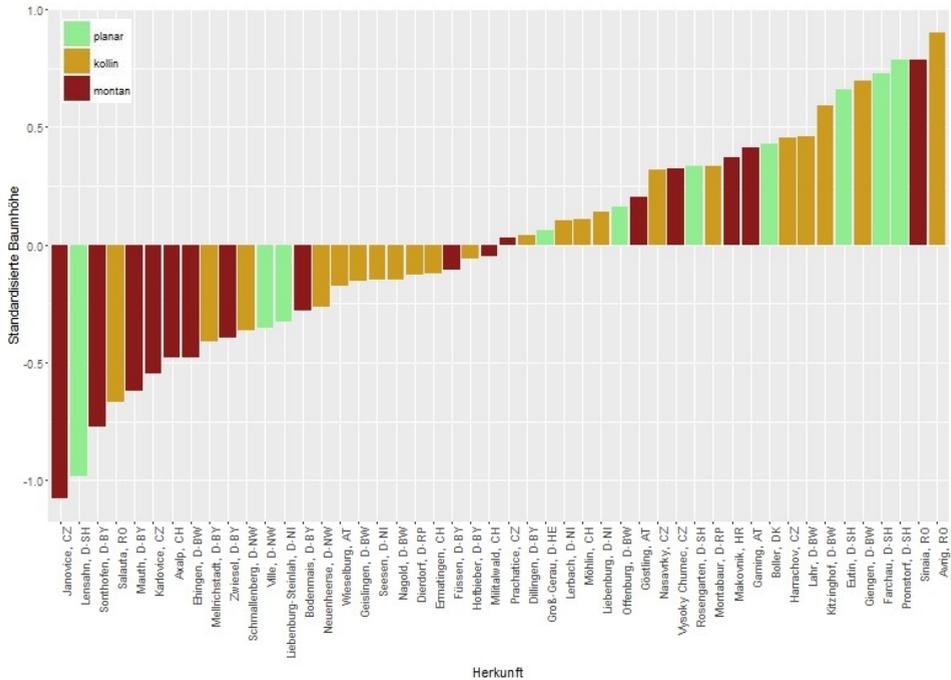


Abbildung 6: Balkendiagramm mit standardisierten Baumhöhen der verschiedenen Herkünfte des internationalen Herkunftsversuchs von 1983-1984 aufsteigend sortiert. Die Sortierung zu Höhenzonen basiert auf dem CART (Planar = 0-190 m, kollin = 190-531 m, montan  $\geq$  531 m über dem Meeresspiegel).

Die multivariaten Regressionsbäume (MRT) gaben auch die bereits erwähnten Tendenzen wieder. Zusätzlich erlaubten sie flächenweise Beobachtungen. So lieferten MRTs weitere Erkenntnisse in Bezug auf das Wuchsverhalten der verschiedenen Herkünfte je nach der Höhenlage des Pflanzorts. Beispielsweise war beim hessischen Herkunftsversuch der Wachstumsvorsprung von Provenienzen mit zunehmender Meereshöhe der Versuchsfläche weniger deutlich. Auf der höchst gelegenen Fläche waren kaum Unterschiede zu beobachten (s. Abb. 7).

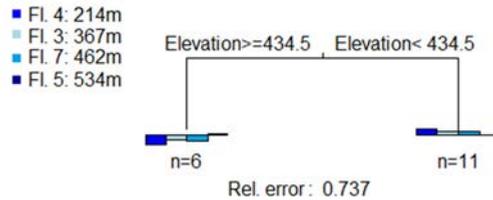


Abbildung 7: Multipler Regressionsbaum (MRT) bei der Versuchsserie von 2001-2003 (Partitionierung in Abhängigkeit von der Meereshöhe der Herkunft) (Balken = standardisierte Baumhöhe, Fl. 3-7 = Bezeichnung und Höhenlage der jeweiligen Fläche, Elevation = Meereshöhe der Herkunft in Metern, n = Anzahl Prüfglieder im jeweiligen Cluster, Rel. Error = relativer Fehler)

## 4 Diskussion

### 4.1 Unterschiedliche Rückwanderungswege treffen sich in Deutschland

Durch die genetische Analyse einer hohen Anzahl von Bäumen und die gute Arealabdeckung konnte erstmals die genetische Variation des Berg-Ahorns in Deutschland detailliert erfasst werden. Das Vorhandensein zweier unterschiedlicher Haplotypen der Chloroplasten-DNA auf dem Gebiet Deutschlands lässt annehmen, dass verschiedene Rückwanderungswege nach der letzten Vereisung im Untersuchungsgebiet aufeinandertrafen. Bereits bekannte Muster auf regionaler Ebene (KONNERT 2006) wurden damit bestätigt. Auch neue Vorkommen des Haplotyps „105“ (z. B. Oberrhein) wurden nachgewiesen. Jedoch ist der genaue Ursprung der beiden Haplotypen ungewiss. Einerseits wurde in der einzigen arealübergreifenden Studie fast keine Variation am Genort *ccmp10* gefunden (BITTKAU 2003). Andererseits fehlen bisher Daten aus angrenzenden Gebieten (z. B. Tschechien, Österreich und Ungarn), die für die Rekonstruktion von Rückwanderungswegen nach der letzten Eiszeit in Deutschland wichtig wären, komplett.

Einen weiteren Beweis für die unterschiedliche Herkunft der untersuchten Bäume liefert die räumlich genetische Struktur, die durch die Analyse mehrerer Genorte aus der Kern-DNA bestimmt wurde. Die Schwerpunkte von Cluster I im Westen sowie im Südwesten und von Cluster II im Südosten deuten die Ursprungsrichtung der Migration an und bekräftigen paläobotanische Daten, die einen Rückwanderungsweg über den Schweizer Jura und einen weiteren über die Südostalpen durch Böhmen zu den Sudeten beschreiben (HOFFMANN 1960). Die Übergangszone in der Mitte Deutschlands kann durch den Austausch der beiden Genpools entstanden sein. Dieses Muster ist mit der Verbreitung des Chloroplasten-DNA-Haplotyps „105“ im Südosten vereinbar. Auf der anderen Seite besitzen Berg-Ahorne am Oberrhein den Haplotypen „105“ und gehören trotzdem dem „westlichen“ Cluster I an. Trotz der Anwendung des  $\Delta K$ -Kriteriums

(EVANNO et al. 2005) ist nicht auszuschließen, dass eine Untergliederung in weitere Cluster, zu denen diese Bäume gehören, unidentifiziert blieb (FOGELQUIST et al. 2010).

Durch die gleichzeitige Anwendung molekularer Marker aus der Chloroplasten- und aus der Kern-DNA konnten hingegen mit hoher Gewissheit Fälle von künstlich eingebrachtem Vermehrungsgut (in Form von Samen oder Pflanzen) nachgewiesen werden. Weichen die Varianten sowohl der Chloroplasten- als auch der Kern-DNA vom regionalen Muster ab, so ist dies auf rezente Verfrachtung von Vermehrungsgut zurückzuführen, vor allem wenn der Schwerpunkt dieser Varianten in großer Entfernung liegt. Weicht nur der Chloroplasten-DNA-Haplotyp ab, dann könnte dies durch historische Migration bedingt sein: Paarung zwischen Migranten und der lokalen Population führt zu weniger Differenzierung der Kern-DNA in der nächsten Generation, während die mütterlich vererbte Chloroplasten-DNA unverändert weitergegeben wird. Nach einigen Generationen verwischen die Spuren der Migration auf der Kern-DNA, während der Chloroplasten-DNA-Haplotyp vor Ort erhalten bleibt. So zeugen oft „fremde“ Chloroplasten-Haplotypen bei homogenem Genpool der Kern-DNA von historischen Migrationsereignissen, die mehrere Generationen in der Vergangenheit liegen (RIESEBERG u. SOLTIS 1991). Auf diese Weise könnte auch das lokale Vorkommen des Haplotyps „105“ ohne Unterschiede bei der Kern-DNA am Oberrhein erklärt werden.

#### 4.2 Höhenanpassung spiegelt sich in Herkunftsversuchen wider

Auch in Bezug auf das Höhenwachstum verschiedener Provenienzen war die Datenlage recht umfangreich und führte zu belastbaren Ergebnissen. Der Bezug zwischen der Höhenlage bzw. dem Klima des Herkunftsortes und dem Höhenwachstum konnte in zwei verschiedenen Versuchsserien bestätigt werden und könnte durch eine Anpassung des Austriebsverhaltens und des Wuchsabschlusses im Herbst an die unterschiedlich lange Vegetationszeit erklärt werden. Herkünfte aus tieferen bzw. wärmeren Lagen mit längerer Vegetationsperiode zeichnen sich durch einen früheren Knospenaustrieb bzw. späteren Knospenschluss aus (ERMSHAUSEN 1991), was wiederum zu besserem Höhenwachstum führt. Interessanterweise wurde hier unter zahlreichen klimatischen Variablen die Länge der frostfreien Periode in beiden Versuchsserien als die beste erklärende Variable selektiert. Der Zusammenhang zwischen diesem Klimaparameter und der Anpassung der Phänologie ist offensichtlich.

