



Rheinland-Pfalz

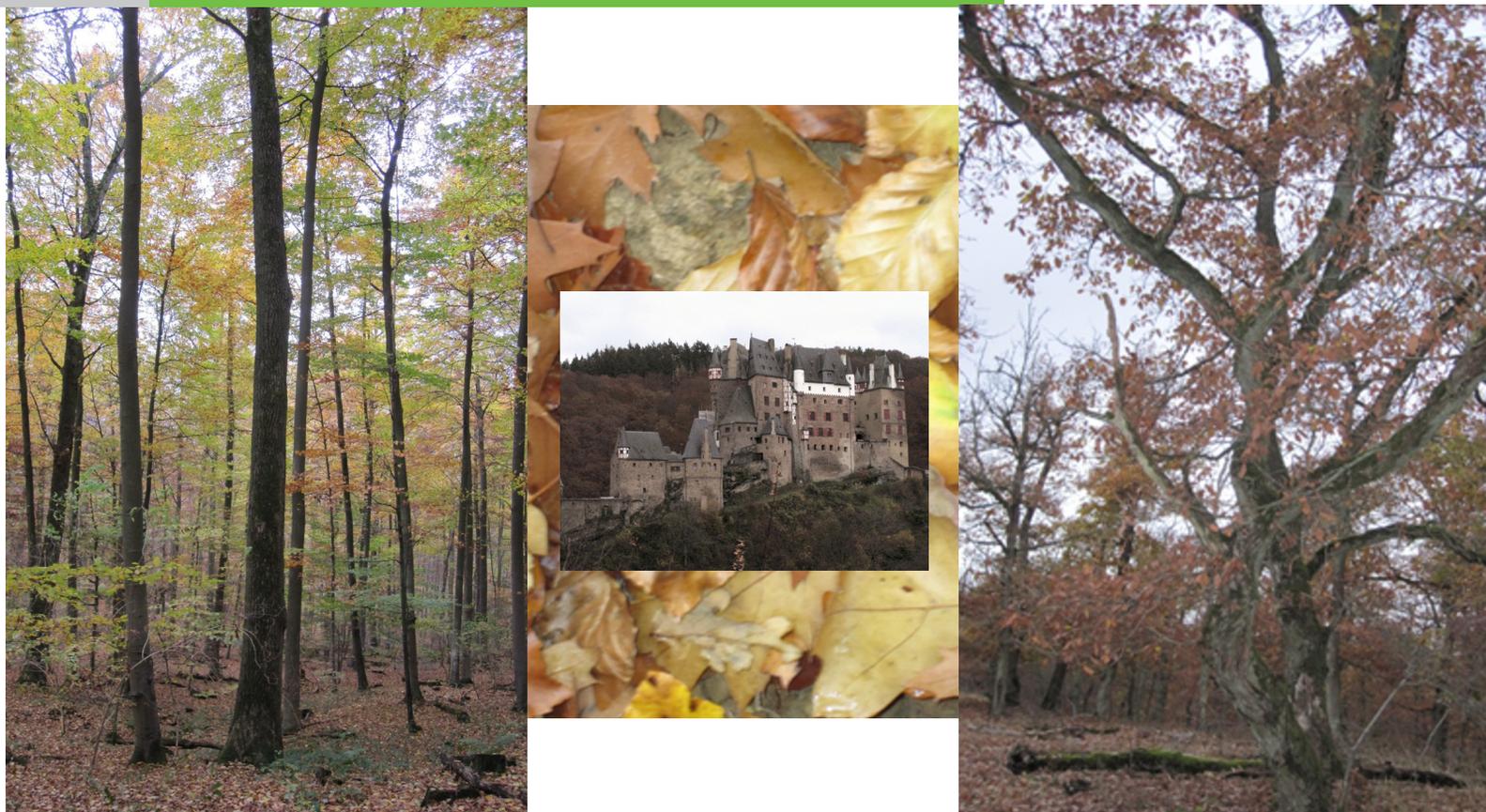
MINISTERIUM FÜR
UMWELT, LANDWIRTSCHAFT,
ERNÄHRUNG, WEINBAU
UND FORSTEN

*28. Internationale Tagung der Arbeitsgemeinschaft
(ARGE) für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung
am 4. - 6. November 2009 in Treis-Karden (Mosel)*

HOLZPRODUKTION AUF FORSTGENETISCHER GRUNDLAGE IM HINBLICK AUF KLIMAWANDEL UND ROHSTOFFVERKNAPPUNG

*The Production of Wood Based on Forest Genetic Aspects with Respect to Climate
Change and Shortage of Basic Materials*

Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Nr. 69/11



HERAUSGEBER: Werner D. Maurer und Bolko Haase

Bild auf der Titelseite:

Spätherbstlicher Aspekt von Hochwald mit Eiche und Buche (links) sowie Eichen-Niederwald (rechts) oberhalb des Moseltals im Forstamt Mayen, dazwischen die malerisch gelegene altherwürdige Burg Eltz

Picture on the cover:

Late autumnal aspect of mixed oak and beech high forest (left) and oak coppice (right) located above the Mosel River valley in the Forest District of Mayen, in the center the venerable picturesque Eltz Castle (Burg Eltz)

Impressum

Herausgeber:

Zentralstelle der Forstverwaltung
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
Hauptstraße 16
D-67705 Trippstadt
Telefon: +49-6306-911-0, Telefax: +49-6306-911-200
E-Mail: zdf.fawf@wald-rlp.de
Internet: www.fawf.wald-rlp.de

Verantwortlich:

Der Leiter der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz

Dokumentation:

Mitteilung FAWF, Trippstadt
Nr. 69/11, 238 Seiten

ISSN 0931-9662 Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Nr. 69 /11
zu beziehen über die Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Schloss, D- 67705 Trippstadt, Tel.: 0049-6306-911-0; Telefax: 0049-6306-911-200
E-Mail: zdf.fawf@wald-rlp.de

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten

Holzproduktion auf forstgenetischer Grundlage im Hinblick auf Klimawandel und Rohstoffverknappung

*Tagungsbericht zur 28. Internationalen Tagung
der Arbeitsgemeinschaft (ARGE) für
Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung mit Exkursion
am 4. - 6. November 2009
in Treis-Karden (Mosel)*

The Production of Wood Based on Forest Genetic Aspects with Respect to Climate Change and Shortage of Basic Materials

*Proceedings of the 28. International Symposium
of the Forest Genetics and Plant Breeding Working Group
incl. excursion on 4. - 6. November 2009
in Treis-Karden (Mosel), Germany*

INHALTSVERZEICHNIS / CONTENTS

Seite/Page

Inhaltsverzeichnis / <i>Table of Contents</i>	i - iii
Vorwort / <i>Preface</i>	iv - v
Die Tagungsbeiträge im Überblick / <i>Overview of the Contributions</i>	vi- viii

ÜBERSICHTSREFERATE / KEYNOTE LECTURES

PROF. DR. FRIEDRICH-WILHELM GERSTENGARBE, PIK POTSDAM

Anmerkungen zur Klimadiskussion - Fakten und Argumente	1
<i>Some remarks on the climate discussion</i>	

PROF. DR. HERMANN SPELLMANN, NW-FVA GÖTTINGEN

Sicherung einer nachhaltigen Rohholzversorgung in Deutschland.....	8
<i>Securing sustainable raw wood supply in Germany</i>	

DR. ALWIN JANSSEN, NW-FVA HANN. MÜNDEN*)

Forstpflanzenzüchtung - Situationsanalyse angesichts Rohstoffverknappung und Klimawandel.....	25
<i>Forest tree breeding - Situation analysis in view of shortage of raw material and climate change</i>	

PRIV. DOZ. DR. MATTHIAS FLADUNG, VTI GROSSHANSDORF

Gentechnik und Produktion nachwachsender Rohstoffe im Hinblick auf den Klimawandel.....	43
<i>Genetic engineering and production of renewable resources in view of the climate change</i>	

BLOCK 1: KLIMAWANDEL UND HERKUNFTSWAHL / CLIMATE CHANGE AND PROVENANCE CHOICE

PROF. DR. SVEN WAGNER, TU DRESDEN:

Anpassungsstrategien für den Klimawandel - Waldbauliche Überlegungen.....	55
<i>Adaption strategies in view of climate change - Silvicultural considerations</i>	

DR. EVA CREMER, ASP TEISENDORF*):

Herkunftswahl im Klimawandel - Forstgenetische Erkenntnisse als Entscheidungshilfe.....	60
<i>Choice of provenances in climate change - Forest genetic knowledge for decision support</i>	

DR. HEINO WOLF, SACHSENFORST PIRNA:

Austrieb und Trockentoleranz von Rotbuchen-Herkünften (<i>Fagus sylvatica</i> L.) unter sich ändernden Klimabedingungen	64
<i>Flushing and drought tolerance of common beech (<i>Fagus sylvatica</i> L.) provenances in changing climate</i>	

DR. MIRKO LIESEBACH, VTI GROSSHANSDORF*):

Klima-Wachstums-Beziehungen von Rotbuchen-Herkünften (<i>Fagus sylvatica</i> L.) im Vergleich.....	79
<i>Comparison of climate-growth relations in beech (<i>Fagus sylvatica</i> L.) provenances</i>	

FD HANS-MARTIN RAU, NW-FVA HANN. MÜNDEN:

Leistungen und Qualitätseigenschaften von nordwestdeutschen Kiefernbeständen (<i>Pinus sylvestris</i> L.).....	92
<i>Growth and quality performance of northwest German stands of Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.)</i>	

BLOCK 2: SCHNELLWACHSENDE BAUMARTEN / FAST GROWING TREE SPECIES

DR. ALWIN JANSSEN, NW-FVA HANN. MÜNDEN*):

Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion von Biomasse auf Kurzumtriebsplantagen 107
Breeding of fast growing tree species for biomass production in short rotation coppices

DR. HEIKE LIESEBACH, VTI WALDSIEVERS DORF*):

Klonidentifizierung in der Gattung *Populus* mit nuklearen Mikrosatelliten-Markern 115
Clone identification within the genus Populus by applying nuclear microsatellite markers

FOR RANDOLF SCHIRMER, ASP TEISENDORF:

Sortenprüfung von Pappelklonen - Voraussetzung für einen erfolgreichen Energieholzanbau 123
Testing of cultivars of poplar (Populus spec.) clones - Qualifications required for successfully cultivating short rotation energy wood

DR. KARL GEBHARDT, NW-FVA HANN. MÜNDEN*):

Züchterische Verbesserung von Weidensorten für den Kurzumtrieb..... 130
Genetic improvement of willow varieties for use in short rotation forestry

BLOCK 3: ZÜCHTUNG / TREE BREEDING

DR. FINNVID PRESCHER, SVENSKA SKOGSPLANTOR LAGAN:

Erhöhung der forstlichen Produktion in Schweden durch Forstpflanzenzüchtung 139
Increment of forest production by means of forest genetics in Sweden

VOLKER SCHNECK, VTI WALDSIEVERS DORF:

Züchtung von Hybrid-Lärche in Deutschland - Ein Beispiel für erfolgreiche Forstpflanzenzüchtung? 149
Breeding of hybrid larch in Germany - An example of successful improvement by breeding in forestry?

*) genannt ist hier die vortragende Referentin bzw. der vortragende Referent; bei den jeweiligen Beiträgen (Seite 115 ff.) sind alle beteiligten Autorinnen /Autoren detailliert angeführt.

KURZFASSUNGEN DER POSTERBEITRÄGE / EXHIBITED POSTERS - SHORT PRESENTATIONS

M. BACHMANN & M. KONNERT:

Mit dem Dreifach-Filter zur passenden Gastbaumart 158
Applying the three-fold filter for finding the proper foreign guest tree species

N. FRISCHBIER, I. PROFFT & W. ARENHÖVEL:

Anpassung der Thüringer Baumartenempfehlungen an den Klimawandel 161
In view of the climate change adaptation of the recommendations for the tree species in Thuringia

B. HAASE, W. D. MAURER, B. VORNAM, O. GAILING, R. FINKELDEY & L. LEINEMANN:

Untersuchung genetischer Variation im Hinblick auf Anpassungsvorgänge entlang eines
Umweltgradienten in einem Eichen-Niederwaldvorkommen in Rheinland-Pfalz 166
*A study on genetic variation in view of adaptation processes along an environmental
gradient in an oak coppice population in Rhineland-Palatinate (Germany)*

W.D. MAURER, B. HOSIUS, L. LEINEMANN, P. LEMMEN & B. HAASE:

Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) in Rheinland-Pfalz: Rassenidentifizierung von Vorkommen
und genetische Bestandescharakterisierung mit Isoenzym-Genmarkern 170
*Douglas-fir (Pseudotsuga menziesii) in Rhineland-Palatinate (Germany): Variety
identification and genetic characterization of stands by applying isozyme gene markers*

M. MENGL:

Genetische Variation der Resistenz von Weisstannen gegenüber der Gefährlichen
Weisstannentrieblaus? 174
Is there any resistance of silver fir against the silver fir woolly aphid Dreyfusia nordmanniana?

H. SCHRÖDER & M. FLADUNG:

Art- und Hybrid-Identifizierung innerhalb der Gattung *Populus* mit Hilfe von SNP-Markern 180
Identification of species and hybrids within the genus Populus using SNP-markers

I. WAGNER:

Bestimmen von Kulturferne bei Wildobst - Beispiel *Malus sylvestris* (L.) Mill. 187
Assessing the distance to cultivation affinity in wild fruit - Example Malus sylvestris (L.) Mill.

CH. WEHENKEL, J.J. CORRAL-RIVAS & J.C. HERNÁNDEZ-DÍAZ:

Der Zusammenhang zwischen der genetischen Diversität und der Sekundärsukzession
in charakteristischen Waldgesellschaften Thüringens 196
*Genetic diversity and its relationship with secondary succession of forest
tree communities in Thuringia (Germany)*

CH. WEHENKEL, J.J. CORRAL-RIVAS, R. SOLÍS-MORENO, F. SOLÍS-MORENO & F. CURZ-COBOS:

Eine alternative Methode zur Messung von Habitatfragmentierung durch Analyse
der genetischen Diversität und Struktur: Eine Fallstudie mit *Fagus sylvatica* L. 200
*An alternative method of assessing habitat fragmentation by analysis of genetic
diversity and structure: A case study with Fagus sylvatica L*

L. WEISSENBACHER:

Die Vogelkirsche im Fokus der Herkunftsforschung: Erste Ergebnisse aus Österreich 205
Wild cherry (Prunus Avium) in the focus of provenance research: First results from Austria

Exkursionsführer / Excursion Guide 214

Autorenverzeichnis / List of Authors 221

Mitteilungen aus der FAWF 224

VORWORT / PREFACE

Nach der Phase der so genannten „neuartigen Waldschäden“ der 1970er und 1980er Jahre, in der das Wald-ökosystem mit seinen vielfältigen Wirkungen und Leistungen insbesondere dem Phänomen der atmosphärischen Schadstoffe ausgesetzt war und nachweislich vielerorts in seiner Vitalität deutlich gelitten hat (Schlagwörter „Waldsterben“ und „Saurer Regen“), wirkt gegenwärtig zudem der auch in unseren Breiten bemerkbar eingesetzte globale Klimawandel auf den Wald ein.

Mit welchen Folgen hierbei zu rechnen ist, ist letztendlich in keinster Weise eindeutig abzuschätzen. Lediglich Szenarien geben hierzu mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten ansatzweise Auskunft beispielsweise darüber, welche derzeit bei uns die den heimischen Wald ausmachenden Baumarten als nicht gefährdet erscheinen, diese teilweise oder gar ganz verschwinden werden - und damit auch das **unwiederbringliche Potenzial an forstgenetischen Ressourcen** - oder welche nicht heimische Baumarten gegebenenfalls die verloren gegangenen Baumarten ersetzen können.

Unter diesen sich ändernden Umweltbedingungen kommt der **Forstgenetik** gerade zum jetzigen Zeitpunkt eine ganz wesentliche Rolle zu. Mit der **Umsetzung des nationalen Genressourcen-Programms** in den zurückliegenden drei Jahrzehnten wurden entscheidende, wissenschaftlich fundierte Maßnahmen für die forstliche Praxis erarbeitet und durchgeführt, die für den Wald der Zukunft von lebensnotwendigem Interesse sind. So ermöglicht beispielsweise ein von einer genetischen Expertengruppe erstellter Methodenkatalog eine quantitative Aussage über die vorhandene genetische Vielfalt in den heute existierenden Wäldern. Auch kann nun Saatgut diesbezüglich genetisch identifiziert werden wie auch die genetische Begleitung der Herkunftsforschung von allergrößter Bedeutung für die entsprechende Aussagerelevanz ist.

Und last but not least hat die Forstgenetik auch europaweit Einzug in die Waldbewirtschaftung gehalten, wie dies ganz deutlich durch die Etablierung des „**Forest Management Networks**“ durch das „**European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN)**“, erstmals durchgeführt im Jahr 2005 in Lambrecht/Pfalz, zum Ausdruck kommt. Seither erarbeiten hierbei Wissenschaftler und Praktiker aus der Forstgenetik und dem Waldbau einvernehmliche Strategien für die Erhaltung und Nutzung der forstgenetischen Ressourcen als Teil einer nachhaltigen und zukunftsorientierten Waldbewirtschaftung und der ungestörten Erhaltung der Biodiversität. Zu diesen Aspekten gehört prioritär die Erzeugung des nachwachsenden Rohstoffs Holz mit seinen vielgestaltigen stofflichen und energetischen Verwendungsmöglichkeiten.

Um eine aktuelle Übersicht über den derzeitigen Stand der Forstpraxis hinsichtlich waldbaulicher Aktivitäten mit Blick auf die zukünftige Nutzung des Waldes zu gewinnen wie auch relevante Aktivitäten der Forstgenetik einzuschätzen und solchermaßen „gebündeltes Wissen“ zur zielorientierten Umsetzung für den Wald der Zukunft zu generieren, wurde bei der Tagung der **Länderinstitutionen für Forstpflanzenzüchtung** im November 2008 an der NW-FVA in Hann. Münden beschlossen, dass das Land Rheinland-Pfalz mit der FAWF Trippstadt im Folgejahr die **Fachveranstaltung „Holzproduktion auf forstgenetischer Grundlage im Hinblick auf Klimawandel und Rohstoffverknappung“** einschließlich Exkursion durchführt. Als Austragungsort wurde Treis-Karden an der Mosel zum Termin 4. bis 6 November 2009 festgelegt.

Zu Beginn dieser Fachtagung begrüßte **Dr. Jens Jacob**, Leiter des Landesbetriebs Forsten sowie der Forstabteilung des damaligen rheinland-pfälzischen Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz, heute Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten in Mainz die Tagungsteilnehmerinnen und -teilnehmer.

So hatte die Veranstaltung denn auch echten internationalen Charakter: unter den rund 80 teilnehmenden Experten aus Forstgenetik und Waldbau waren neben den deutschen Kolleginnen und Kollegen aus Forschung und Praxis auch solche aus Österreich, Schweden, Ungarn, dem Großherzogtum Luxemburg, der Schweiz und der Tschechischen Republik und gar auch aus Mexiko angereist.

Der vorliegende Mitteilungsband Nr. 69/11 aus der FAWF Rheinland-Pfalz gibt die Inhalte der im Einzelnen gehaltenen **Fachvorträge** wieder, wie er auch die ausgestellten **Poster** in Form von Kurzbeiträgen beinhaltet. Zudem ist der Exkursionsführer für die halbtägige **Exkursion in die Wälder des Grafen von und zu Eltz** mit einem kurzen historischen Abriss zur Burg Eltz eingebracht.

Die dreitägige Fachveranstaltung hatte fachlich wie auch kollegial-zwischenmenschlich einen mehr als angenehmen und erfolgreichen Verlauf. Dazu trug an vorderster Stelle das besondere gastliche Ambiente des Schloss-Hotels Petry in Treis-Karden mit seinem stets freundlichen Personal bei. Zum anderen natürlich aber auch in gleicher Weise alle Kolleginnen und Kollegen, die an diesem wichtigen Fachsymposium zur Zukunft unserer Wälder unter sich verändernden Klimabedingungen teilgenommen haben. Sie haben dieses mit ihren Beiträgen an Referaten und Postern, aber auch mit ihren anregenden Fragen und fachlich kompeteten Antworten bei den immer lehrreichen Diskussionsrunden bereichert.

Hierfür bedanken wir uns ganz herzlich.

Die Herausgeber / Verfasser des Tagungsbands Dr. Werner D. Maurer und Bolko Haase

DIE TAGUNGSBEITRÄGE IM ÜBERBLICK / OVERVIEW OF THE CONTRIBUTIONS

VORTRAGSTEIL:

Dieser wurde am Vormittag des ersten Tagungstags mit vier Übersichtsreferaten eingeleitet. So verdeutlichte **Prof. Dr. Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe** von PIK Potsdam anhand von eindeutigen Datenmaterial, dass ein deutlicher Klimawandel nicht nur ansteht, sondern bereits angekommen ist – insbesondere der letzte Sachstandsbericht des IPCC spiegelt untrüglich die globale Erwärmung wider.

Prof. Dr. Hermann Spellmann von der NW-FVA in Göttingen belegt in seinem Vortrag, dass Deutschland eine leistungsfähige Forstwirtschaft mit seinem einheimischen Rohholzpotenzial besitzt, dass es allerdings einige Engpässe bei der Versorgung gibt. Dennoch wird ein Waldbau auf ökologischer Grundlage auch in Zukunft durchgeführt werden wie auch eine Übernutzung von Beständen ausgeschlossen werden kann. Mit entsprechenden Maßnahmen erscheint sogar eine nachhaltige Steigerung des Rohholzangebots möglich.

Eine aktuelle Situationsanalyse die Forstpflanzenzüchtung in Deutschland betreffend gibt **Dr. Alwin Jansen** von der NW-FVA in Hann. Münden. Er und seine Mitautoren fordern, dass endlich eine einheitliche Züchtungsstrategie aufgestellt wird. Während andernorts auf internationaler Ebene erfolgreich Züchtungsprogramme insbesondere für die Versorgung von Holz-, Zellulose- und anderen Rohprodukten hinsichtlich Qualitätsverbesserung, Ertragssteigerung, Umweltschadstofftoleranz und Krankheitsresistenz bereits durchgeführt werden, gibt es in Deutschland ein großes Defizit, da soweit nur Teilbereiche der Züchtung bearbeitet werden – es besteht hier also zwingender Handlungsbedarf!

Priv. Doz. Dr. Matthias Fladung vom vTI-Institut für Forstgenetik in Großhansdorf will in seinem Beitrag gewissermaßen die Angst vor gentechnisch veränderten Organismen (GVO) nehmen. Er zeigt Möglichkeiten auf, wie in abgeschlossenen, gesicherten Baumplantagen, nicht aber im eigentlichen Wald, so genannte GV-Bäume durchaus von Bedeutung hinsichtlich reduziertem Ligningehalt, Toleranzen gegen anaerobe Bedingungen und Austrocknung wie auch gegen erhöhte Temperaturen sein können. Die Verwendung solcher gentechnisch veränderten Bäume darf aber erst nach umfangreicher Sicherheitsbeurteilung erfolgen.

Die nachfolgenden Fachbeiträge sind entsprechend ihrer Inhalte blockweise gegliedert: **Block 1 „Klimawandel und Herkunftswahl“** mit fünf Referaten; **Block 2 „Schnellwachsende Baumarten“** mit vier und **Block 3 „Züchtung“** mit zwei Vorträgen.

In **Block 1 „Klimawandel und Herkunftswahl“** stellt **Prof. Dr. Sven Wagner** von der TU Dresden in seinem Beitrag waldbauliche Überlegungen zu Anpassungsstrategien zum Klimawandel an. Er diskutiert aus waldbaulicher Sicht einen Funktionsumbau und einen Nachhaltigkeitsumbau des Waldes auf der Grundlage einer dynamischen Überführungsstrategie. Hierbei sollen u.a. Trupp- und Gruppenmischungen heimischer Pionierbaumarten, aber auch Herkunftsmischungen wie von Buche eine wichtige Rolle zukommen.

Dr. Eva Cremer referiert mit konkreten Beispielen von Tanne, Douglasie und Buche, wie mittels Feldversuchen, Frühtests und genetischen Analysen als Entscheidungshilfen Erntebestände ausgewählt und Herkunftsempfehlungen erstellt werden können und so mit Blick auf den Klimawandel bei waldbaulichen Maßnahmen gerüstet zu sein.

Das ökologisch orientierte Waldumbauprogramm in Sachsen mit der Buche als führende Baumart muss wegen der sich ändernden Klimabedingungen überdacht werden, so **Dr. Heino Wolf** vom Staatsbetrieb Sachsenforst in Pirna. Daher spielen Herkunftsuntersuchungen an dieser Baumart insbesondere hinsichtlich Austriebsverhalten und die Auswirkungen von Trockenheit eine maßgebliche Rolle, um zukünftig standortgerechtes Pflanzenmaterial einsetzen zu können.

Ebenfalls Provenienzuntersuchungen werden von **Dr. Mirko Liesebach** an Buche angestellt, wobei Klima-Wachstumsbeziehungen auf drei Flächen, je eine im Norden und Osten Deutschlands sowie eine in Niederösterreich, vergleichend analysiert werden. Während sich die Herkünfte aus dem Zentrum des Buchenverbreitungsgebiets eher klimaneutral verhalten, scheinen die Provenienzen aus dem östlichen Teil des Verbreitungsgebiets unterschiedlich zu reagieren.

Die Leistungen und Qualitätseigenschaften von nordwestdeutschen Kiefernbeständen analysiert **FD Hans-Martin Rau** von der NW-FVA Hann. Münden. Seine wesentliche Aussage auf Basis des Untersuchungsergebnisses ist, dass nur einige wenige Bestände für die Zulassung in die Kategorie „geprüft“ in Frage kommen. Zum anderen sollten einige bereits zugelassene Bestände wegen deutlich mangelhafter Eigenschaften wieder aus dem Zulassungsregister entfernt werden. Zudem erscheint die Festlegung eines neuen, für forstliches Vermehrungsgut (gemäß FoVG) vom gemeinsamen Gutachterausschuss ausgewiesenen Standardbestands erforderlich.

Einleitend in **Block 2 „Schnellwachsende Baumarten“** stellt **Dr. Alwin Janßen** das deutschlandweit durchgeführte Verbundprojekt FastWOOD im Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ vor. Dieses hat die Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb, aber auch dem damit verbundenen zeitlichen Aufwand zum Inhalt. Betroffen sind Pappel- und Weidearten, von denen gezielt neue Klone gezüchtet und einer Prüfung auf Leistung und Resistenzeigenschaften unterzogen werden.

Wesentlich für die Charakterisierung von Klonen ist deren Identifizierung mittels selektiver Genmarker. Verschiedene DNA-Marker setzt diesbezüglich **Dr. Heike Hertel** von vTI-Institut für Genetik in Großhansdorf bei verschiedenen Pappelarten und –hybriden ein. So konnten u.a. eine eindeutige Klonunterscheidung vorgenommen werden, wie auch mehrfach vorhandene fragliche Klone ordnungsgemäß benannt werden konnten.

FOR Randolph Schirmer vom ASP Teisendorf stellt Methoden der Sortenprüfung bei Pappelklonen vor, um damit die Voraussetzungen für Sortenzulassungen und –empfehlungen nach dem FoVG zu schaffen. Er weist nachdrücklich darauf hin, dass beim Anbau von Energiewäldern vorerst in Deutschland geprüfte Klone eingesetzt werden sollten, um das Betriebsrisiko niedrig zu halten. Eine Erweiterung des Angebotsspektrums durch solchermaßen geprüfte ausländische Klone ist zukünftig zu erwarten.

Dr. Karl Gebhardt von der NW-FVA in Hann. Münden präsentiert die Ergebnisse der züchterischen Verbesserung von Weidensorten für den Kurzumtrieb. Optimale Keimungsbedingungen und Lagerungsmöglichkeiten werden erzielt. Ziel ist die Massenvermehrung für den Anbau im Kurzumtrieb.

In **Block 3 „Züchtung“** stellt **Dr. Finnvid Prescher** von der schwedischen Samenplantage im südschwedischen Lagan einen historischen Abriss der Entwicklung der Forstpflanzenzüchtung in Schweden und ihren derzeitigen Stand vor. Eine Erhöhung der forstlichen Produktion von Holz und dessen Vermarktung erscheint wichtig. Grundsätzlich gilt auch hier, dem Klimawandel durch Züchtung von angepasstem Vermehrungsgut gezielt entgegenzuwirken, dies vor allem aber auch, um diesbezüglich deutlich erkennbare Mängel am jetzigen Stand der Züchtungsmaßnahmen abzustellen.

Volker Schneck vom vTI-Institut für Genetik in Waldsiefersdorf stellt zum Abschluss aller 15 Vorträge in seinem Beitrag die Frage, inwieweit die Züchtung von Hybrid-Lärche in Deutschland als Beispiel für erfolgreiche Forstpflanzenzüchtung gelten kann. Lärchen-Hybridzüchtung erfolgt zwar seit geraumer Zeit, doch wird das Pflanzenmaterial von der Praxis nicht wesentlich nachgefragt – bei Lärche ist ein erhebliches Defizit als Baum in deutschen Wäldern vorhanden, dies auch gerade deshalb, weil die Züchtung hierbei nahezu zum Erliegen gekommen ist.