Trotz dieser allgemeinen Trends wurde im internationalen Herkunftsversuch von 1983-1984 eine Variation auch innerhalb der durch die CARTs ermittelten Cluster festgestellt. So zeichneten sich zwei Provenienzen aus den rumänischen Karpaten durch sehr gutes Wachstum aus (s. Abb. 6), auch wenn sie nicht aus einer Tieflage kamen. Großräumige klimatische Unterschiede (z. B. Kontinenta-

lität, früher einsetzende Frühlingserwärmung) mögen hier einen stärkeren Einfluss auf das Austriebsverhalten ausgeübt haben, sodass die Meereshöhe keine gute erklärende Variable ist. Andererseits wies die Provenienz Lensahn aus einer Tieflage ein besonders schlechtes Wachstum auf, während Provenienzen aus benachbarten Tieflagen hervorragend abschnitten, was sich nicht durch Anpassung an das lokale Klima erklären lässt. Solche kleinräumigen Unterschiede beim Wuchsverhalten wurden auch in anderen Studien festgestellt (WEISER 1996, BURESCH 2014).

Eine weitere Frage, die sich stellte, war, wie sich das Höhenwachstum der Provenienzen auf verschiedenen Versuchsstandorten entwickelte. Zu dieser Frage lieferten MRTs Hinweise. Laut dem MRT in Abbildung 7 waren Provenienzen aus tieferen Lagen zwar hinsichtlich des Höhenwachstums meistens überlegen, aber mit zunehmender Meereshöhe der Fläche verringerte sich ihr Vorsprung. Auf der höchst gelegenen Fläche waren kaum noch Unterschiede zu merken. Der frühe Knospenaustrieb und der späte Knospenschluss mag in solchen Lagen keinen Vorteil mehr für diese Provenienzen darstellen, da er sie gegenüber Spätfrösten im Frühling und Frühfrösten im Herbst gefährdet (VIŠNIĆ u. DOHRENBACH 2004), was letztendlich das Höhenwachstum beeinträchtigt. Um diese Hypothese zu bekräftigen sind weitere Untersuchungen nötig. Einerseits waren in den beiden Serien Flächen in Hochlagen selten. Andererseits konnten durch die MRT-Methode nur die auf allen zu vergleichenden Flächen vertretenen Provenienzen berücksichtigt werden.

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Durch das Aufeinandertreffen verschiedener Genpools entstand beim Berg-Ahorn in Deutschland eine hohe genetische Variation. Das räumliche genetische Verbreitungsmuster lässt darauf schließen, dass sich viele Populationen vor Ort über Generationen natürlich erhalten haben bzw. dass der Transfer von Forstvermehrungsgut bei Kunstverjüngung nur kleinräumig erfolgte. Allerdings gibt es auch Einzelfälle, wo künstliche Verfrachtung von Provenienzen über größere Distanzen erfolgte. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse aus den Anbauversuchen, dass der Berg-Ahorn zwar an die lokalen Standortbedingungen des Ursprungsortes angepasst ist, dass es aber auch zwischen Provenienzen klimatisch ähnlicher Herkünfte sowie zwischen Nachkommen unterschiedlicher Mutterbäume eine Variation im Wuchsverhalten gibt. Diese Beobachtungen stellen eine gute Grundlage für die Einleitung eines Züchtungsprogramms dar. Im Projekt „FitForClim“ wurden bei der Plusbaumauslese all die nachfolgenden Aspekte berücksichtigt: (1) ein Züchtungsfortschritt wird durch die Auslese von Plusbäumen aus wüchsigen Prüfgliedern von Versuchsflächen erzielt, (2) die unterschiedliche Angepasstheit je nach Höhenlage wird durch die Bildung von drei verschiedenen Zuchtpopulationen, eine für planare, eine für kolline und eine für montane Lagen, berücksichtigt, (3)

durch die umfangreiche räumliche Abdeckung wird gewährleistet, dass die Zuchtpopulationen über eine hohe genetische Diversität verfügen.

## Literatur

- BELLETTI, P.; MONTELEONE, I.; FERRAZZINI, D. (2007): Genetic variability at allozyme markers in sycamore (*Acer pseudoplatanus*) populations from northwestern Italy. *Canadian Journal of Forest Research*, 37, 2, 395-403
- BITTKAU, C. (2003): Charakterisierung der genetischen Variation europäischer Populationen von *Acer* spp. und *Populus tremula* auf der Basis der Chloroplasten-DNA. Rückschlüsse auf die postglaziale Ausbreitung und Differenzierung forstlicher Provenienzen. Dissertation, Technische Universität München, 127 S.
- BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.; STONE, C.; OLSHEN R.A. (1984): Classification and regression trees. Wadsworth International Group, Belmont (Kalifornien, USA), 368 S.
- BURESCH, M. (2014): Entwicklungs- und Qualitätsvergleich eines Anbauversuchs mit Berg-Ahorn (*Acer pseudoplatanus* L.) im Forstamt Hainich-Werratal, Bachelorarbeit, Fachhochschule Erfurt, 47 S.
- CUNDALL, E.P.; CAHALAN, C.M.; PLOWMAN, M.R. (1998): Early results of sycamore (*Acer pseudoplatanus*) provenance trials at farm-forestry sites in England and Wales. *Forestry*, 71, 3, 237-245
- DE'ATH, G. (2002): Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships. *Ecology*, 83, 4, 1105-1117
- DE'ATH, G. (2014): Multivariate partitioning. R Package Version 1.6.2. <https://cran.r-project.org/web/packages/mvpart/mvpart.pdf> (abgerufen am 01.07.2015)
- DUMOLIN, S.; DEMESURE, B.; PETTIT, R.J. (1995): Inheritance of chloroplast and mitochondrial genomes in pedunculate oak investigated with an efficient PCR method. *Theoretical and Applied Genetics*, 91, 8, 1253-1256
- ERMSHAUSEN, J. (1991): Abhängigkeit der Phänologie und der Wuchsleistung von Berg-Ahorn-Herkünften und Einzelbäumen von den ökologischen Variablen der Herkunftsorte. Diplomarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, 77 S.
- EVANNO, G.; REGNAUT, S.; GOUDET, J. (2005): Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology*, 14, 8, 2611-2620
- FALUSH, D.; STEPHENS, M.; PRITCHARD, J.K. (2003): Inference of population structure using multi-locus genotype data: linked loci and correlated allele frequencies. *Genetics*, 164, 4, 1567-1587
- FOGELQVIST, J.; NIITYYUOPIO, A.; ÅGREN, J.; SAVOLAINEN, U.; LASCoux, M. (2010): Cryptic population genetic structure: the number of inferred clusters depends on sample size. *Molecular Ecology Resources*, 10, 2, 314-323
- GRAIGNIC, N.; TREMBLAY, F.; BERGERON, Y. (2013): Development of polymorphic nuclear microsatellite markers in sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) using cross-species transfer and SSR-enriched shotgun pyrosequencing. *Conservation Genetics Resources*, 5, 3, 845-848
- HAMANN, G.; WANG, T.; SPITTLEHOUSE, D.E.; 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, 1307-1309
- HOFFMANN, E. (1960): Der Ahorn. Wald-, Park- und Straßenbaum. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Leipzig, 190 S.
- KIKUCHI, S.; SHIBATA, M. (2008): PERMANENT GENETIC RESOURCES: Development of polymorphic microsatellite markers in *Acer mono* Maxim. *Molecular Ecology Resources*, 8, 2, 339-341
- KONNERT, M.; RUETZ, W.; FROMM, M. (2001): Genetic variation in *Acer pseudoplatanus* L. I. Inheritance of isozyme variants. *Forest Genetics*, 8, 1, 25-38

- KONNERT, M. (2006): Erfolge (und Grenzen) bei dem Herkunftsnachweis mittels Isoenzym- und DNA-Analysen. In: Tagungsband zur 26. Arbeitstagung der ARGE Forstgenetik / Forstpflanzenzüchtung, 20. bis 22.10.2005, Fulda, 49-57
- KRABEL, D.; WOLF, H. (2013): Sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). In: Forest Tree Breeding in Europe. Springer, Niederlande, 373-402
- LIESEBACH, M.; DEGEN, B.; GROTEHUSMANN, H.; JANSSEN, A.; KONNERT, M.; RAU, M.; SCHIRMER, R.; SCHNECK, D.; SCHNECK, V.; STEINER, W.; WOLF, H. (2013): Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland. Thünen Report 7. Thünen-Institut, Braunschweig, 68 S.
- PANDEY, M.; GAILING, O.; FISCHER, D.; HATTEMER H.H.; FINKELDEY, R. (2004): Characterization of microsatellite markers in sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.). Molecular Ecology Notes, 4, 2, 253-255
- PANDEY, M.; GAILING, O.; HATTEMER H.H.; FINKELDEY, R. (2012): Fine-scale spatial genetic structure of sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.). European Journal of Forest Research, 131, 3, 739-746
- PRITCHARD, J.K.; STEPHENS, M.; DONNELLY, P. (2000): Inference of population structure using multi-locus genotype data. Genetics, 155, 2, 945-959
- RIESEBERG, L.H.; SOLTIS, D.E. (1991): Phylogenetic consequences of cytoplasmic gene flow in plants. Evolutionary Trends in Plants, 5, 1, 65-84
- SEGARRA-MORAGUES, J.G.; GLEISER, G.; GONZÁLEZ-CANDELAS, F. (2008): Isolation and characterization of microsatellite loci in *Acer opalus* (Aceraceae), a sexually-polymorphic tree, through an enriched genomic library. Conservation Genetics, 9, 4, 1059-1062
- THERNEAU, T.; ATKINSON, B.; RIPLEY, B. (2015): Rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees. R package version 4.1-9. <https://cran.r-project.org/web/packages/mvpart/mvpart.pdf> (abgerufen am 01.04.2016)
- VIŠNÍČ, C.; DOHRENBUSCH, A. (2004): Frostresistenz und Phänologie europäischer Buchenprovenienzen (*Fagus sylvatica* L.). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 175, 6, 101-108
- WEISER, F. (1996): Bestandesnachkommenschaftsprüfung von Bergahorn. AFZ-Der Wald, 51, 14, 774-777
- WEISING, K.; GARDNER, R.C. (1999): A set of conserved PCR primers for the analysis of simple sequence repeat polymorphisms in chloroplast genomes of dicotyledonous angiosperms. Genome, 42, 1, 9-19