POSTERAUSSTELLUNG:

Die Fachtagung begleitend wurden zehn **Poster** ausgestellt. Wenngleich diese auf den Seiten 159 - 214 „nur“ in Kurzform dargestellt sind, sind sie doch als gleichwertig mit den vorne im vorliegenden FAWF-Mitteilungsband Nr. 69/11 angeführten Vortragsbeiträgen zu sehen. Auf die Seitengröße dieses Bandes verkleinert, sind die mit viel Liebe und Mühe und großer Aussagekraft hergestellten Poster zu Beginn eines jeweiligen Beitrags aufgenommen. Trotz aller bei uns möglichen „Gestaltungstricks“ konnte nur die gegebene Qualität mit der bei einigen Postern geminderter Lesequalität erreicht werden. Wir bitten dies zu entschuldigen. Dennoch sind diese Beiträge jederzeit zitierfähig.

EXKURSIONSTEIL:

Mit der zwischen den Vorträgen durchgeführten Exkursion in die Privatwaldungen des Grafen von und zu Eltz, Führung durch **Herrn Max Merrem**, wird mit der Thematik „*Besondere Eichen an einem besonderen Standort – eine Perspektive angesichts des Klimawandels?*“ gewissermaßen „vor Ort“ Bezug auf die Forstpraxis genommen. Hier steht insbesondere die Frage an, wann und wie dynamisch mit welchen waldbaulichen Eingriffen in die derzeitigen Bestände hinsichtlich eines Umbaus eingegriffen werden kann bzw. muss (Exkursionsführer, siehe S. 215-221). Auch für den nachfolgenden Besuch mit Führung in der Burg Eltz gilt unser Dank insbesondere **Herrn Merrem**, dem zuständigen forstlichen Betreuer für diesen Privatwaldbereich in der Eifel.

ANMERKUNGEN ZUR KLIMADISKUSSION

SOME REMARKS ON THE CLIMATE DISCUSSION

F.-W. Gerstengarbe

Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK), D-14412 Potsdam

ABSTRACT

The increasing significance of the greenhouse effect and its impact on the global climate and the human society are reviewed. Pros and cons concerning global warming as well as the anthropogenic contributory negligence are profoundly discussed. The importance of IPCC studies is elucidated.

Keywords: climate discussion, greenhouse effect, global warming, IPCC

ZUSAMMENFASSUNG

In einem chronologischen Rückblick werden die zunehmende Bedeutung des Treibhauseffekts und dessen Auswirkungen auf das Weltklima und die menschliche Gesellschaft dargestellt. Pros und Contras zur globalen Erwärmung werden diskutiert wie auch die Mitverursachung durch den Menschen sachlich fundiert dargelegt. Die Bedeutung der IPCC-Studien wird erläutert.

Schlagwörter: Klimadiskussion, Treibhauseffekt, globale Erwärmung, IPCC

1 CHRONOLOGISCHER RÜCKBLICK

Es ist jetzt 185 Jahre her, seitdem der natürliche Treibhauseffekt das erste Mal beschrieben wurde und zwar vom Franzosen JEAN-BAPTISTE FOURIER. Damals war dies kein Thema, das die Öffentlichkeit interessierte. Auch als der Schwede SVANTE ARRHENIUS (1859-1927) nachwies, dass das CO₂ einen Beitrag zum natürlichen Treibhauseffekt liefert, war das wissenschaftlich zwar interessant, aber mehr nicht. Erst Mitte der 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde CO₂ ein Thema. Warum? Wissenschaftler konnten das erste Mal an Hand von aktuellen Messungen auf dem Mauna Loa (Hawaii) nachweisen, dass die Konzentration dieses Gases in der Atmosphäre anstieg. Beunruhigt hat das zu diesem Zeitpunkt aber auch noch keinen.

Mitte der 1970er Jahre hatte dann der Schweizer HANS OESCHGER eine geniale Idee. Er untersuchte die Lufteinschlüsse im tief gelegenen Eis von Grönland und stellte fest, dass die CO₂-Konzentration während der letzten Eiszeit um ca. 50 % niedriger lag als heutzutage. Die Schlussfolgerung daraus war, dass CO₂ ein starkes Treibhausgas sein musste. Das Thema wurde interessant für die Wissenschaft, und als Konsequenz daraus wurde 1979 das erste Welt-Klima-Forschungsprogramm ins Leben gerufen.

Die anfangs nur vorsichtig geäußerte Hypothese, dass der zu beobachtende rasche Anstieg des CO₂ zu einer deutlichen Erwärmung der Atmosphäre führen könnte, wurde durch mehr und mehr wissenschaftliche Arbeiten belegt. Dies rief die Meteorologische Weltorganisation und die UN auf den Plan. Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wurde gegründet – ein unabhängiger Zusammenschluss aller führenden Klimaforscher der Welt. Man wollte wissen, mit welchen Konsequenzen zu rechnen sei, wenn die Entwicklung sich wie beobachtet fortsetzt.

1990 erschien dann deren erster Sachstandsbericht, der auf mögliche Schäden infolge von Klimaänderungen hinwies. Daraufhin wurde 1992 auf dem ersten „Klimagipfel“ in Rio de Janeiro die Klimakonvention zur Verhinderung von Schäden verabschiedet. Der zweite IPCC-Bericht (1995) brachte erste Hinweise auf den Einfluss des Menschen beim Anstieg des CO₂. Die Konsequenz daraus war die

Verabschiedung des „Kyoto-Protokolls“ 1997, in dem sich die Unterzeichnerstaaten erstmals zu einer CO₂-Reduktion, wenn auch auf geringem Niveau, verpflichteten. Der folgende IPCC-Bericht in 2001 wies nach, dass der Mensch mit hoher Wahrscheinlichkeit Verursacher der globalen Erwärmung der letzten 100 Jahre ist.

Im Jahr 2005 trat dann das „Kyoto-Protokoll“ in Kraft, welches erstmals völkerrechtlich verbindliche Zielwerte für den Ausstoß von Treibhausgasen in den Industrieländern festlegte. 2007 erschien der bisher letzte Bericht des IPCC mit deutlichen Hinweisen auf die Gefahren, die eine weitere globale Erwärmung mit sich bringen wird. Die Klimakonferenz in Bali, die im gleichen Jahr stattfand, brachte einen Konsens unter allen Teilnehmerstaaten: Die globale Erwärmung muss vermindert werden. Als Ziel wird das Nicht-Überschreiten der 2 °C-Grenze globaler Erwärmung ausgegeben. Damit ist die Klimaänderung als Problem von gesellschaftlicher Bedeutung erkannt worden.

Diese Erkenntnis geht einher mit dem nachweislich verstärkten Auftreten klimatisch bedingter Extremereignisse, einem Vorgang, der von den Klimaforschern im Rahmen der ablaufenden Entwicklung auch erwartet wurde. Die Wissenschaft stellt fest, dass die anthropogen bedingte Verstärkung des natürlichen Treibhauseffektes die wahrscheinlichste Ursache für die globale Erwärmung darstellt. Man beginnt, Handlungsstrategien zu entwickeln. Diese können einmal darauf gerichtet sein, die aktuelle Entwicklung zu stoppen, also CO₂-Emissionen zu verhindern oder wenigstens einzuschränken, oder aber darauf, sich den verändernden Bedingungen anzupassen. Bei beiden Optionen ist mit drastischen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Konsequenzen zu rechnen.

2 ARGUMENTATION PRO UND CONTRA

Damit ist der Zeitpunkt für das Auftreten der Kritiker des allgemeinen Konsens' gekommen: Sogenannte „Klimaskeptiker“ versuchen Gegenargumente in Politik und Gesellschaft zu etablieren. Dabei rekrutiert sich die Gruppe der „Klimaskeptiker“ im Wesentlichen aus den Verlierern bei der Durchsetzung von Klimaschutzmaßnahmen wie zum Beispiel die Erdöl- und Kohleindustrie oder

auch die Automobilindustrie. Verstärkt wird diese Gruppe von einer Reihe anderer Gruppierungen mit den unterschiedlichsten Interessen und Kritikansätzen.

Einige ihrer wichtigsten Argumente sollen im Folgenden kurz vorgestellt und diskutiert werden:

2.1 *These 1:* Es gibt keine globale Erwärmung.

Begründung:

Die im letzten Jahrhundert gemessenen 0,8 K globaler Temperaturanstieg können zu keinen gravierenden Klimaänderungen führen.

Nun ist das Klima eine sehr komplexe Größe und kann nicht allein durch die Veränderung eines meteorologischen Parameters beschrieben werden.

Unter Klima versteht man die Wechselwirkung der verschiedensten meteorologischen Größen mit anderen, die Atmosphäre beeinflussenden Sphären wie die Hydrosphäre, Biosphäre, Kryosphäre und Pedosphäre. Außerdem müssen noch Raum- und Zeitskala beachtet werden. Das heißt, dass reale Klimaänderungen nur durch eine komplexe Betrachtungsweise nachgewiesen werden können.

Eine komplexe Klimagröße ist der Klimatyp. Die Erde besitzt eine Reihe von Klimatypen, von der Wüste über die tropischen Klimate bis hin zu den Eisklimaten. Jeder kennt solche Einteilungen aus seinem Schulatlas. Jeder einzelne dieser Typen wird nun nicht nur durch die Temperatur, sondern auch durch andere meteorologische Größen (wie z.B. Niederschlag) und deren Verteilung im Jahr, durch die Vegetation und die geografischen Gegebenheiten beschrieben. Er stellt also eine komplexe Ausdrucksform des Klimas dar. Eine Veränderung im Klima liegt dann vor, wenn sich diese Klimatypen verändern, d.h. sich auf dem Globus verschieben, vergrößern oder verkleinern.

Um eine solche Entwicklung nachzuweisen, wurde eine objektive Klimaklassifikation entwickelt (GERSTENGARBE & WERNER, 2008), die unsere

Kontinente in 32 Klimatypen unterteilt. Berechnet man die Lage der Klimatypen für den Zeitraum 1986/2000 und vergleicht diese mit dem Gesamtzeitraum, bekommt man eine Aussage über deren Veränderungen. Diese Veränderungen sind in Abbildung 1 auf Seite 4 durch die schwarz gekennzeichneten Regionen dokumentiert.

Auch regional lassen sich dramatische Entwicklungen nachweisen. Neben dem weltweiten Verlust an Gletschern ist das immer schnellere Verschwinden des arktischen Meereises ein eindruckliches Beispiel. Hier ist die Eisfläche von ~ 7,5 Millionen km² im Jahr 1981 auf ~ 4,2 Millionen km² im Jahr 2007 zurückgegangen.

Und Deutschland wartet mit einem Temperaturanstieg innerhalb der letzten 50 Jahre von 0,5 K bis zu 1,7 K auf.

Abbildung 1 / Figure 1

Verschiebung der Klimagebiete für den Zeitraum 1986/2000 im Vergleich zur Lage der Gebiete für den Zeitraum 1901/2000

Shift of the climate zones for the period 1986/2000 as compared to the position of the zones for the period 1901/2000

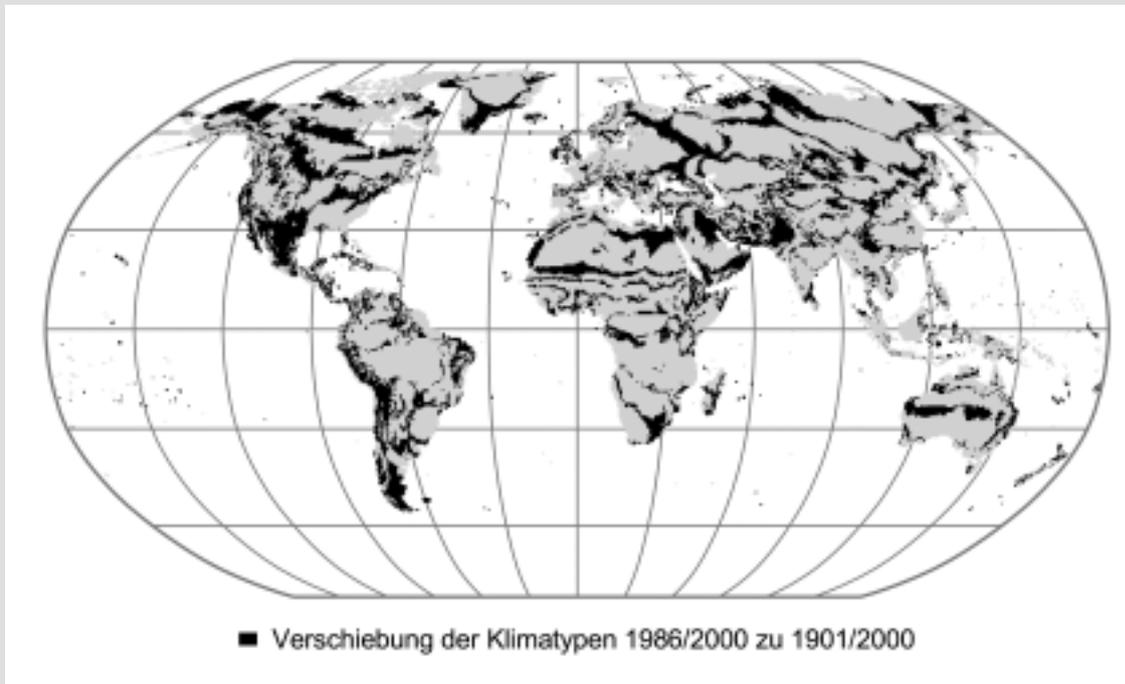


Tabelle 1 gibt beispielhaft die Veränderungen der Tundren- und Eisklimate sowie der Wüsten in Zahlen wieder. Danach haben sich die Tundren- und Eisgebiete in dem 15-jährigen Zeitraum gegenüber dem Gesamtzeitraum um 1.788.000 km² verringert,

die Wüsten dagegen um 1.336.000 km² zugenommen. Das entspricht einer Tagesleistung von -326,6 km² bzw. +244,0 km². Das heißt, dass im globalen Maßstab zurzeit dramatische Klimaänderungen zu beobachten sind.

Tabelle 1 / Table 1

Änderung des Flächenanteils ausgewählter Klimatypen, global, 1986/2000 - 1901/2000

Changes in the proportions of the surface of climate types, global level, 1986/2000 - 1901/2000

Klimatyp	Flächenmittel 1901/2000 [10 ³ km ²]	Differenz 1986/2000 - 1901/2000 [10 ³ km ²]	Änderung in km ² /d
Eis- und Tundrenklimate	22.728	-1.788	-326,6
Wüste	8.930	+1.336	+244,0

2.2 These 2:
 Es gibt zwar eine globale Erwärmung, der Einfluss des Menschen darauf ist aber gering.

Begründung:

1900 kamen bei 280 ppm CO₂ ~ 3 Moleküle CO₂ auf 10.000 Moleküle Luft. 2000 kamen bei 380 ppm CO₂ ~ 4 Moleküle CO₂ auf 10.000 Moleküle Luft. Es ist physikalisch unmöglich, dass nur 1 Molekül CO₂ mehr je 10.000 Moleküle Luft die beobachtete Temperaturerhöhung verursacht haben kann.

In Tabelle 2 ist der Anteil der einzelnen Spurengase am natürlichen Treibhauseffekt aufgelistet. Man erkennt, dass Wasserdampf das stärkste Treibhausgas ist. CO₂ folgt erst an zweiter Stelle. Allerdings sind die drei bereits erwähnten Moleküle je 10.000 Moleküle Luft verantwortlich für ganze 7,2 K. Das heißt, dass rein rechnerisch jedes CO₂-Molekül pro 10.000 Luftmoleküle einen Beitrag zum Treibhauseffekt von 2,4 K liefert. Es sind aber derzeit nur 0,8 K globaler Temperaturanstieg gemessen worden. Warum 2,4 K? Die Antwort ist einfach. Ein großer Teil der durch den zusätzlichen Treibhauseffekt erzeugten Wärmeenergie wird zum Abschmelzen der Eisflächen und zum Erwärmen der Ozeane verbraucht. Hätten wir diese Wärmesenken nicht, wäre es schon wesentlich wärmer auf unserem Planeten.

Tabelle 2 / Table 2

Anteil der Spurengase am natürlichen Treibhauseffekt

Proportion of trace gases related to the natural greenhouse effect

Wasserdampf	0,6 K
Kohlendioxid	7,2 K
Ozon	2,4 K
Stickoxid	1,4 K
Methan	0,8 K
Sonstige	0,8 K
Summe	33,2 K

2.3 These 3:
 Die globale Erwärmung führt zu Schäden, diese zu vermeiden ist aber auf Grund zu hoher Kosten volkswirtschaftlich nicht vertretbar.

Begründung:

Die Kosten für die notwendigen Einsparungen an CO₂-Emissionen betragen mehr als 5 % des weltweiten Bruttosozialproduktes. Dies ist zu teuer, da Einsparungen in einer derartigen Größenordnung zu gefährlichen Verwerfungen in Wirtschaft und Gesellschaft führen können.

Sir NICOLAS STERN veröffentlichte am 30. Oktober 2006 einen Bericht im Auftrag des britischen Schatzkanzlers (STERN, 2006), der sich mit der Kostenproblematik beschäftigt. STERN war von 2000 bis 2003 Chefökonom der Weltbank, und das macht die Brisanz seines Berichts aus: Hier haben nicht die „üblichen Verdächtigen“ die Kosten des Klimawandels untersucht, sondern ein renommierter, als neutral geltender Wirtschaftswissenschaftler.

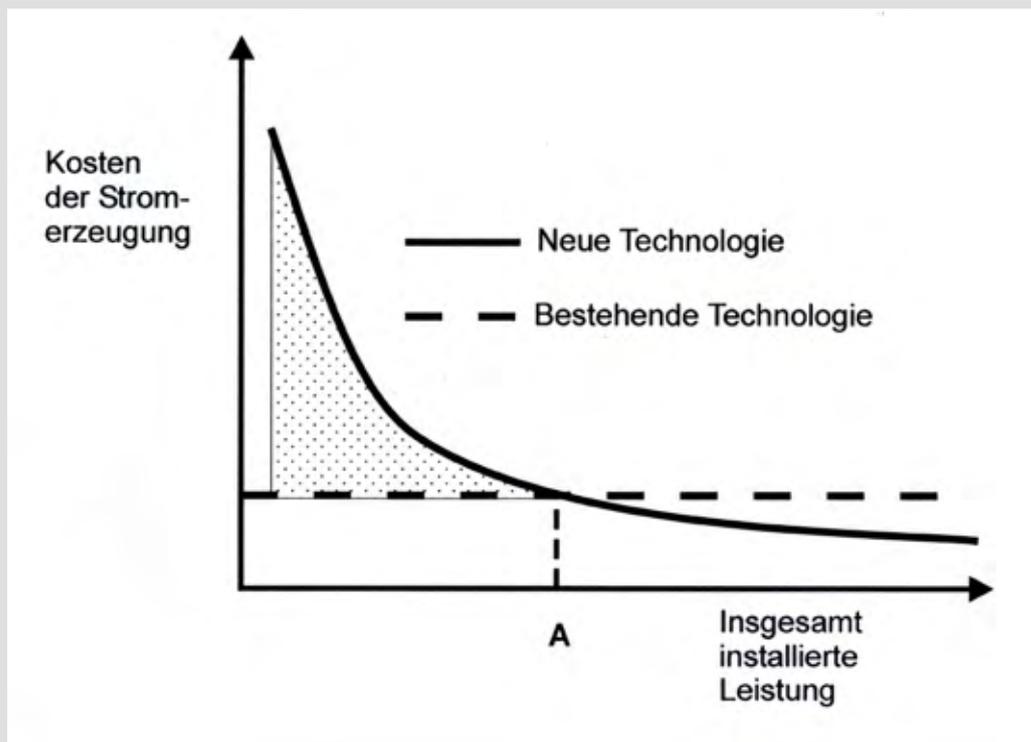
Sein Ergebnis: Effektiver Klimaschutz würde 1 Prozent der weltweiten Wirtschaftsleistung kosten; weiter zu machen wie bisher fünf bis zwanzig Mal so viel – die Auswirkungen des Klimawandels wären viel teurer als konsequente Gegenmaßnahmen.

Abbildung 2 auf Seite 6 verdeutlicht, dass die Berücksichtigung der Einführung neuer Technologien zum einen die Kosten der Stromerzeugung deutlich senkt und zum anderen gleichzeitig die CO₂-Emissionen deutlich mindert. Insgesamt lassen sich diese Kosten auf 1,0 - 1,5 % des globalen Bruttosozialproduktes beschränken – ein Wert, der deutlich unter der 5 %-Marke liegt.

Abbildung 2 / Figure 2

Beispiel von Kostensenkungen anhand der Stromerzeugung: Mit zunehmender Erfahrung und aufgrund von Mengeneffekten sinkt der Preis neuer Technologien unter den bestehender Technologien (Grafik aus STERN REPORT, Abb. 5)

An example for cutting costs by means of electric power generation: Increasing experience and due to quantity effects the costs of new technologies among the existing ones are reduced (graph from STERN REPORT, Fig. 5)



2.4 These 4:
Die CO₂-Emissionen pro Kopf sind weltweit nur bis zum Jahr 1979 gestiegen, seit dieser Zeit sinken sie. „Ich erachte das als ein gutes Beispiel für die menschliche Anpassungsfähigkeit.“ (VÁCLAV KLAUS, 2007).

Begründung:

Das, was der Präsident der Tschechischen Republik hier von sich gibt, ist richtig, es stellt allerdings nur die halbe Wahrheit dar. Diese Aussage wäre nur dann als positiv in Sachen CO₂-Emissionen einzustufen, wenn die Zahl der Menschen auf unserem Planeten konstant wäre. Das ist sie aber nicht. Sie steigt rapide. Um hier eine statistisch saubere Aussage zu treffen, muss der absolute Zuwachs an

CO₂-Emissionen angegeben werden. Und dann sieht die Situation ganz anders aus: Zwischen 1960 und 2006 hat sich die Zunahme der CO₂-Konzentration von 1 ppm pro Jahr auf 2 ppm pro Jahr beschleunigt (QUÉRÉ et al., 2008). Von einer Entwarnung, wie sie Herr KLAUS suggerieren will, kann also nicht geredet werden, im Gegenteil.

3 BEWERTUNG

Anhand dieser Thesen zeigt sich schon, dass die Kritikpunkte der „Klimaskeptiker“ nicht belastbar sind. Es besteht ein Konsens unter den Wissenschaftlern, dass die derzeit zu beobachtende globale Erwärmung zum größten Teil vom Menschen verursacht wird, dass deren Auswirkungen auf das Klima mehr negative als positive Folgen haben wird und auch schon hat, und dass ein effektiver Klimaschutz für die Menschheit kostengünstiger sein wird, als weiter zu machen wie bisher.

Wie ist dieser Konsens zu bewerten?

Eine wissenschaftliche Hypothese gilt dann als anerkannt, wenn sie durch eine überwältigende Mehrheit der Wissenschaftler im Rahmen von Fachartikeln, Tagungen oder Experimenten gestützt wird und nicht durch reproduzierbare Beweise widerlegt werden kann. Der wissenschaftliche Konsens ergibt sich also im Wesentlichen aus der

Diskussion der Wissenschaftler untereinander. Es gibt allerdings keine Institution, die einen Konsens per Dekret festlegt!

Mit einer Ausnahme – das IPCC!

- Es identifiziert und beschreibt anerkannte Theorien.
- Es definiert den kleinsten gemeinsamen Nenner vorhandener Kenntnisse.
- Es beschreibt Kenntnislücken und offene Fragestellungen.

Das heißt, dass der letzte Sachstandsbericht des IPCC (IPCC 2007) den derzeit gültigen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Problemkreis „Globale Erwärmung“ widerspiegelt, an dem sich alle Entscheidungsträger orientieren müssen.

4 LITERATUR

GERSTENGARBE, F.-W. & WERNER, P.C. (2008): Climate development in the last century – global and regional. *International Journal of Medical Microbiology*, Vol. 298, supplement 1: 5-11.

IPCC (2007): *Climate Change for Policymakers*. Bern, Wien, Berlin (ISBN: 978-3-907630-28-0).

KLAUS, V. (2007): *Blauer Planet in grünen Fesseln*. Carl Gerold's Sohn Verlagsbuchhandlung KG, Wien, S.45.

QUÉRÉ, C. LE et al. (2008): Global Carbon Project. Carbon budget and trends 2007. www.globalcarbonproject.org, 26 September 2008, *Nature* 455.

STERN, N. (2006): *The Economics of Climate Change*. <http://www.hm-treasury.gov.uk/>.

SICHERUNG EINER NACHHALTIGEN ROHHOLZVERSORGUNG IN DEUTSCHLAND

SECURING SUSTAINABLE RAW WOOD SUPPLY IN GERMANY

H. Spellmann

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), D-37079 Göttingen

ABSTRACT

This paper focuses on different steering options to secure raw wood supply in Germany. Starting from the globalization of markets, the ranking of German forest industries within Europe and the demand for raw wood for material and energy utilization, the initial situation of German forestry is analyzed on the basis of results of the 2nd National Forest Inventory 2002 and the Inventory Study 2008, and need for action is identified. Finally short-, medium- and long-term effective steering options are exemplified. Examples for short-term effective options are mobilization of timber resources in small-scale private forests, exploitation of so far untapped raw wood resources, and reduction of target diameter *resp.* rotation period. Medium-term effective options are e.g. the establishment of short rotation coppice plantations and the securing of stand productivity. Long-term effective options are tree species selection, provenance selection and risk management.

Keywords: raw wood supply, mobilization of raw wood, increase in productivity

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag beschäftigt sich mit verschiedenen Steuerungsmöglichkeiten zur Sicherung der Rohholzversorgung in Deutschland. Ausgehend von der Globalisierung der Märkte, der Stellung der deutschen Forst- und Holzwirtschaft in Europa und der Rohholznachfrage für die stoffliche und energetische Nutzung wird die Ausgangssituation der deutschen Forstwirtschaft anhand von Ergebnissen der zweiten Bundeswaldinventur 2002 und der Inventurstudie 2008 beleuchtet und Handlungsbedarf aufgezeigt. Anschließend werden kurz-, mittel- und langfristig wirksame Steuerungsmöglichkeiten anhand von Beispielen erläutert, die sich kurzfristig auf die Mobilisierung im Kleinprivatwald, die Erschließung bisher ungenutzter Rohholzpotenziale, die Senkung der Zielstärken bzw. die Verkürzung der Produktionszeiträume, mittelfristig auf die Anlage von Schnellwuchsplantagen und die Sicherung der Flächenproduktivität sowie langfristig auf die Baumartenwahl, die Herkunftswahl und das Risikomanagement beziehen.

Schlagwörter: Rohholzversorgung, Rohholzmobilisierung, Produktivitätssteigerung

1 REGIONALE FOLGEN DES GLOBALEN WANDELS

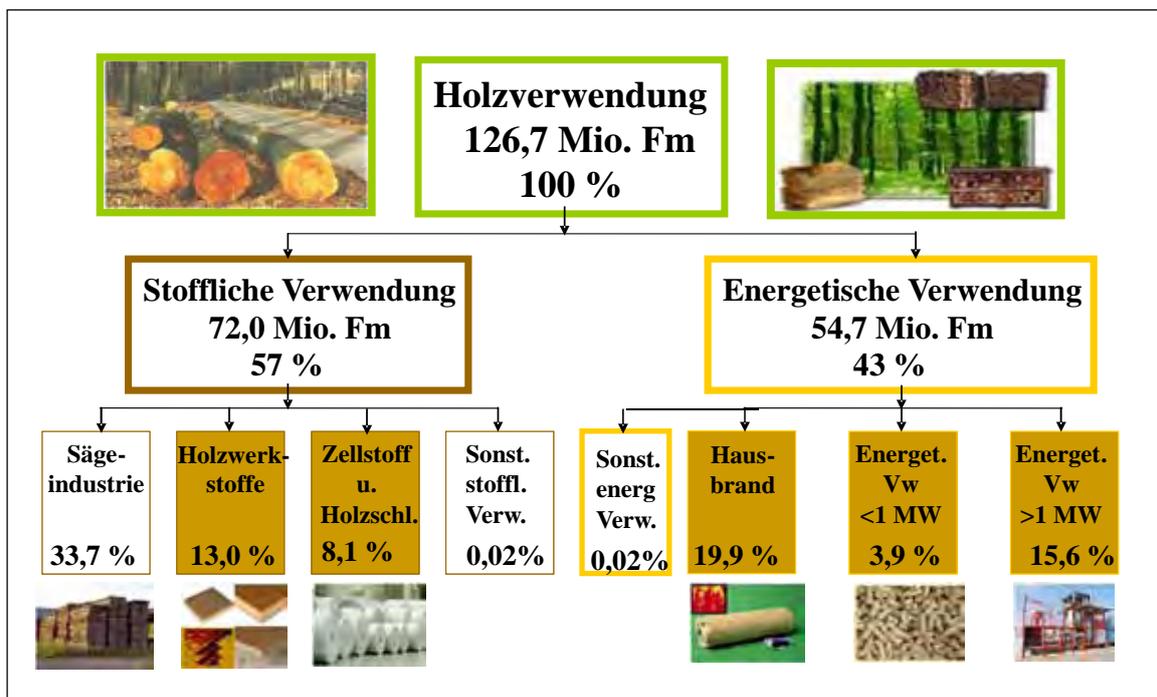
Die Globalisierung der Rohstoff- und Warenmärkte und die zunehmende Verknappung fossiler Rohstoffe stellen die deutsche Forst- und Holzwirtschaft vor neue Herausforderungen. Sie haben zu einer steigenden Rohholznachfrage und zum Aufbau neuer Produktionskapazitäten und Verwertungslinien für die stoffliche und energetische Nutzung geführt.