Korrespondierender Autor:

Dr. Charalambos Neophytou

Universität für Bodenkultur (BOKU), Institut für Waldbau

Peter-Jordan-Straße 82

A-1190 Wien, Österreich

charalambos.neophytou@boku.ac.at

www.wabo.boku.ac.at

Dr. Barbara Fussi

Dr. Monika Konnert

Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht

## **Hydraulische Xylem-Leitfähigkeit und Leitfähigkeitsverlust – geeignete Weiser für die Trockenstressresistenz von *Picea abies* (L.) H. KARST.-Klonen?**

Hydraulic xylem conductivity and loss of conductivity –  
appropriate indicators for resistance against drought  
stress of clones of *Picea abies* (L.) H. KARST.?

*André Zeibig, Heino Wolf*

### **Zusammenfassung**

Die Anbaubedingungen für die Gemeine Fichte (*Picea abies* [L.] H. KARST.) werden sich durch die zu beobachtende zunehmende Erwärmung des Klimas und die sich daraus ergebenden Veränderungen der Wasserversorgung vermutlich stark zum Schlechteren verändern. Dennoch wird sie auch in absehbarer Zeit auf Grund ihrer Ertragsleistungen, Holzeigenschaften und waldbaulichen Vorzüge eine bedeutende Baumart bleiben. Für die Bereitstellung von hochwertigem Forstvermehrungsgut der Fichte unter sich ändernden Klimabedingungen kommt daher Merkmalen der Widerstandsfähigkeit gegenüber abiotischen Faktoren wie zum Beispiel Trockenheit eine wesentlich größere Bedeutung als bisher zu.

Auf Grund des vermuteten engen Zusammenhangs zwischen Trockenstress- und Immissionsresistenz könnten vorhandene und unter Gesichtspunkten der Schwefeldioxid-(SO<sub>2</sub>-)Resistenz ausgewählte Fichten-Klone für die Zusammenstellung von Zuchtpopulationen mit verbesserter Widerstandsfähigkeit gegenüber Trockenheit eine Basis darstellen.

In einer Pilotstudie wurden 15 Klone mit unterschiedlicher SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz im Vergleich zu 2 Klonen aus Kreuzungsnachkommen und einem Klon aus einer Sämlingsnachkommenschaft auf ihre hydraulische Xylem-Leitfähigkeit als struktureller Parameter der Trockenstressresistenz getestet. Das Probematerial wurde von ca. 30-jährigen Individuen der Klonprüfung *V87 Ilmenau* (Thüringen) gewonnen. Von 2-jährigen Zweigabschnitten wurde die Leitfähigkeit mit dem XYL'EM-Gerät vor und nach einer simulierten Trockenstressbelastung erfasst und der Leitfähigkeitsverlust daraus abgeleitet. Der Trockenstress wurde mit der Scholander-Druckkammer in ausgewählten Druckstufen simuliert.

Zweigabschnitte des Terminaltriebes mit 2-8 mm Durchmesser erwiesen sich für die Untersuchung als besonders geeignet. Begrenzend wirkt sich dabei der relativ geringe Probendurchsatz von 1,0-1,5 Zweigabschnitten pro Stunde aus. Ein signifikanter Effekt der SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz auf die Leitfähigkeit wurde für die Klone der Herkunft *Seiffen* nachgewiesen. Die Wechselwirkung von SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz und Druckbehandlung wirkte sich signifikant auf den Leitfähigkeitsverlust dieser Klone aus. Dagegen zeigten die Klone der Herkünfte *Deutscheinsiedel* und *Oberlochmühle* keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Resistenzgruppen.

Die Ergebnisse lassen aufgrund der sehr kleinen Stichprobe und der gefundenen Einzeleffekte noch keine Rückschlüsse auf die Trockenstressresistenz der untersuchten Klone und Nachkommenschaften zu. Sie bedürfen der weiteren klonalen Differenzierung und der Verifizierung durch Gefäßversuche unter Einbeziehung von weiteren stressrelevanten Parametern, wie z. B. Chlorophyll-Fluoreszenz. Grundsätzlich ist zu klären, inwieweit die Reaktionsfähigkeit des Spaltöffnungsapparates für den Zusammenhang zwischen Immissionsresistenz und Trockenresistenz ursächlich ist.

**Stichworte:** *Picea abies*, Trockenstress, Resistenz, hydraulische Xylem-Leitfähigkeit, Embolie

## Abstract

Ongoing climate warming and the resulting changes in water supply will most likely lead to a significant worsening of growing conditions for Norway spruce (*Picea abies* [L.] H. KARST.). However, due to high yields, excellent wood properties and silvicultural advantages, it will remain an important tree species for

the foreseeable future. For the provision of spruce reproductive material in times of changing climate, therefore, resistance to abiotic factors, such as drought, is becoming considerably more important than today.

The close relationship between drought stress resistance and resistance to immissions means that spruce clones selected for resistance to Sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>) could provide a basis for a breeding population with improved resistance to drought.

In a pilot study, 15 clones with different SO<sub>2</sub>-resistance, 2 clones descending from crossing progenies and one clone from a seedling progeny were tested for their hydraulic xylem conductivity, which is a structural parameter of drought stress. The sample material was obtained from ca. 30 year old individuals from the clone test *V87 Ilmenau* (Thuringia). Hydraulic conductivity before and after a simulated drought stress influence was measured in sections of 2 year old twigs using a XYL'EM apparatus, and the conductivity loss calculated. Drought stress was simulated using a Scholander pressure chamber.

Twig sections from the terminal shoots with diameters between 2-8 mm proved especially suitable for the test. The low sample throughput of 1.0 - 1.5 twig sections per hour was, however, a limiting factor. A significant effect between SO<sub>2</sub>-resistance and conductivity was found for clones of the provenance *Seiffen*. The interaction of SO<sub>2</sub>-resistance and the pressure treatment had a significant effect on the conductivity loss for these clones. In contrast, for *Deutscheinsiedel* and *Oberlochmühle* clones there were no significant differences between the resistance groups.

Due to the small sample size and individual effects, no conclusions can be drawn regarding the drought resistance of the trees tested. A further clonal differentiation is required, as well as verification through laboratory pot experiments, taking other stress relevant factors, such as chlorophyll fluorescence, into consideration. One fundamental issue that needs to be clarified is the extent to which the responsiveness of the stoma is responsible for the relationship between immission resistance and drought resistance.

**Keywords:** *Picea abies*, drought stress, resistance, hydraulic xylem conductivity, embolism

## 1 Einleitung

Die Gemeine Fichte (*Picea abies* [L.] H. KARST.) ist in Deutschland die am meisten verbreitete und forstwirtschaftlich wichtigste Baumart. Die Fichte ist aber auch eine derjenigen Baumarten, deren Vitalität und Leistungsfähigkeit durch die zu beobachtende zunehmende Erwärmung des Klimas und die sich daraus ergebenden Veränderungen der Wasserversorgung vermutlich stark in Mitleidenschaft gezogen werden wird (GEMBALLA u. SCHLUTOW 2007). Dennoch wird die Fichte

auf Grund ihrer Ertragsleistung, Holzeigenschaften und waldbaulichen Vorzüge auch in absehbarer Zeit eine bedeutende Baumart bleiben.

Für die mittel- und langfristige Bereitstellung von hochwertigem Forstvermehrungsgut der Fichte unter sich ändernden Klimabedingungen kommt daher Merkmalen der Widerstandsfähigkeit gegenüber abiotischen Faktoren wie zum Beispiel Trockenheit eine wesentlich größere Bedeutung als bisher zu.

Im Zuge der Resistenzzüchtung gegenüber menschlich bedingten Umwelteinflüssen wie dem Schwefeldioxid- ( $\text{SO}_2$ -) Eintrag erfolgte in verschiedenen Regionen Deutschlands zwischen 1970 und 1990 eine intensive Suche nach widerstandsfähigen Fichten-Klonen (u. a. WEIß 1981, 1994). Über diese Klone liegen bereits eine Vielzahl von Informationen zur Resistenz, Wachstum und Qualität vor. Ein wesentlicher Teil dieses Materials ist bis zum heutigen Tag noch in Klonsammlungen und entsprechenden Versuchen erhalten. Zwischen Trockenstressresistenz und  $\text{SO}_2$ -Immissionsresistenz bestehen nach bisherigem Kenntnisstand vermutlich enge Zusammenhänge (BRAUN 1977, KLEIN 1980, TZSCHACKSCH 1998, 2007, 2012). Die vorhandenen und unter Gesichtspunkten der  $\text{SO}_2$ -Resistenz ausgewählten Fichten-Klone könnten somit eine Basis für die Zusammenstellung von Zuchtpopulationen mit verbesserter Widerstandsfähigkeit gegenüber Trockenheit darstellen.