Im globalen Wettbewerb konnten sich die Wirtschaftszweige des Clusters Forst und Holz erfolgreich auf den internationalen Märkten positionieren. Die deutsche Forst- und Holzwirtschaft nimmt heute im europäischen Vergleich sowohl hinsichtlich der Holzproduktion als auch bezüglich der Holzverwendung Spitzenplätze ein.

Abbildung 1 / Figure 1

Holzrohstoffbilanz Deutschland 2008 (im Anhalt an MANTAU, 2008)

Balance of wood raw material for Germany 2008 (referring to MANTAU, 2008)



Zur Sicherung dieser Spitzenstellungen werden der Forst- und der Holzsektor durch die Politik unterstützt. Die 2002 verabschiedete Charta für Holz hat eine verstärkte Nutzung heimischen Holzes zum Ziel, zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovationen und Arbeitsplätzen. Von Regierungsseite gefördert wird auch die energetische Nutzung von Holz. Deren Anteil an der gesamten Holzver-

wendung ist von 24 % im Jahre 2002 (13,1 Mio. m³) auf 43 % im Jahre 2008 (54,7 Mio. m³) gestiegen (MANTAU et al., 2004; MANTAU, 2008). Diese Zunahme trug wesentlich dazu bei, dass der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland auf 9,5 % im Jahre 2008 gesteigert werden konnte, von denen ca. 3,5 % auf Energieholz entfallen (BMU, 2009) (vgl. Abbildung 1).

2 VERWERTUNG VON LAUB- UND NADELHOLZ

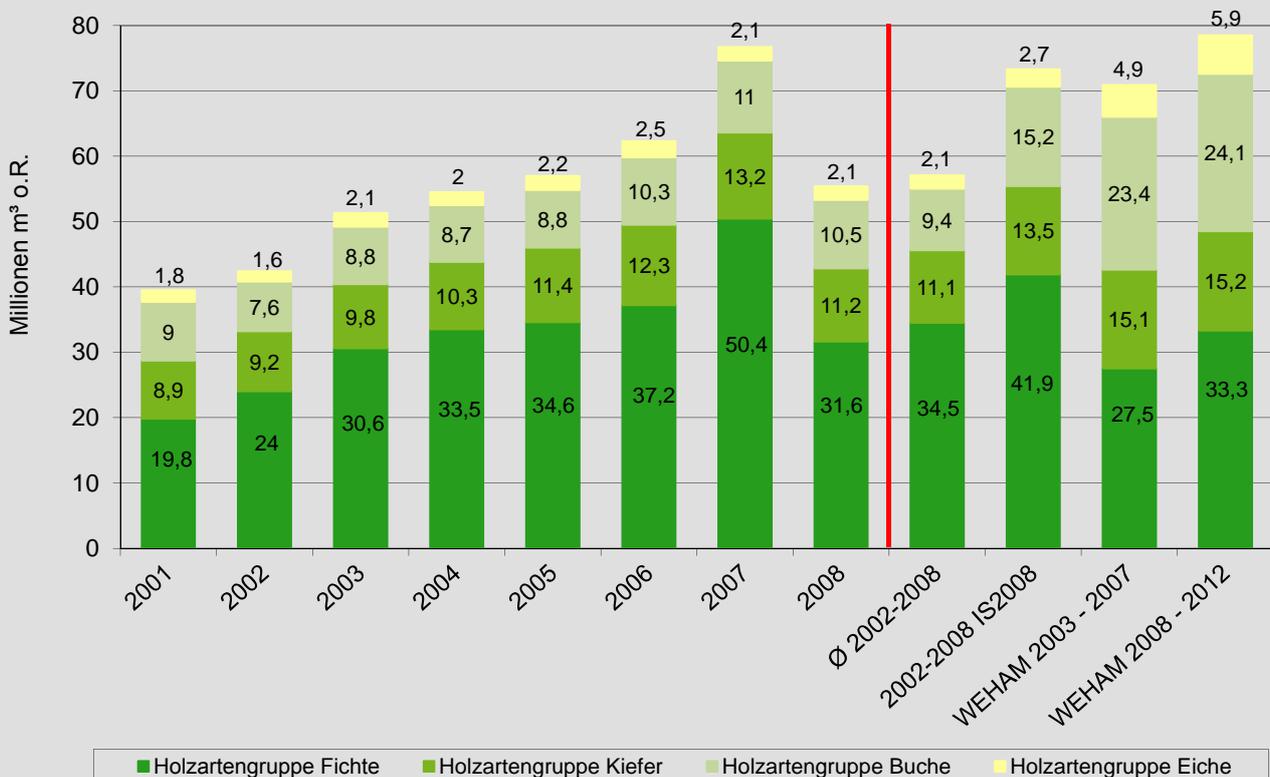
Mit einer Waldfläche von ca. 11,1 Mio. ha, einem Holzvorrat von rund 3,4 Mrd. m³ und einem Holzeinschlag in Höhe von ca. 70 Mio. m³ rangiert die Forstwirtschaft ebenso auf den ersten Plätzen in Europa wie die Holzwirtschaft mit Produktionsmengen in Höhe von rund 23 Mio. m³ Schnittholz, 10 Mio. m³ Spanplatten sowie 23 Mio. t Papier bzw. Pappe im Jahre 2008 (POLLEY et al., 2009a; BMELV, 2009). Diese Leistungsfähigkeit ist das Ergebnis einer mehr als hundertjährigen nachhaltigen Forstwirtschaft und einer innovativen heimischen Säge-, Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie. Während die energetische Nutzung überwiegend auf der Verwertung von Laubholz beruht, wird der wirtschaftliche Erfolg der Forstbetriebe und der holzbe- und -verarbeitenden Industrie vor allem

vom Nadelholz getragen (s. Abbildung 2). Im Durchschnitt der Jahre 2002 bis 2008 betrug der Nadelholzanteil am Gesamteinschlag in Deutschland 78 %, von denen ca. 60 % auf die Fichte entfielen (BMELV, 2009). Die Nadelschnittholzproduktion stieg im selben Zeitraum von 15,8 Mio. m³ auf 22,0 Mio. m³, während die Laubschnittholzproduktion bei ca. 1,1 Mio. m³ stagnierte. Die im Wesentlichen auf Nadel-Industrieholz beruhende Holzwerkstoffproduktion stieg von 8,8 Mio. m³ im Jahre 2002 auf 10,2 Mio. m³ im Jahre 2008. In der Zellstoffindustrie erhöhte sich der Nadelholzverbrauch von 2,9 auf 5,4 Mio. m³, während der Laubholzverbrauch sich von 1,1 auf 0,9 Mio. m³ verringerte (BMELV, 2009).

Abbildung 2 / Figure 2

Nutzungen laut Holzeinschlagsstatistiken und Inventurstudie 2008 im Vergleich zu den mit dem Basismodell WEHAM prognostizierten Holzeinschlagspotenzialen (im Anhalt an POLLEY et al., 2009a)

Harvest volume by tree species groups based on logging statistics and the inventory study 2008 compared to the logging potentials predicted by the basis model WEHAM (referring to POLLEY et al., 2009a)



3 PRODUKTION VON LAUB- UND NADELHOLZ

Dem stark gestiegenen Nadelholzverbrauch steht eine seit mehr als 20 Jahren abnehmende Nadelwaldfläche gegenüber. Dies ist eine Folge des Waldumbaus nach großflächig in Fichtenwäldern auftretenden immissionsbedingten neuartigen Waldschäden in den 1980er Jahren, der gestiegenen Anforderungen des Naturschutzes an den Wald, der Einführung der naturnahen Waldwirtschaft in den staatlichen Forstbetrieben und der sich daran orientierenden Förderung für den Privatwald. Nach den Ergebnissen der zweiten Bundeswaldinventur lag der Anteil der Nadelbaumarten an der Gesamtwaldfläche im Jahre 2002 nur noch bei 55 % (BMVEL, 2004) und ist anschließend, wie die Inventurstudie 2008 belegt, noch einmal um 3 % gefallen (POLLEY et al., 2009a). Diese Abnahme wird sich in den kommenden Jahren rasant fortsetzen, denn in der jeweils erfassten führenden Bestandeschicht rücken nach Räumung des Nadelholzschirmes die großflächigen Buchen-Voranbauten der letzten 20 Jahre vor. Angesichts dieser Zahlen kann man sich des Eindrucks nicht erwehren, dass der Waldbau am Markt vorbei produziert (SPELLMANN, 2005) und dadurch viele tausend Arbeitsplätze in der Holzbe- und -verarbeitenden Industrie mittelfristig gefährdet sind.

Wie dramatisch sich die Lage bereits zugespitzt hat, verdeutlichen die Holzeinschlagsstatistiken und die

durch die Inventurstudie 2008 erfassten tatsächlichen Nutzungen im Vergleich zu den mit dem Basismodell WEHAM prognostizierten Holzeinschlagspotenzialen (s. Abbildung 2).

Für die Holzartengruppe Fichte geben die Holzeinschlagsstatistiken der Jahre 2003 bis 2008 bereits deutlich höhere Einschlagsmengen in Höhe von ca. 34,5 Mio. m³ an, als sie nach dem WEHAM-Basismodell mit prognostizierten 27,5 Mio. m³ als nachhaltig möglich ausgewiesen sind. Dies erklärt sich zum einen durch Übernutzungen aufgrund gesteigener Nachfrage, zum anderen durch Kalamitätsnutzungen infolge des Orkans Kyrill im Jahre 2007. Der durch die Inventurstudie erfasste tatsächliche Einschlag liegt mit 41,9 Mio. m³ noch 7,4 Mio. m³ über den Werten der Einschlagsstatistiken, was vor allem auf die in den Einschlagsstatistiken nur unvollständig erfassten Nutzungen im Kleinprivatwald zurückzuführen ist. Die bei der Kiefer nicht ausgeschöpften Nutzungspotenziale täuschen insofern, als es sich dabei im Wesentlichen um einen Starkholzüberhang handelt, während die Potenziale bei den schwächeren und mittleren Sortimenten weitgehend ausgeschöpft sind.

4 KONSEQUENZEN FÜR DIE FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT

Angesichts dieser Ausgangslage zeichnen sich bereits mittelfristig Versorgungsgpässe für die Holzindustrie beim Nadel-Stammholz und noch weitaus früher beim Nadel-Industrieholz ab. Vor allem Fichtenholz geringerer Dimension, das als Rohstoff für die deutsche Säge-, Holzwerkstoff- und Zellstoffindustrie von herausragender Bedeutung ist, war in den vergangenen Jahren von einem rapiden Vorratsabbau betroffen. In Nordwestdeutschland mit seinem unausgeglichenen Altersklassenaufbau gilt dies besonders und im gleichen Maße für die führende Baumart Kiefer (vgl. HANSEN

et al., 2008; RÜTHER et al., 2007, 2008a, 2008b).

Vor diesem Hintergrund stellen die Sicherung der Produktion und die Bereitstellung von Nadel-Rohholz große Herausforderungen dar, von deren Bewältigung die Ertragsituation der Forstbetriebe, die nachhaltige Versorgung der Holzindustrie sowie die Sicherung der Wertschöpfung und der Erhalt vieler Arbeitsplätze im ländlichen Raum abhängen. Gleichzeitig ist dem steigenden Energieholzbedarf Rechnung zu tragen, ohne dessen weitgehende Befriedigung das ambitionierte Ziel der

Bundesregierung, den Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland auf 18,5 % im Jahre 2020 zu heben, nicht zu erreichen ist.

interdisziplinär Strategien zu entwickeln, wie die Rohholzbereitstellung und -verwertung gesichert werden kann. Bezüglich der biologischen Produktion lassen sich kurz-, mittel- und langfristige Ansätze unterscheiden.

Ausgehend von den derzeitigen Verhältnissen der biologischen Produktion und der Struktur der Holz- und Energiewirtschaft sind daher

5 STEUERUNGSMÖGLICHKEITEN DER BIOLOGISCHEN PRODUKTION

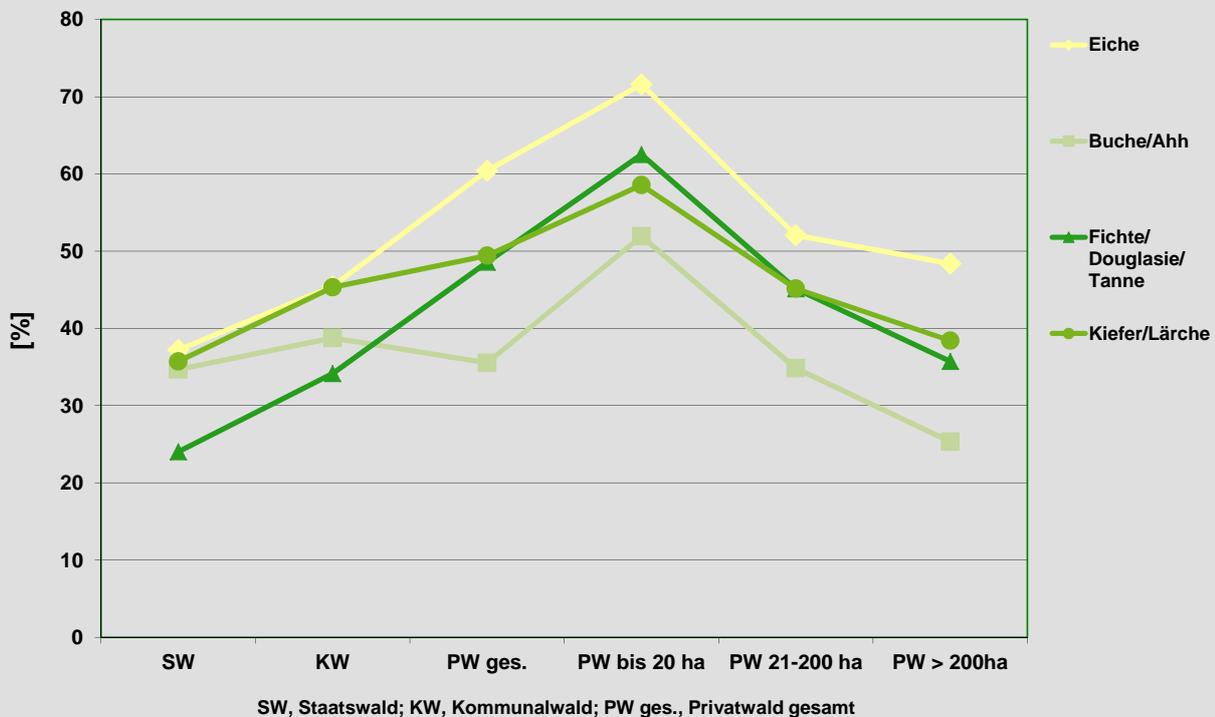
5.1 Kurzfristige Ansätze (bis 5 Jahre)