Eine wichtige Voraussetzung für die Berücksichtigung von Fichten-Klonen bei der Zusammenstellung von Zuchtpopulationen als Ausgangsmaterial, zum Beispiel für die Anlage von Samenplantagen, ist die Überprüfung der tatsächlichen Trockenstressresistenz der auszuwählenden Klone. Hierfür kommen unterschiedliche Verfahren wie Trockenstressversuche in Klimakammern oder Gewächshäusern in Frage. Die genannten Verfahren setzen aber das Vorhandensein von Jungpflanzen aus generativer oder vegetativer Vermehrung voraus. Dieses Versuchsmaterial stand zu Beginn der Arbeiten im Verbundvorhaben „FitForClim“ noch nicht zur Verfügung. Die Anwendung sogenannter indirekter Methoden zur Erfassung der Dürre-resistenz, wie die Erfassung von Parametern der hydraulischen Architektur und des Wasserhaushaltes (zum Beispiel Xylem-Leitfähigkeit und Leitfähigkeitsverlust), könnte die erforderlichen Informationen für die Auslese geeigneter Klone bereitstellen. Diese Verfahren wurden bereits bei Kiefer, Fichte, Buche und verschiedenen Pappel-Klonen mit unterschiedlicher Fragestellung zielführend angewendet (RUST 1999, SCHILDBACH et al. 2012, HARTMANN et al. 2015, WOLF 2008).

Ziel der vorgestellten Untersuchungen ist die Prüfung, ob sich die Parameter Xylem-Leitfähigkeit und Leitfähigkeitsverlust nach simuliertem Trockenstress für die Erfassung der Dürre-resistenz von Fichten-Klonen eignen, die bereits als  $\text{SO}_2$ -resistent und  $\text{SO}_2$ -sensitiv beschrieben sind.

## 2 Material und Methoden

Das Versuchsmaterial entstammt zwei Klonprüfungen, die auf insgesamt sechs Versuchsflächen 1988 und 1989 in Sachsen und Thüringen mit Stecklingen angelegt wurden (WEIB 1994, WOLF 1998). Das in die Untersuchung einbezogene Material wurde auf der Versuchsfläche V87 Ilmenau (820 m ü. NN) ausgewählt, die als eine der oben genannten Versuchsflächen 1988 angelegt wurde (WOLF 1998). Es umfasst Klone aus 4 Herkünften und als Vergleich die vegetativ vermehrten Nachkommen aus zwei gelenkten Kreuzungen feldresistenter Fichten (Klonmischungen) sowie eine Sämlingsnachkommenschaft aus freier Abblüte. Eine qualitative Einschätzung der SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz des verwendeten Materials lag aus der Erfassung von Nadelschäden nach sehr starker SO<sub>2</sub>-Belastung auf zwei Versuchsflächen im Osterzgebirge im Winter 1995/1996 vor (WOLF 1998). Auf Grundlage dieser Daten wurden die Klone und Klonmischungen in die Gruppen „SO<sub>2</sub>-resistent“ und „SO<sub>2</sub>-sensitiv“ eingeordnet. Für die Sämlinge lagen keine Informationen zur Immissionstoleranz vor.

Von den ausgewählten 18 Versuchsgliedern wurden je 3 Individuen im Rahmen einer Hiebsmaßnahme entnommen und je Individuum bis zu vier 1- bis 4-jährige Zweige aus der Lichtkrone vom 27. bis 29. Oktober 2015 gewonnen. Die Zweige wurden in schwarzen Plastiksäcken transportiert und nach Anschneiden (unter Wasser) in Wassergefäßen mit Folienabdeckung bei 4 °C bis zu 8 Wochen gelagert. Die Klone und Nachkommenschaften wurde entsprechend ihrer SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz gruppiert (s. Tab. 1).

Tabelle 1: Übersicht über das verwendete Versuchsmaterial aus der Versuchsfläche V87 Ilmenau

Herkunft	Ausgangsmaterial	SO <sub>2</sub> -Immissionsresistenz (Anzahl Versuchsglieder)		
		SO <sub>2</sub> - resistent	SO <sub>2</sub> - sensitiv	Keine Daten
<i>Deutscheinsiedel</i>		2	2	-
<i>Georgenfeld</i>	Klone	1	-	-
<i>Oberlohmühle</i>		3	3	-
<i>Seiffen</i>		2	2	-
<i>Deutscheinsiedel 27 × Seiffen 31</i>		Klonmischung aus Kreuzungsnachkommen-	1	-
<i>Deutscheinsiedel 27 × Oberlohmühle 28</i>	schaften (Vergleich)	1	-	-
<i>Oberhof 22a, b</i>	Sämlingsnachkommen- schaft (Vergleich)	-	-	1

Zweijährige entriete und wassergesättigte Zweigabschnitte dienten der Erfassung der gesättigten hydraulischen Xylem-Leitfähigkeit  $K_{max}$  mit dem XYL'EM-Gerät (Bronkhorst, Montigny les Cormeilles, France) (COCHARD 1992, COCHARD et al. 2002), dessen Wirkungsprinzip von SPERRY et al. (1988) für derartige Anwendungen vorgeschlagen wurde. Als Perfusionsmedium wurde eine wässrige Kaliumchlorid-Lösung (10 mmol/l) verwendet. Anschließend wurden die Zweigabschnitte der Klone einer simulierten Trockenstressbelastung durch das Druckkammer-Verfahren (SCHOLANDER et al. 1965) ausgesetzt (SPERRY u. TYREE 1988, 1990, COCHARD 1992). Diese Druckbehandlung führt zur künstlichen Veränderung des Wasserpotenzials im Xylem und zur Erzeugung von Embolien in den Gefäßen durch Kavitation. Mit einer Druckkammer (SKPM1400, Skye Instruments Ltd, Llandrindod Wells Powys, UK) wurden je Probe drei Druckstufen  $p_n$  mit  $p_1 = 0,8$  MPa,  $p_2 = 1,0$  MPa bzw.  $p_3 = 1,2$  MPa nacheinander in Längsrichtung des Zweigabschnittes angewendet und die entsprechende Leitfähigkeit ( $K_{p1}$ ,  $K_{p2}$ ,  $K_{p3}$ ) nach jeder Druckstufe erneut gemessen. Der Messdruck betrug 4 kPa. (MAYR et al. 2002). Die Druckstufen wurden nach Voruntersuchung (Leitfähigkeitsverlust  $< 100\%$ ) ausgewählt. Der prozentuale Leitfähigkeitsverlust (*percentage loss of conductivity, PLC*) berechnet sich aus:  $PLC = 100 * (1 - K_{pn}/K_{max})$ . Mit Hilfe des prozentualen Leitfähigkeitsverlustes lässt sich die Empfindlichkeit des Xylems gegenüber Kavitation und Embolismus beurteilen und als bedeutender Teilaspekt einer Einschätzung der Trockenstressresistenz der Pflanzen verwenden. Die statistische Auswertung erfolgte deskriptiv sowie varianzanalytisch einfaktoriell bzw. zweifaktoriell mit Messwiederholung.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Beziehung Zweigdurchmesser – gesättigte hydraulische Xylem-Leitfähigkeit $K_{max}$

Mit steigendem Durchmesser der Zweige nahm die gesättigte hydraulische Xylem-Leitfähigkeit  $K_{max}$  der Klone aus *Deutscheinsiedel*, *Oberlochmühle* und *Seiffen* sowie der Individuen aus den Kreuzungsnachkommenschaften und aus der Sämlingsnachkommenschaft *Oberhof* signifikant zu. Abweichend davon war diese Beziehung bei dem Klon aus *Georgenfeld* ungewöhnlich schwach (s. Abb. 1).

Der überwiegende Teil der genetischen Einheiten weist demnach gut vergleichbare Eigenschaften von  $K_{max}$  bezüglich des Zweigdurchmessers im Intervall 2-4 mm auf. Die Werte liegen im Mittel bei  $5,0E-6$  kgm/sMPa und somit im oberen Bereich der Spannweite der Werte, die für *Picea abies* aus einem Experiment in Schweden (RUST 1999) bzw. in Frankreich (COCHARD 1992) gemessen wurden.

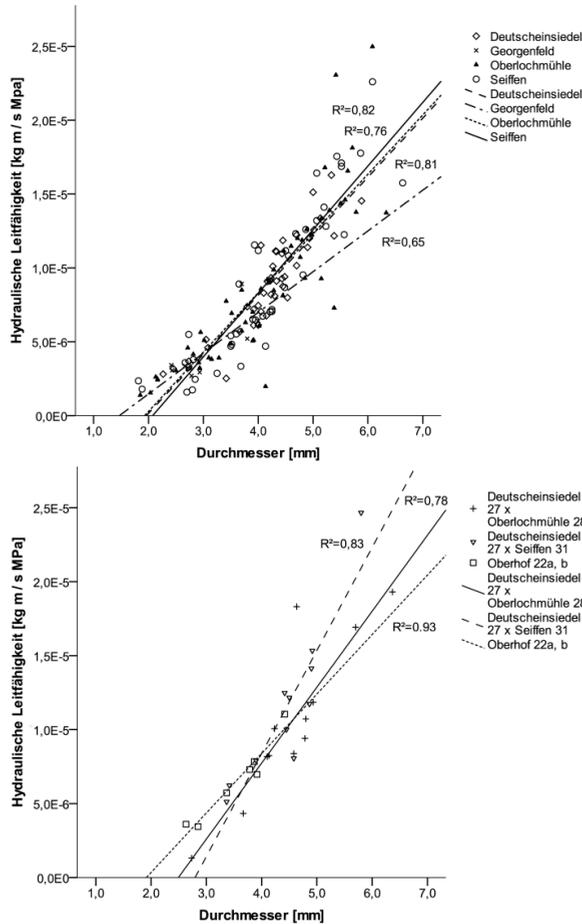


Abbildung 1: Abhängigkeit der längennormierten gesättigten hydraulischen Xylem-Leitfähigkeit  $K_{max}$  [kg/s MPa m] der Zweigabschnitte von deren mittlerem Durchmesser [mm] ohne Rinde ( $p < 0,05$ ) (oben: Klone mit unterschiedlicher  $SO_2$ -Resistenz; unten: Individuen aus Kreuzungs- und Sämlingsnachkommenschaften. Linien sind lineare Regressionen).

### 3.2 Beziehung $SO_2$ -Immissionsresistenz – gesättigte hydraulische Xylem-Leitfähigkeit $K_{max}$

Die gesättigte Xylem-Leitfähigkeit  $K_{max}$  der aggregierten Klone weist ähnliche mittlere Werte und Spannweiten über die Gruppen  $SO_2$ -resistent,  $SO_2$ -sensitiv bzw. Vergleich auf (s. Tab. 2, Herkunft: Gesamt; s. Abb. 2 oben). Das bedeutet, dass die  $SO_2$ -Immissionsresistenz keinen signifikanten Effekt auf  $K_{max}$  der aggregierten Klone besitzt.

Tab. 2: Längen- und flächennormierte gesättigte hydraulische Xylem-Leitfähigkeit  $K_{max}$  [ $\text{kg/s MPa m}$ ] 2-jähriger Zweigabschnitte in Abhängigkeit von der  $\text{SO}_2$ -Immissionsresistenz und der Vergleichsgruppe der Versuchsfläche V87 Ilmenau (Einfaktorielle Varianzanalyse, Sterne kennzeichnen signifikante Effekte,  $p < 0,05$ )

Herkunft	Gruppe	N	$\bar{x}$	S	F	Signifikanz ( $p < 0,05$ )
Gesamt	$\text{SO}_2$ -resistent	66	0,59	0,15		
	$\text{SO}_2$ -sensitiv	71	0,63	0,13	1,961	0,144
	Vergleich	30	0,65	0,15		
Deutscheinsiedel	$\text{SO}_2$ -resistent	22	0,63	0,11	0,202	0,655
	$\text{SO}_2$ -sensitiv	20	0,62	0,10		
Oberlochmühle	$\text{SO}_2$ -resistent	24	0,65	0,16	3,642	0,062
	$\text{SO}_2$ -sensitiv	29	0,57	0,13		
Seiffen	$\text{SO}_2$ -resistent	20	0,48	0,12	36,307	0,000*
	$\text{SO}_2$ -sensitiv	22	0,71	0,13		

N = Anzahl Zweigabschnitte

Eine nach Herkunft differenzierte Darstellung der Klone zeigt Abbildung 2 (rechts). Die Klone aus *Deutscheinsiedel* und *Oberlochmühle* weisen demnach ähnliche Spannweiten und mittlere Werte von  $K_{max}$  jeweils innerhalb einer Gruppe auf. Weiterhin ist  $K_{max}$  dieser Klone bei  $\text{SO}_2$ -resistent gegenüber  $\text{SO}_2$ -sensitiv geringfügig erhöht. Davon abweichend zeigen die Klone aus *Seiffen* einen wesentlich geringere bzw. wesentlich höheren  $K_{max}$  bei  $\text{SO}_2$ -resistent bzw. bei  $\text{SO}_2$ -sensitiv (s. Tab. 2). Demnach liegt ein signifikanter Effekt der  $\text{SO}_2$ -Immissionsresistenz auf  $K_{max}$  für *Seiffen*, jedoch nicht für *Deutscheinsiedel* bzw. für *Oberlochmühle* vor.

Die mittleren Werte der Individuen der Kreuzungsnachkommenschaft *Deutscheinsiedel* 27  $\times$  *Oberlochmühle* 28 bzw. der Sämlingsnachkommenschaft *Oberhof* 22a, b liegen in einem mit den Klonen aus *Deutscheinsiedel* und *Oberlochmühle* vergleichbaren Bereich (s. Abb. 2 unten). *Oberhof* 22a, b weist dabei die geringste Spannweite aller Herkünfte auf. Die Individuen der beiden Kreuzungsnachkommenschaften werden durch einen gegenüber der Gruppe der  $\text{SO}_2$ -resistenten Gruppe aus *Seiffen* erhöhten  $K_{max}$  charakterisiert. Darüber hinaus weist die Kreuzungsnachkommenschaft *Deutscheinsiedel* 27  $\times$  *Seiffen* 31 im Vergleich mit den Klonen aus *Deutscheinsiedel* und *Oberlochmühle* erhöhte mittlere Werte über beide Gruppen auf.

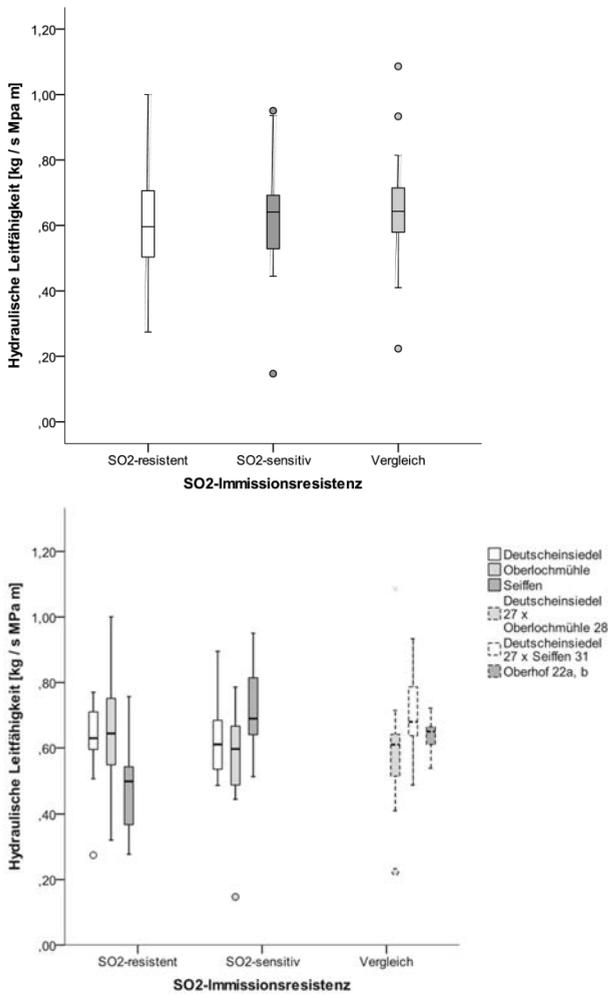


Abbildung 2: Box-Plots der längen- und flächennormierten gesättigten hydraulischen Xylem-Leitfähigkeit  $K_{max}$  [kg/s MPa m] des Xylems über Gruppen der  $SO_2$ -Immissionsresistenz, aggregiert (oben) bzw. nach Herkunft differenziert (unten) der Versuchsfäche V87 Ilmenau

### 3.3 Beziehung $SO_2$ -Immissionsresistenz – Leitfähigkeitsverlust

Mit stufenweise zunehmender und wiederholter Druckbehandlung steigt der mittlere Leitfähigkeitsverlust aller Klone über die Gruppen der  $SO_2$ -Immissionsresistenz hinweg markant an (s. Abb. 3). Die mittleren Werte für die Gruppe  $SO_2$ -resistent betragen in der Druckstufe 0,8 MPa 41 % (Deutscheinsiedel) bzw. 52 % (Seiffen) und steigen in der Druckstufe 1,2 MPa bis auf 61 % (Oberlohmühle) bzw. 67 % (Seiffen) an. Die mittleren Werte für die Gruppe  $SO_2$ -sensitiv liegen in der Druckstufe 0,8 MPa bei 42 % (Deutscheinsiedel) bzw. 48 % (Oberlohmühle) und

steigen in der Druckstufe 1,2 MPa bis auf 60 % (*Oberlostmühle*) bzw. 65 % (*Seiffen*) an (s. Tab. 3). Alle Klone zeigen dabei einen ansteigenden, linearen Verlauf des Leitfähigkeitsverlustes über die Druckstufen. Die Unterschiede des Leitfähigkeitsverlustes zwischen den Druckstufen sind ebenso signifikant wie deren linearer Verlauf. Neben einer spezifischen Empfindlichkeit der Tracheiden gegenüber Embolien, die infolge der Druckbehandlung gebildet werden können, erklärt auch die Abhängigkeit der Messungen untereinander infolge der fortlaufenden Druckanwendung den vorgefundenen Leitfähigkeitsverlust.