- *Mobilisierung bisher ungenutzter Rohholzreserven im Kleinprivatwald*

Abbildung 3 / Figure 3

Ungenutzte Flächenanteile der Bestandestypen getrennt nach Eigentumskategorien in Niedersachsen (RÜTHER et al., 2007)

Percentage of unexploited forest area in Lower Saxony by stand types and owner categories (RÜTHER et al., 2007)



Zwischenfazit:

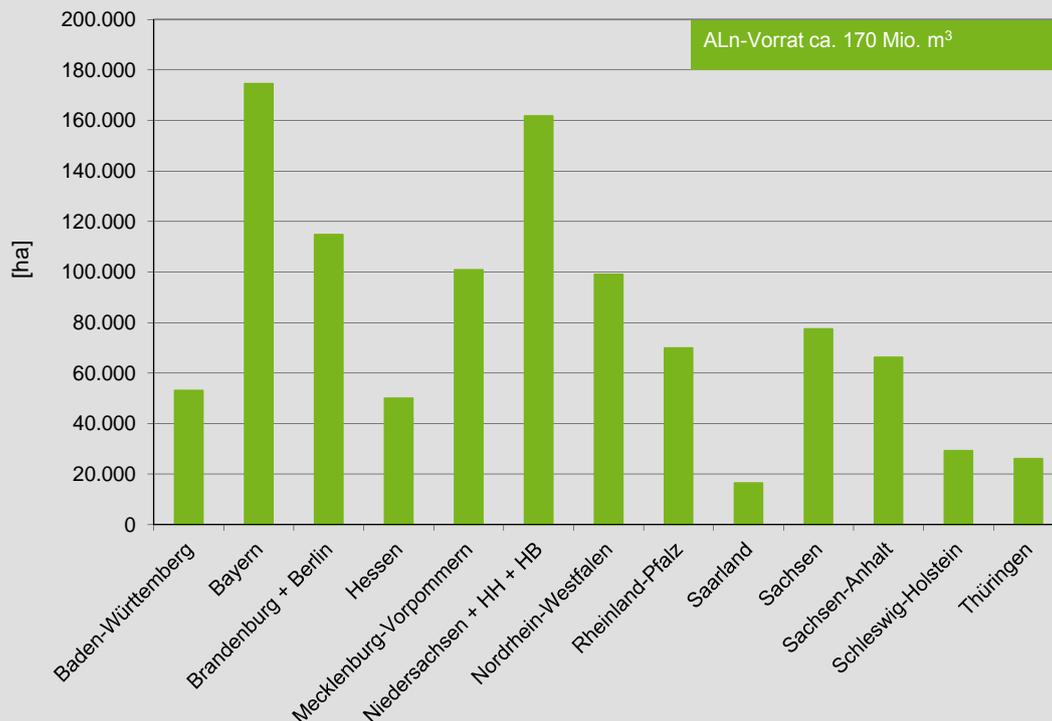
Die Inventurstudie 2008 belegt, dass nach 2002 aufgrund erhöhter Nachfrage und gestiegener Preise eine starke Rohholzmobilisierung auch im Kleinprivatwald stattgefunden hat. Die Mehrnutzungen konzentrierten sich allerdings auf das Nadelholz. Insgesamt sind aber noch Steigerungen möglich.

- *Weichhölzer - kaum genutztes Rohstoffpotenzial*

Abbildung 4 / Figure 4

Fläche der Weichlaubhölzer (ALn) nach Bundesländern (BMVEL, 2004)

Forest area of deciduous trees with a short life expectancy (e.g. birch, alder, willow, poplar) in the German Federal States (BMVEL, 2004)



Zwischenfazit:

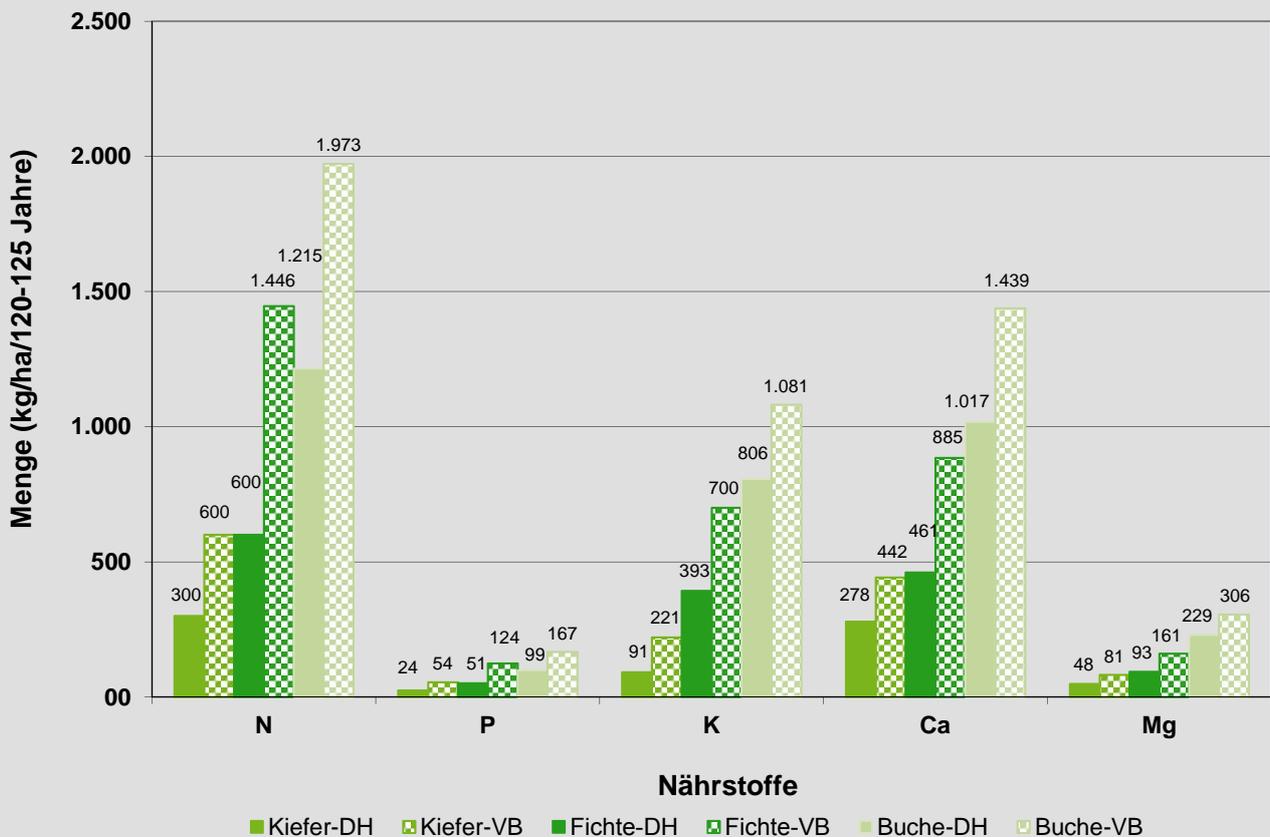
Das Weichlaubholz ist ein bisher nicht ausgeschöpftes Rohholzpotenzial. Es konzentriert sich vor allem auf die Altersklassen I bis III und ist insbesondere im Norddeutschen Tiefland konzentriert. Offen sind die Fragen, welche Flächen naturschutzfachlichen Restriktionen unterliegen, mit welchen umweltverträglichen Holzernteverfahren (oft grundwasserbeeinflusste Standorte) sich das Weichlaubholz zu angemessenen Preisen mobilisieren lässt und wie sich die Wertschöpfung jenseits der energetischen Nutzung erhöhen lässt.

- *Vollbaumnutzung unter Beachtung standörtlicher Restriktionen*

Abbildung 5 / Figure 5

Nährstoffentzug bei Derbholz- (DH) bzw. Vollbaumnutzung (VB), Produktionszeitraum Fichte und Buche 120 Jahre, Kiefer 125 Jahre (MEIWEs, 2006)

Drain on the nutrient capital by stem wood (DH) or whole-tree harvesting (VB), production period for Norway spruce and beech 120 years, Scots pine 125 years (MEIWEs, 2006)



Zwischenfazit:

Durch Vollbaumnutzungen lässt sich die Rohholzbereitstellung gegenüber einer reinen Derbholznutzung kurzfristig um ca. 20 % erhöhen. In Abhängigkeit von den Standorten, den Baumarten und dem Alter der Bestände sind damit aber auch zum Teil erhebliche Nährstoffentzüge verbunden, die mit dem Anteil der jeweils entnommenen Kompartimente Rinde, Reisig und Nadeln / Blätter steigen. Die Vollbaumnutzung ist daher nur bei strenger Beachtung der standörtlichen Restriktionen ökologisch wie ökonomisch vertretbar.

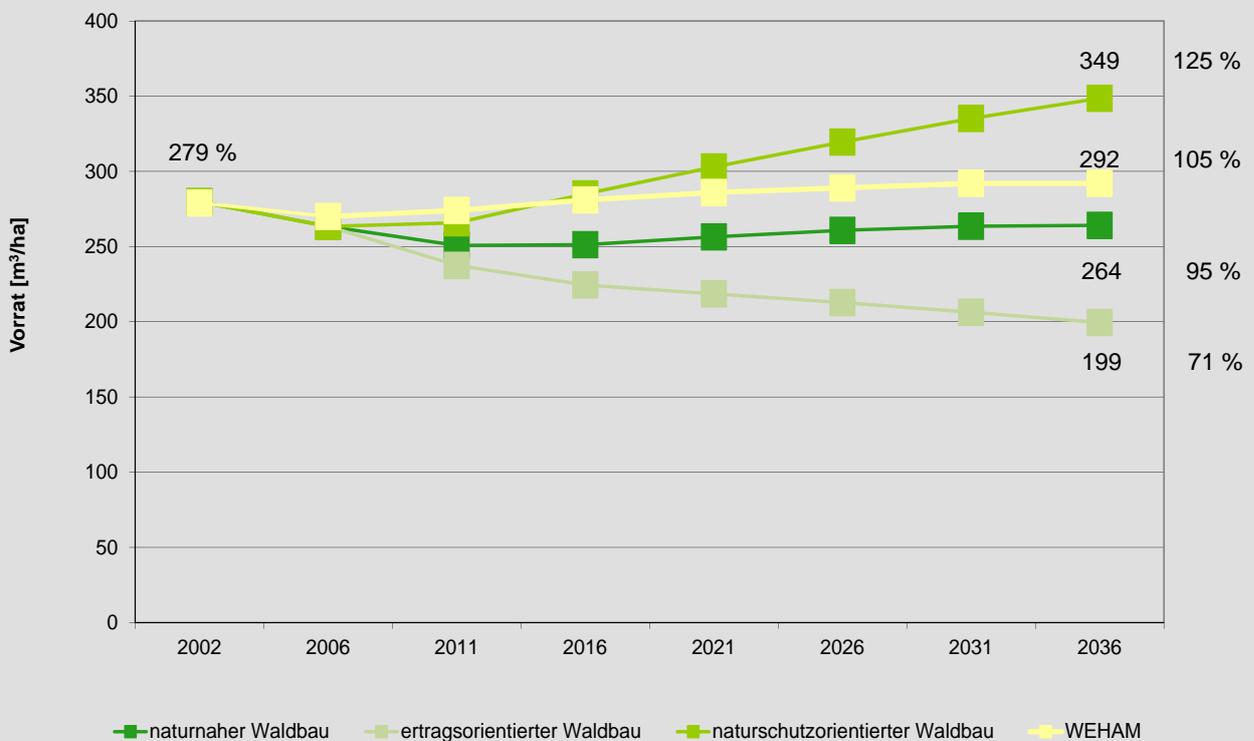
- Senkung der Zielstärken bzw. Verkürzung der Produktionszeiträume

Abbildung 6 / Figure 6

Vorratsentwicklung im Gesamtwald Niedersachsen bei Unterstellung unterschiedlicher Waldentwicklungsszenarien (RÜTHER et al., 2007)

Development of growing stock in the overall forest of Lower Saxony for different forest management scenarios (RÜTHER et al., 2007)

Steuerungsparameter „Zielstärke“ der Waldentwicklungsszenarien			
	naturnaher Waldbau	ertragsorientierter Waldbau	naturschutzorientierter Waldbau
Zielstärke (cm)	Ei 70, Bu 60 Fi 45, Ki 45	- 5 cm	+ 5 cm



Zwischenfazit:

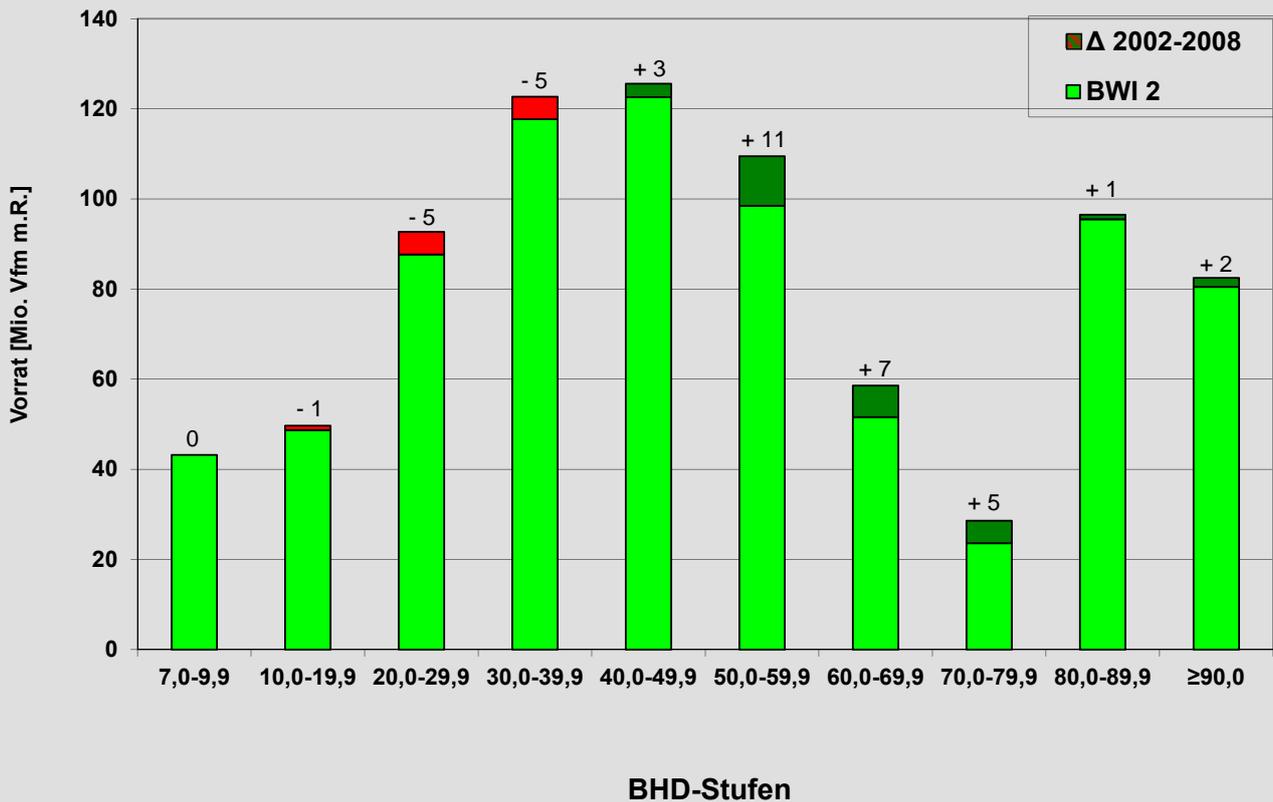
Die Absenkung bzw. Erhöhung der Zielstärke hat einen erheblichen Einfluss auf die mittlere Vorratshöhe bzw. die mittlere Nutzungsmasse. Eine vollflächige Umsetzung der Grundsätze eines naturnahen Waldbaus würde in 34 Jahren den mittleren Vorrat in Niedersachsen gegenüber dem Ausgangsvorrat 2002 (279 m³) um ca. 5 % absenken, bei der Variante ertragsorientierter Waldbau (Zielstärken um 5 cm abgesenkt) wären es ca. 29 %, während bei der Variante naturschutzorientierter Waldbau (Zielstärken um 5 cm erhöht) der Vorrat um 25 % angehoben würde. Der jährliche Hiebssatz würde zwischen 2006 und 2036 beim naturschutzorientierten Waldbau bei 4,92 Efm/ha*a (100 %), beim naturnahen Waldbau bei 7,2 Efm/ha*a (147 %) und beim ertragsorientierten Waldbau bei 8,6 Efm/ha*a (175 %) liegen. Dies sind Unterschiede, die Handlungsoptionen eröffnen, ohne die Nachhaltigkeit der Holzherzeugung zu verletzen. Sie unterliegen aber im Rahmen einer nachhaltigen multifunktionalen Forstwirtschaft anderen Restriktionen.

- *Nutzung des Buchenaltholzüberhangs*

Abbildung 7 / Figure 7

Veränderungen des Buchen-Holzvorrates 2002–2008 nach BHD-Stufen; Buchen-Vorrat 2008: 601 Mio. Vfm m. R. (im Anhalt an BMVEL, 2004 und POLLEY et al., 2009a)

Changes in growing stock of beech 2002–2008 by dbh-classes; growing stock of beech 2008: 601 Mio. solid meters over bark (referring to BMVEL, 2004 and POLLEY et al., 2009a)



Zwischenfazit:

Aufgrund des Altersklassenaufbaus und der begrenzten Nachfrage für Buchenstammholz hat sich in den letzten Jahren ein sich stetig vergrößernder Buchenaltholzüberhang gebildet. Es bedarf jenseits der sich rasant ausweitenden energetischen Nutzungsoptionen für qualitativ schlechte Buchen-Stammholzsortimente dringend weiterer stofflicher Verwendungsmöglichkeiten, um die ökonomische Situation der Buchen-Forstbetriebe zu verbessern. Andererseits zählen die Buchenwälder zu den naturnächsten terrestrischen Ökosystemen in Deutschland, in denen aber die für viele Arten wichtigen Buchen der Alterungs- und Zerfallsphase bisher oft noch unterrepräsentiert sind. Im Zusammenhang mit der Umsetzung der Biodiversitätsstrategie der Bundesregierung, aber auch als Element einer nachhaltigen, multifunktionalen Forstwirtschaft, sind Teile des Altholzüberhangs für den Prozessschutz prädestiniert.

5.2 Mittelfristige Ansätze (5 bis 10 Jahre)

• Anlage von Schnellwuchsplantagen

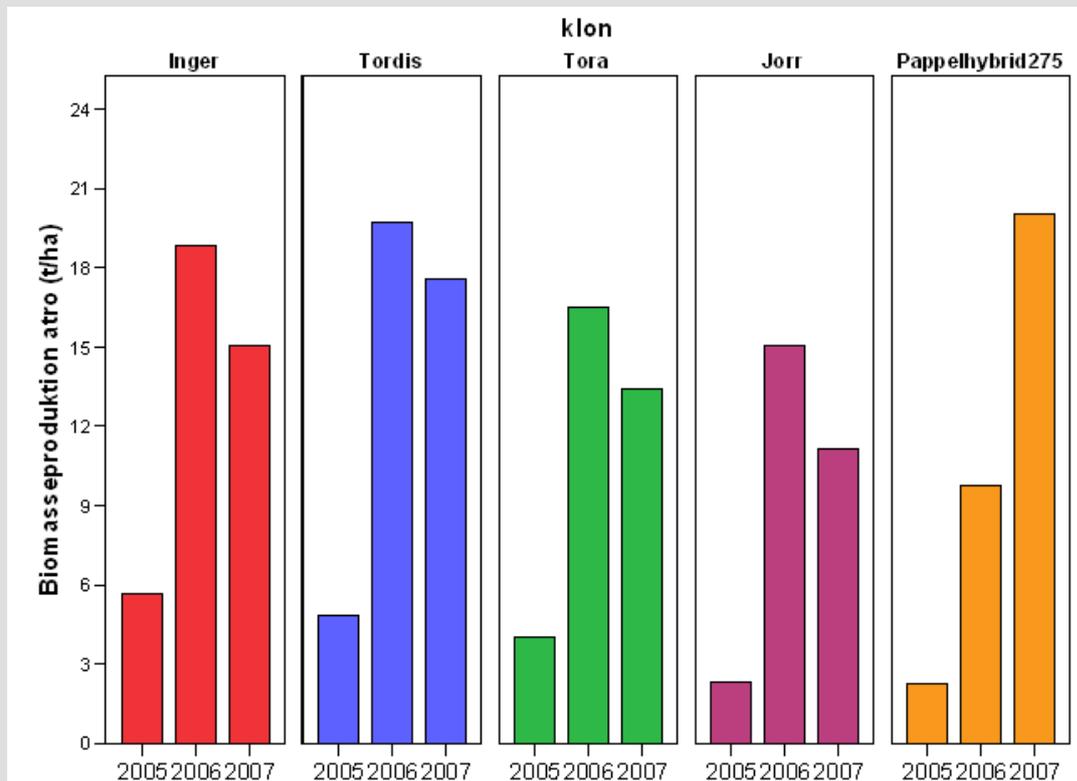
Mit einem Anteil von 9,5 % der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch ist Deutschland noch weit von seiner europäischen Verpflichtung entfernt, diesen Anteil bis zum Jahre 2020 auf 18 % zu erhöhen. Eine besondere Bedeutung kommt

dabei der energetischen Holznutzung zu, deren Mehrbedarf bis zum Jahre 2020 auf ca. 30 Mio. m³ beziffert wird (HETSCH et al., 2008). Zur Sicherung dieses Bedarfs sind Schnellwuchsplantagen eine Option.

Abbildung 8 / Figure 8

Biomasseproduktion in Abhängigkeit von Baumart (4 Weidenklone, 1 Pappelklon), Klon und Standzeit (RUMPF, 2008)

Biomass production as a function of tree species (4 willow clones, 1 poplar clone), clone and standing time (RUMPF, 2008)



Zwischenfazit:

Auf geeigneten Flächen und mit Spitzenklonen lassen sich mit Weiden- und Pappel-Schnellwuchsplantagen Biomassen in der Größenordnung von 8 t atro/ha*a und mehr erzielen. Ein gravierendes Problem stellt aber die Verfügbarkeit bisher landwirtschaftlich genutzter Flächen mit ausreichender Wasser- und Nährstoffversorgung dar. Grundsätzlich hat derzeit die Nahrungsmittelproduktion auf Ackerflächen und der Naturschutz auf Grünland Vorrang. Einer Anlage von Weiden- bzw. Pappel-Schnellwuchsplantagen auf Waldstandorten stehen oftmals das begrenzte Nährstoff- bzw. Wasserangebot für befriedigende Produktionsleistungen, die schlechteren Mechanisierungsmöglichkeiten bei der Bestandesbegründung und Holzernte (Hanglagen, Skelettanteile, flächiges Befahren etc.) sowie Beeinträchtigungen der Waldfunktionen entgegen.

- **Sicherung der Flächenproduktivität durch veränderte Pflegestrategien**

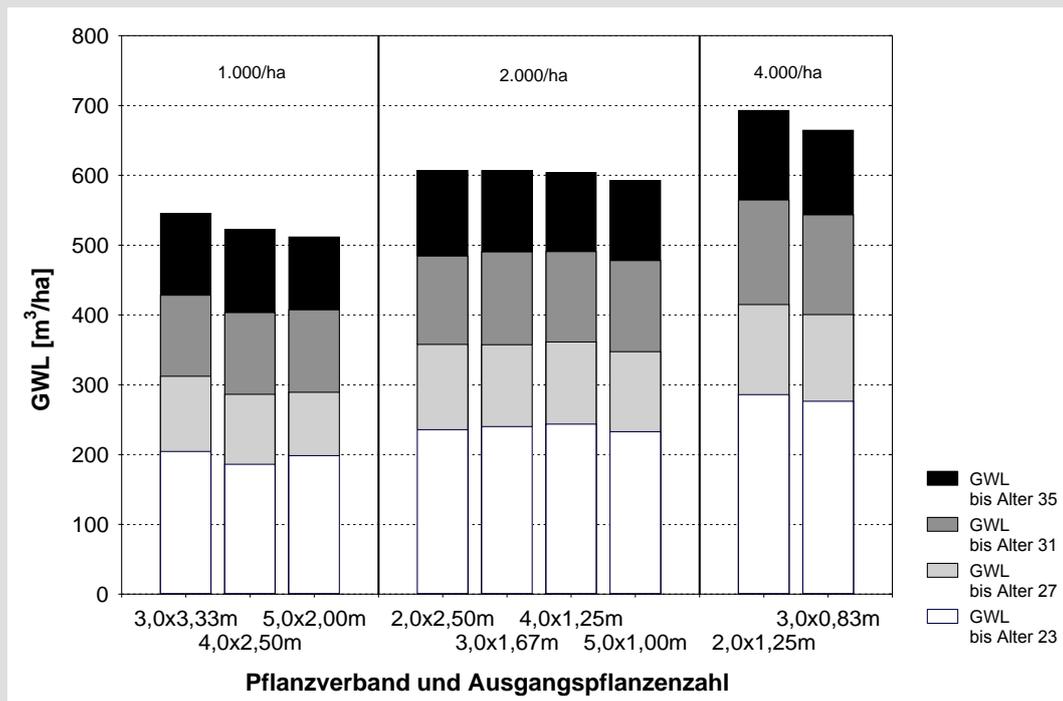
Angesichts fehlender Absatzmöglichkeiten für Industrieholz, unbefriedigender Deckungsbeiträge und überzogener Stabilitätsorgen wurde seit Anfang der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts der Waldbau extensiviert. Die Pflanzverbände wurden

erweitert, auf Lässerungen wurde verzichtet, und die Bestandespflege reduzierte sich auf die punktuelle Pflege einer begrenzten und stetig sinkenden Zahl an Zukunftsbäumen.

Abbildung 9 / Figure 9

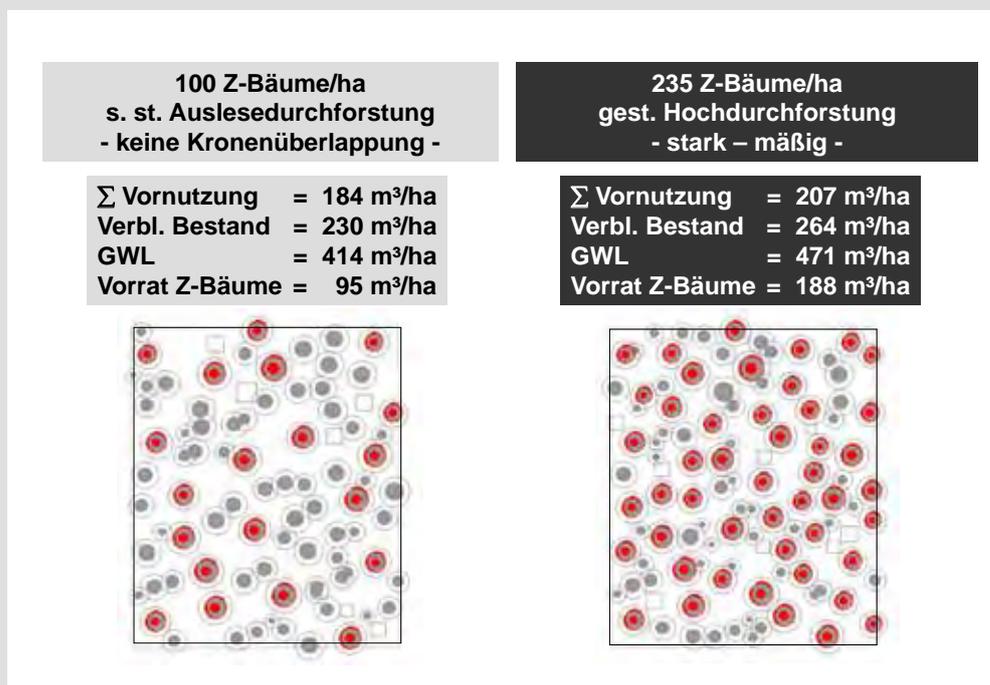
Douglasien-Standraumversuch Frankenberg 2642 A - Entwicklung der Gesamtwuchsleistung (Vfm m. R.) (GWL) bei unterschiedlichen Ausgangspflanzenzahlen und Pflanzverbänden (WELLER, 2006)

Douglas-fir spacing experiment Frankenberg 2642 A – development of total growth performance (solid meters over bark) (GWL) using initially different plant quantities and spacing arrangements (WELLER, 2006)



Sicherung der Flächenproduktivität durch zielgerechte Bestandespflege; Simulation der Auswirkungen einer sehr starken Ausleседurchforstung mit 100 Z-Bäumen/ha gegenüber einer starken Hochdurchforstung mit 235 Z-Bäumen/ha auf der Basis der Originaldaten einer Parzelle des Kiefern-Durchforstungsversuches Sellhorn 1617j; Simulation über 40 Jahre; Ausgangssituation Kiefer I. Ekl. Alter = 31; D100 = 18,4 cm; H100 = 14,0 m; G = 27,9 m³/ha (SPELLMANN, 2008)

Securing the stand productivity by target-oriented stand tending; simulation of the effects of very heavy selective thinning comprising 100 elite trees per ha compared to heavy thinning comprising 235 elite trees per ha, based on original data captured in a parcel of the Scots pine thinning experiment Sellhorn 1617j; simulation over 40 years; initial situation: Scots pine I. yield class, age = 31; D100 = 18,4 cm; H100 = 14,0 m; G = 27,9 m³/ha (SPELLMANN, 2008)



Zwischenfazit:

Angesichts der sich abzeichnenden Versorgungsengpässe, der steigenden Industrieholz- und Brennholzpreise und der auf Vorerträge angewiesenen Forstbetriebe sollten die auf Schwachholzvermeidung ausgerichteten Waldbaustrategien überdacht werden. Der Blick sollte vom Einzelbaum wieder stärker auf den Bestand gerichtet, Weitverbände mit ihren negativen Auswirkungen auf die Massenleistung und Qualitätsentwicklung vermieden und die Bestandespflege am Wachstumsgang der Baumarten orientiert werden, was zu gestaffelten Durchforstungen mit starken Eingriffen in der Jugend und danach abnehmenden Durchforstungsintensitäten führt.