Die Klone aus *Deutschnendorf* und aus *Oberlostmühle* weisen innerhalb einer Druckstufe über die Gruppen hinweg jeweils ähnliche mittlere Werte und Spannbreiten des Leitfähigkeitsverlustes auf. In der Tendenz weist die Gruppe *SO<sub>2</sub>-sensitiv* gegenüber der Gruppe *SO<sub>2</sub>-resistent* geringfügig erhöhte mittlere Werte auf (s. Abb. 3 links und Mitte). Dabei ist weder ein signifikanter Effekt der *SO<sub>2</sub>*-Immissionsresistenz noch ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Druckbehandlung und *SO<sub>2</sub>*-Immissionsresistenz für diese Klone nachweisbar.

Dagegen zeigen die Klone aus *Seiffen* einen jeweils geringeren mittleren Leitfähigkeitsverlust bei *SO<sub>2</sub>-sensitiv* gegenüber *SO<sub>2</sub>-resistent* (s. Abb. 3 rechts). Die mittleren Differenzen betragen 9 % (0,8 MPa), 6 % (1,0 MPa) bzw. 2 % (1,2 MPa). Am deutlichsten fallen die Unterschiede in der ersten Druckstufe (0,8 MPa) auf. Über alle Druckstufen hinweg betrachtet, sind diese Unterschiede signifikant, jedoch nicht innerhalb einer Druckstufe. Der tendenziell quadratische Verlauf dieses Leitfähigkeitsverlustes über die Druckstufen ist ebenfalls signifikant. Daher liegt kein Einzeleffekt der *SO<sub>2</sub>*-Immissionsresistenz, sondern ein Interaktionseffekt zwischen Druckbehandlung und *SO<sub>2</sub>*-Immissionsresistenz auf den Leitfähigkeitsverlust für die Klone der Herkunft *Seiffen* vor. Das bedeutet, dass sich die wiederholte Druckbehandlung und der zunehmende Druck mit jeder Wiederholung bezogen auf die *SO<sub>2</sub>*-Immissionsresistenz in unterschiedlichem Maße auf den Leitfähigkeitsverlust auswirken und zu dessen quadratischen Verlauf führen. Demnach reagieren die Klone der Herkunft *Seiffen* der Gruppe *SO<sub>2</sub>-sensitiv* bei gleicher Druckbehandlung mit einem geringeren Leitfähigkeitsverlust als die Klone der Gruppe *SO<sub>2</sub>-resistent*.

Tabelle 3: Leitfähigkeitsverlust % (percentage loss of conductivity, PLC) in Abhängigkeit von der Druckbehandlung [MPa] und Gruppen der SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz von *Picea abies*-Klonen der Versuchsfläche V87 Ilmenau (Zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung. Sterne kennzeichnen signifikante Effekte,  $p < 0,05$ )

		Deutscheinsiedel		Oberlochmühle		Seiffen	
	Kennwert	SO <sub>2</sub> -resistent	SO <sub>2</sub> -sensitiv	SO <sub>2</sub> -resistent	SO <sub>2</sub> -sensitiv	SO <sub>2</sub> -resistent	SO <sub>2</sub> -sensitiv
	<i>N</i>	22	20	24	28	20	22
PLC (0,8 MPa)	$\bar{x}$	40,77	42,18	43,55	48,26	51,86	42,84
	<i>s</i>	16,33	14,17	13,80	14,70	15,49	14,10
PLC (1,0 MPa)	$\bar{x}$	51,76	53,77	53,98	56,31	61,32	55,46
	<i>s</i>	14,66	15,57	15,72	15,59	14,83	15,38
PLC (1,2 MPa)	$\bar{x}$	61,69	60,07	60,94	62,69	66,82	64,48
	<i>s</i>	13,78	12,27	14,93	15,36	13,37	12,67

		Deutscheinsiedel		Oberlochmühle		Seiffen	
Faktor	Kennwert	<i>F</i>	Signifikanz ( $p < 0,05$ )	<i>F</i>	Signifikanz ( $p < 0,05$ )	<i>F</i>	Signifikanz ( $p < 0,05$ )
	Effekt	96,47 <sup>1</sup>	0,000*	146,26	0,000*	99,93 <sup>1</sup>	0,000*
Druck- behandlung	Kontrast linear	149,81	0,000*	267,32	0,000*	144,64	0,000*
	Kontrast quadratisch	2,35	0,133	2,77	0,103	4,38	0,043*
	SO <sub>2</sub> - Immissions- resistenz	Effekt	0,02	0,887	0,525	0,472	1,899
Druck- behandlung x SO <sub>2</sub> - Immissions- resistenz	Effekt	0,96 <sup>1</sup>	0,372	1,41	0,249	3,286 <sup>1</sup>	0,047*
	Kontrast linear	0,92	0,345	2,31	0,135	4,82	0,034*
	Kontrast quadratisch	1,05	0,312	0,34	0,565	0,009	0,923

N = Anzahl Zweigabschnitte

<sup>1</sup> $\epsilon$ -Korrektur nach *Huynh-Feldt*; Effekt: Einfluss des jeweiligen Faktors; Kontrast: Verlaufstyp aus Kontrasten berechnet.

Bei Berücksichtigung aller untersuchten Klone zeigt sich, dass den Ergebnissen der Herkunft *Seiffen* zwei Herkünfte ohne abgesicherten Effekt der SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz gegenüberstehen. Deshalb handelt es sich bei den vorgefundenen Effekten der SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz um einen Einzelfall. Es ist daher zu klären, ob sich entsprechende Effekte bei der Untersuchung weiterer Klone und Herkünfte bestätigen lassen.

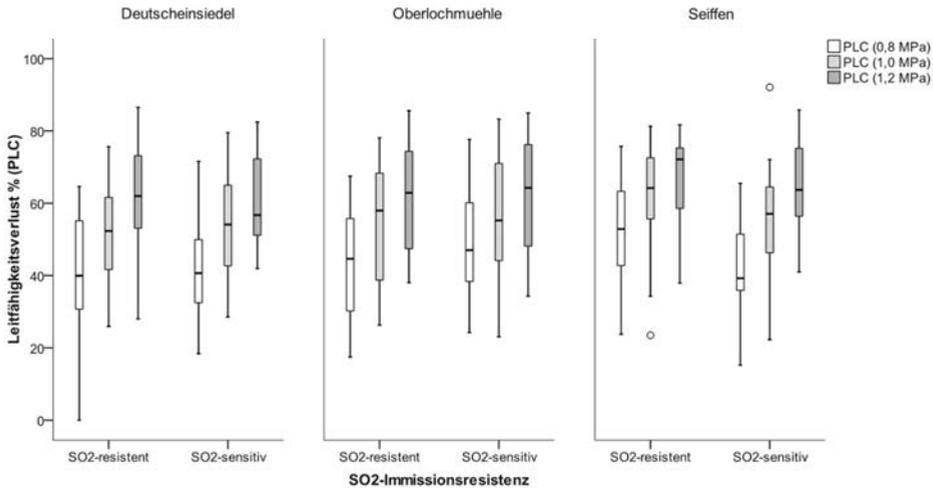


Abbildung 3: Boxplots des Leitfähigkeitsverlustes [%] (percentage loss of conductivity, PLC) von *Picea abies*-Klonen nach Druckstufen und SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz

Für *Picea rubra*, vorkommend im nordöstlichen Nordamerika, wurden 70 % Leitfähigkeitsverlust bei ca. 1,2 MPa im Druckkammer-Verfahren unter Verwendung einer wässrigen Oxalsäure-Kalziumchlorid-Lösung ermittelt (SPERRY u. TYREE 1990), der geringfügig über den hier vorliegenden Werten für *Picea abies* liegt. Im Vergleich dazu liegen die Werte für *Picea rubra* unter Verwendung von entmineralisiertem Wasser bei nur 10 % Leitfähigkeitsverlust. Werte von über 60 % Leitfähigkeitsverlust werden erst bei einem Wasserpotenzial von ca. 3,5 MPa erreicht (SPERRY u. TYREE 1990). Für *Picea abies* wird im Lufttrocknungsverfahren der Zweige ein Schwellenwert von ca. 3,0 MPa ermittelt, ab dem der Leitfähigkeitsverlust stark zunimmt (COCHARD 1992, MAYR et al. 2002, MAYR u. ROSNER 2010). Dabei werden für die Höhenlagen 800 m bzw. 1.300 m (Zentralalpen) 50 % Leitfähigkeitsverlust bei einem Wasserpotenzial von 3,39 MPa bzw. 3,56 MPa berechnet (MAYR et al. 2002). Die hier bei *Picea abies* vorgefundenen relativ hohen mittleren Werte von 40-60 % Leitfähigkeitsverlust bei dem vergleichsweise geringen Wasserpotenzial von 0,8-1,2 MPa können zu einem wesentlichen Teil mit der Methode der Druckbehandlung in Längsrichtung des Zweigabschnittes erklärt werden. Der relativ kurze Zeitraum zwischen Druckanwendung und nachfolgender Messung kann eine weitere Ursache für den höheren Leitfähigkeitsverlust sein.

Außerdem kann die Geschwindigkeit, mit der die Druckdifferenz zunimmt, einen Einfluss ausüben (SPERRY u. TYREE 1990). Ebenso wird vermutet, dass die Länge des Zeitraums zwischen Druckentlastung und nachfolgender Leitfähigkeitsmessung deren Stärke beeinflusst. Der signifikante Anstieg des Leitfähigkeitsverlustes aufgrund wiederholter Druckanwendung, der über Gruppen von *Picea abies* Klonen hinweg ähnlich verläuft, kann mit der Dysfunktion bereits einmal embolisierter Tracheiden erklärt werden (SPERRY u. TYREE 1990).

## 4 Resümee

Seit Beginn der Untersuchungen der hydraulischen Xylem-Leitfähigkeit und Simulation des Trockenstresses wurde der Verfahrensablauf laufend verbessert, sodass der Probendurchsatz für *Picea abies* Zweigabschnitte unter optimalen Bedingungen zwischenzeitlich von ca. 1,0 Stück/h auf ca. 1,5 Stück/h erhöht werden konnte. Dabei erwies sich das Druckkammer-Verfahren mit der Scholander-Druckpumpe gegenüber dem Lufttrocknungsverfahren als relativ schnelle Simulationsmethode (COCHARD 1992), die deshalb für hohe Probendurchsätze geeignet erscheint. Die Abhängigkeit der hydraulischen Xylem-Leitfähigkeit vom Zweigabschnittsdurchmesser wurde für *Picea abies* hinsichtlich ihrer arttypischen Eigenschaften im Wesentlichen bestätigt. Über aggregierte Nachkommenschaften betrachtet, traten keine signifikanten Unterschiede in der Leitfähigkeit zwischen den Gruppen der SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz auf. Nach Differenzierung der Nachkommenschaften in Herkünfte zeigte sich nur bei den Klonen aus Seiffen eine signifikant höhere Leitfähigkeit in der Gruppe *SO<sub>2</sub>-sensitiv* gegenüber der Gruppe *SO<sub>2</sub>-resistent*. Alle untersuchten Klone zeigen eine deutliche Zunahme des Leitfähigkeitsverlustes als Effekt der wiederholten und stufenweise erhöhten Druckanwendung als Simulation des Trockenstresses. Jedoch wurde überwiegend kein signifikanter Effekt der SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz auf den Leitfähigkeitsverlust nachgewiesen. Im Einzelfall liegt bei den Klonen aus Seiffen ein Wechselwirkungseffekt der SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz und der Druckbehandlung auf den Leitfähigkeitsverlust vor.

Die gefundenen Effekte bei den Klonen aus Seiffen deuten darauf hin, dass im Einzelfall Zusammenhänge zwischen SO<sub>2</sub>-Immissionsresistenz und der Leitfähigkeit bzw. dem Leitfähigkeitsverlust bestehen können. Die vorgefundene höhere Leitfähigkeit bzw. der geringere Leitfähigkeitsverlust der Gruppe *SO<sub>2</sub>-sensitiv* stellen vorläufige Ergebnisse dar, die noch keine Rückschlüsse auf die Stärke der Trockenstressresistenz der ausgewählten Klone zulassen. Hinzukommen Schwierigkeiten bei der Interpretation dieses indirekten Verfahrens zur Verifizierung der Trockenstressresistenz, da die Änderung der Leitfähigkeit unter anderem von Ablauf und Stärke der Photosynthese abhängig ist. Die erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass einerseits weitere Klone in die Untersuchung einbezogen und andererseits die Auswertung verstärkt interklonal erfolgen sollte. Die Verifizierung des erhaltenen Leitfähigkeitsverlustes bedarf der Ergänzung durch direkte Trockenstress-Unter-

suchungsmethoden, wie z. B. Gefäßversuche und die begleitende Messung von weiteren stressrelevanten Parametern, wie z. B. die Chlorophyll-Fluoreszenz.

Grundsätzlich ist zu klären, inwieweit die Reaktionsfähigkeit des Spaltöffnungsapparates, wie von BRAUN (1977) beschrieben, für den Zusammenhang zwischen Immissions-Resistenz und Trocken-Resistenz ursächlich ist. Den im Zusammenhang mit den Leitfähigkeitsuntersuchungen durchgeführten orientierenden Welketests, deren Daten sich zum Berichtszeitpunkt noch in der Auswertung befanden, kommt somit eine große Bedeutung bei.

## Literatur

- BRAUN, G. (1977): Über Ursachen der Immissionsresistenz bei Fichte und Folgerungen für die Resistenzzüchtung. Forstw. Cbl. 96, 62-67
- COCHARD, H. (1992): Vulnerability of several conifers to air embolism. Tree Physiology 11, 73-83
- COCHARD, H.; COLL, L.; LE ROUX, X.; AMÉGLIO, T. (2002): Unraveling the effects of plant hydraulics on stomatal conductance during water stress in walnut. Plant Physiology 128, 282-290
- GEMBALLA, R.; SCHLUTOW, A. (2007): Überarbeitung der Forstlichen Klimagliederung Sachsens. AFZ-Der Wald 62, S. 822
- GRUBER, F. (1999): Verzweigung, Benadelung und Nadelfall der Fichte (*Picea abies*). Springer Basel AG, 136 S.
- HARTMANN, K.-U.; SCHILDBACH, M.; WOLF, H. (2015): Trockenheits- und Frostresistenz – Untersuchungsmethoden und Ergebnisse. In: LIESEBACH, M. (Hrsg.): FastWOOD II: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus 6 Jahren FastWOOD. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 26, 140-156
- KLEIN, B. (1980): Zusammenhänge zwischen Immissions- und Trockenresistenz bei Fichte, *Picea abies* (L.) Karst. Eur. J. For. Path. 10, 186-190
- MAYR, S.; WOLFSCHWENGER, M.; BAUER, H. (2002): Winter-drought induced embolism in Norway spruce (*Picea abies*) at the Alpine timberline. Physiologia Plantarum 115, 74-80
- MAYR, S.; ROSNER, S. (2010): Cavitation in dehydrating xylem of *Picea abies*: energy properties of ultrasonic emissions reflect tracheid dimensions. Tree Physiology 31, 59-67
- RUST, S. (1999): Hydraulische Architektur und Wasserhaushalt von Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) mit begleitenden Untersuchungen an Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.), Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Balsampappelklonen. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung, Band 3, Brandenburgische Universität Cottbus
- SCHILDBACH, M.; WOLF, H.; HARTMANN, K.-U. (2012): Untersuchungen zur abiotischen Resistenz schnellwachsender Baumarten. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8, 237-256
- SCHOLANDER P. F.; HAMMEL H. T.; BRADSTREET E. D.; HEMMINGSEN E. A. (1965): Sap pressures in vascular plants. Science 148, 339-346
- SPERRY J. S.; TYREE M. T. (1988): Mechanism of Water Stress-Induced Xylem Embolism. Plant physiology 88, 581-587
- SPERRY J. S.; TYREE M. T. (1990): Water-stress-induced xylem embolism in three species of conifers. Plant, Cell and Environment 13, 427-436
- SPERRY J. S.; DONNELLY J. R.; TYREE M. T. (1988): A method for measuring hydraulic conductivity and embolism in xylem. Plant, Cell and Environment 11, 35-40

- TZSCHACKSCH, O. (1998): Wege und Irrwege der Immissionsresistenzzüchtung. In: PAUL, M. (Red.): Forstpflanzenzüchtung für Immissionsschadgebiete. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 13, 12-23
- TZSCHACKSCH, O. (2007): Fichten-Standortrassen mit hoher Trockenresistenz. AFZ-Der Wald 62, 928-931
- TZSCHACKSCH, O. (2012): Zusammenhang zwischen Immissions- und Trockenresistenz der Waldbäume. AFZ-Der Wald 67, 22-25
- WEIß, M. (1981): Schnellwüchsige, widerstandsfähige, insbesondere SO<sub>2</sub>-resistente Fichtensorten. Institut für Forstwissenschaften Eberswalde, Forschungsbericht, unveröffentlicht
- WEIß, M. (1994): 45 Jahre Forstpflanzenzüchtung in Graupa. In: SPANTIG, J.-U. (Red.): Forstpflanzenzüchtung – Quo vadis? Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 1, 13-32
- WOLF, H. (1998): Erste Ergebnisse der Prüfung feldresistenter Klone der Fichte - *Picea abies* (L.) Karst. – im Erzgebirge und im Thüringer Wald. In: PAUL, M. (Red.): Forstpflanzenzüchtung für Immissionsschadgebiete. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, Heft 13, 51-68
- WOLF, H. (2008): Rot-Buche – Plastizität im Klimawandel. AFZ-Der Wald 63, 1096-1099

Korrespondierender Autor:

André Zeibig

Staatsbetrieb Sachsenforst, Referat Forstgenetik, Forstpflanzenzüchtung

Bonnewitzer Str. 34

D-01796 Pirna

andre.zeibig@smul.sachsen.de

www.smul.sachsen.de

Dr. Heino Wolf

Staatsbetrieb Sachsenforst, Referat Forstgenetik, Forstpflanzenzüchtung



## Fazit und Schlusswort des Symposiums

Aus den vielen interessanten Vorträgen und Diskussionen des Symposiums lassen sich die gemeinsamen Interessen aller Beteiligten wie folgt zusammenfassen:

- Forstpflanzenzüchtung ist eine langfristige, kontinuierliche Angelegenheit und nicht nach einigen Jahren beendet. In Schweden z. B. begannen solche Aktivitäten bereits 1948, in Frankreich in den frühen 1950er-Jahren;
- Forstpflanzenzüchtung braucht klare Ziele und eine langfristig ausgerichtete Strategie;
- Forstpflanzenzüchtung braucht die Bündelung vieler gesellschaftlicher Kräfte, von denen hier drei wichtige Gruppen vertreten waren, nämlich politische Entscheidungsträger, Baumschulen als Produzenten der Züchtungsprodukte und Wissenschaftler, als die strategischen Vordenker und Entwickler dieser Produkte;
- Nachhaltige Züchtung ist nicht nur Leistungssteigerung, sondern auch Anpassungsstrategie und damit ein wichtiger Beitrag zur Bewältigung des Klimawandels.

Mit dem Projekt „FitForClim“ wurde in der Forstwirtschaft in Deutschland in puncto Züchtung einiges in Bewegung gebracht; es handelt sich hierbei jedoch nicht um Neuland. Eigentlich wird fortgesetzt, was die Vorgänger vor vielen Jahren begonnen und was vor ca. 30 Jahren, aus welchen Gründen auch immer, zum Stillstand gekommen ist.

Der Umfang der Vorträge zeigte, dass dieser „Neuanfang“ vielfältig und arbeitsintensiv ist. Er reicht von der Erarbeitung einheitlicher Kriterien zur Auslese von Plusbäumen, deren genauer Dokumentation in der eigens geschaffenen Projektdatenbank bis hin zur Sicherung des genetischen Potenzials dieser Bäume mittels vegetativer Vermehrung. Das Potenzial zahlreicher Feldversuche wurde

durch länderübergreifende Auswertungen mittels aktueller Klimadaten und statistischer Modelle neu belebt und deren Eignung für die Festlegung von Verwendungszonen geprüft. Gleichzeitig laufen Untersuchungen zur Optimierung der Ernte in Beständen für Douglasie und Eiche.

Die Projektpartner freuten sich, dass die Baumschulen das Projekt positiv sehen und hoffen, dass das Symposium mit seinen Vorträgen zu einem besseren Verständnis der Projekthinhalte beigetragen hat. Weitere Gespräche im Laufe der Projektentwicklung sind mit Sicherheit notwendig, um die zu erwartenden optimierten Züchtungsprodukte in die Praxis bringen zu können.

Abschließend ist festzustellen, dass Forstpflanzenzüchtung einen langen Atem, den Glauben an das eigene Tun und hohe Einsatzbereitschaft braucht. Diesen haben vor allem auch die jungen Kollegen durch ihre Vorträge, Poster und hier veröffentlichten Artikel bewiesen. Die Möglichkeit, durch das Projekt junge Wissenschaftler für das Thema Forstpflanzenzüchtung zu begeistern ist besonders hervorzuheben, da sich ohne geeignete und begeisterte menschliche Ressourcen keine Forstgenressourcen optimieren lassen.

Mit einem Rückgriff auf das Grußwort von Frau Steinhauser (Ministerialrätin am Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) hinsichtlich des finanziellen Rahmens des Projektes, wurde das Symposium mit den Worten: „Forstpflanzenzüchtung ist nicht zum Nulltarif zu haben, aber sie zahlt sich langfristig für alle aus, die Waldbesitzer, die Baumschulen und die Gesellschaft“, beendet.

Dr. Monika Konnert

(Leiterin Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht)

## **Danksagung**

Der ausdrückliche Dank aller Projektpartner geht an die Förderstellen BMEL (Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft) und BMUB (Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) sowie den Projektträger BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung). Durch deren großzügige Förderung aus dem Waldklimafonds wurde der dringend notwendige Neuanfang zur Optimierung des forstlichen Vermehrungsgutes in Deutschland ermöglicht.



## **Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt**

Band

- 1 (2007) **Clusterstudie Forst und Holz Niedersachsen.** Burkhard Rüter, Jan Hansen, Agatha Ludwig, Hermann Spellmann, Jürgen Nagel, Bernhard Möhring, Matthias Dieter. 92 S.
- 2 (2008) **Die Waldkiefer – Fachtagung zum Baum des Jahres 2007.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 98 S.
- 3 (2008) **Ergebnisse angewandter Forschung zur Buche.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 343 S.
- 4 (2008) **Ergebnisse des westdeutschen IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuches im Alter 27.** Hans-Martin Rau, Armin König, Wolfhard Ruetz, Hendrik Rumpf, Egbert Schönfelder. 62 S.
- 5 (2010) **Fichtenherkunftsversuch von 1962 und IUFRO-Fichtenherkunftsversuch von 1972. Ergebnisse von mehr als 30-jähriger Beobachtung in Deutschland.** Mirko Liesebach, Hans-Martin Rau, Armin O. König. 467 S.
- 6 (2011) **Kohlenstoffstudie Forst und Holz Niedersachsen.** René Würdehoff, Hermann Spellmann, Jan Evers, Jürgen Nagel. 92 S.
- 7 (2012) **Das digitale Luftbild. Ein Praxisleitfaden für Anwender im Forst- und Umweltbereich.** Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten (Hrsg.). 84 S.
- 8 (2012) **Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Erkenntnisse aus drei Jahren FastWood, ProLoc und Weidenzüchtung. Fachtagung vom 21. bis 22.09.2011 in Hann. Münden.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 430 S.
- 9 (2012) **SILVAQUA – Auswirkungen forstlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den Zustand von Gewässern in bewaldeten Einzugsgebieten am Beispiel der Oker im Nordharz.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 226 S.
- 10 (2013) **Waldentwicklungsszenarien für das Hessische Ried. Entscheidungsunterstützung vor dem Hintergrund sich beschleunigt ändernder Wasserhaushalts- und Klimabedingungen und den Anforderungen aus dem europäischen Schutzgebietssystem Natura 2000.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 397 S.

Band

- 11 (2014) **Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS – Anwendung und theoretische Grundlagen.** Jan Hansen, Jürgen Nagel. 224 S.
- 12 (2015) **Synopse der Hauptmerkmale der forstlichen Standortskartierungsverfahren der Nordwestdeutschen Bundesländer.** Wolfgang Schmidt, Volker Stüber, Thomas Ullrich, Uwe Paar, Jan Evers, Klaus Dammann, Thomas Hövelmann, Marcus Schmidt. 136 S.
- 13 (2015) **Pilotstudie zu den lokalen Auswirkungen des Klimawandels auf die Forstwirtschaft in ausgewählten Regionen Sachsen-Anhalts.** Stefan Fleck, Matthias Albert, Pavel Plašil, Ralf Nagel, Johannes Suttmöller, Bernd Ahrends, Matthias Schmidt, Jan Evers, Jan Hansen, Marc Overbeck, Wolfgang Schmidt, Hermann Spellmann, Henning Meesenburg. 221 S.
- 14 (2016) **Gefährdungen der Ökosystemdienstleistungen von Wäldern. Fachtagung vom 9. bis 10. Oktober 2014 in Göttingen.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 185 S.
- 15 (2016) **Waldbodenzustandserhebung für Hessen – Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II).** Uwe Paar, Jan Evers, Inge Dammann, Nils König, Andreas Schulze, Marcus Schmidt, Egbert Schönfelder, Birte Scheler, Thomas Ullrich, Johannes Eichhorn. 466 S.
- 16 (2017) **Hochwertiges Forstvermehrungsgut im Klimawandel. Symposium des Verbundprojektes FitForClim vom 14. bis 15. Juni 2016 in Chorin.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 147 S.

Alle Bände der „Beiträge der NW-FVA“ sind auch als freie Onlineversion über die Homepage der NW-FVA ([www.nw-fva.de](http://www.nw-fva.de)), des Verlags sowie über den Göttinger Universitätskatalog (GUK) bei der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen (<http://www.sub.uni-goettingen.de>) erreichbar. Es gelten die Lizenzbestimmungen der Onlineversion.

Forstpflanzenzüchtung nutzt verborgene genetische Potenziale, um die zukünftige Anpassungs- und Leistungsfähigkeit der Wälder zu erhalten. Auf der Tagung „Hochwertiges Forstvermehrungsgut im Klimawandel“ wurden insbesondere die Möglichkeiten der Forstpflanzenzüchtung im Hinblick auf sich ändernde klimatische Bedingungen und die Ausweisungsmöglichkeiten neuer Verwendungszonen für forstliches Vermehrungsgut diskutiert. In diesem Band werden ausgewählte Vorträge und Posterbeiträge der Tagung veröffentlicht. Der Band richtet sich insbesondere an Wissenschaftler und Praktiker aus den Bereichen Forstpflanzenzüchtung, Forstgenetik und Waldbau.



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT  
GÖTTINGEN

ISBN: 978-3-86395-319-5  
eISSN: 2512-594X

Universitätsdrucke Göttingen