5.3 Langfristige Ansätze (> 10 Jahre)

- *Baumartenwahl und Herkunftswahl, Modifikation der standörtlichen Zuordnung*

Abbildung 11 / Figure 11

Veränderungen der Baumartenanteile zwischen BWI 1 und BWI 2 sowie summarisch nach den Ergebnissen der Inventurstudie 2008 (im Anhalt an BMVEL, 2004 und POLLEY et al., 2009b)

Proportions of tree species groups having changed between BWI 1 (National Forest Inventory 1) and BWI 2 (National Forest Inventory 2) as well as summed up according to the results of the inventory study 2008 (referring to BMVEL, 2004 and POLLEY et al., 2009b)

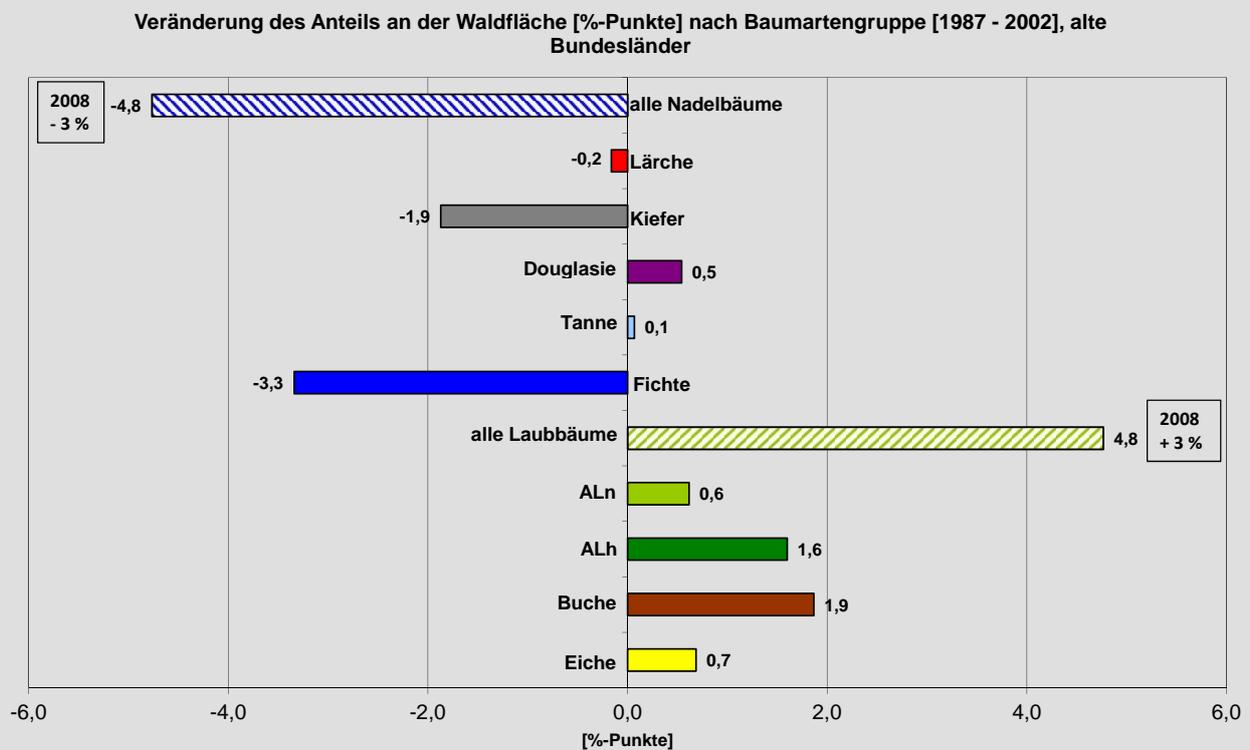


Abbildung 12 / Figure 12

Periodischer Zuwachs ausgewählter Baumartengruppen getrennt nach Altersklassen

Periodical increment of selected tree species groups arranged by age classes

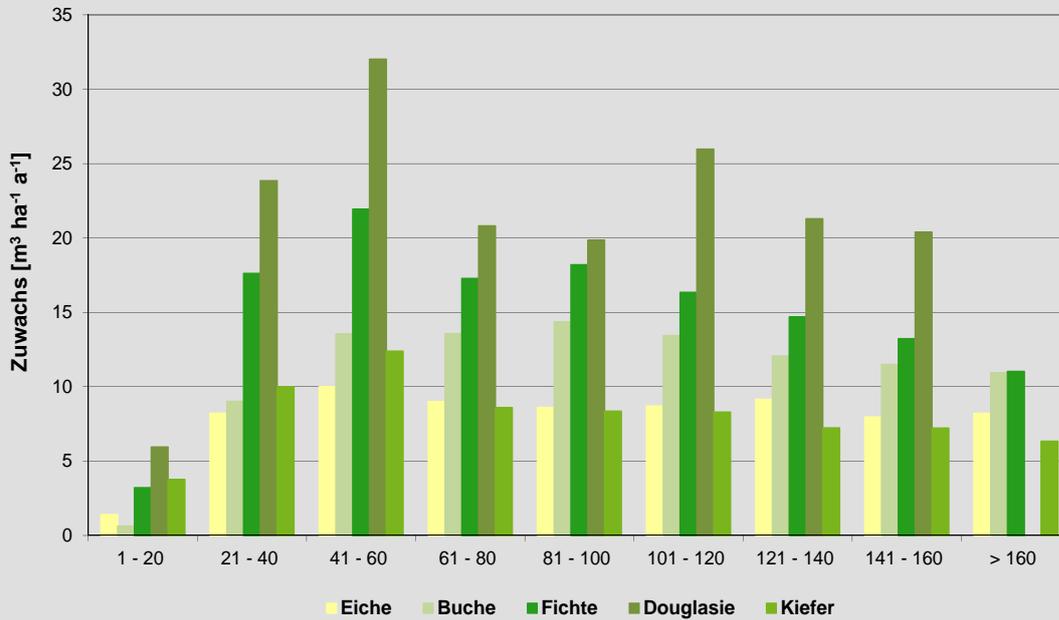
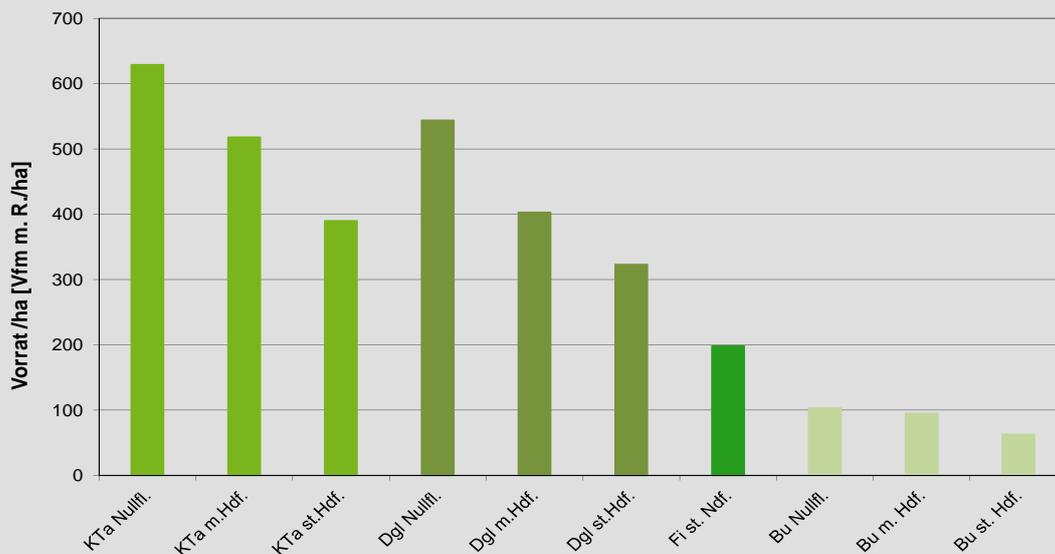


Abbildung 13 / Figure 13

Vorräte von Versuchsbeständen im Solling mit Küstentanne (KTa), Douglasie (Dgl) und Fichte (Fi) im Alter 32 sowie Buche (Bu) im Alter 36 auf vergleichbaren Standorten (frisch bis vorratsfrisch, ziemlich gut versorgt)

Growing stock of experimental stands in the Solling Mts. including grand fir, Douglas-fir and Norway spruce at age 32 as well as beech at age 36 growing on comparable sites (moderately moist to moist, moderate nutrient supply)



Nullfl. = Nullfläche; m. Hdf. = moderate Hochdurchforstung; st. Hdf. = starke Hochdurchforstung; st. Ndf. = starke Niederdurchforstung

Abbildung 14 / Figure 14

Unterschiede zwischen besseren und schlechteren Herkünften im Vergleich zum Durchschnitt bezogen auf ihre Höhenwuchsleistung (Leistungsklasse) (KLEINSCHMIT, 2002)

Differences between better and worse provenances compared to the average related to the height growth performance (yield class) (KLEINSCHMIT, 2002)

	Bessere Herkünfte	Schlechtere Herkünfte
Eiche	+ 0,7	- 0,5
Buche	+ 0,5	- 0,3
Douglasie	+ 2,5	- 2,0
Fichte	+ 1,9	- 1,7

Zwischenfazit:

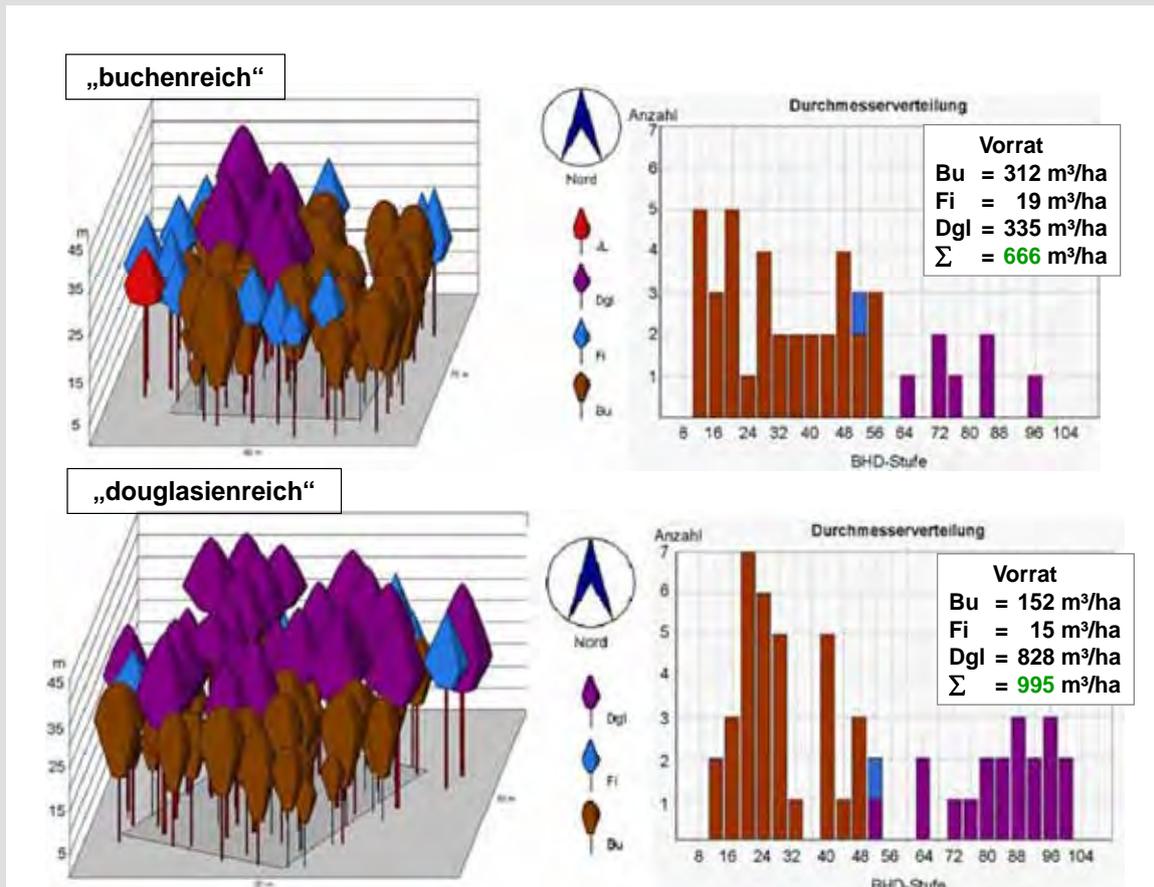
Der Übergang zum naturnahen Waldbau in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts war nicht das Ergebnis ökonomischer Analysen oder von Holzmarktprognosen, sondern basierte überwiegend auf ökologischen und umweltpolitischen Überlegungen. Die daraus resultierende Laubwaldvermehrung läuft heute Gefahr, dass sie an den Bedürfnissen des Holzmarktes vorbeigeht und die Ertragsaussichten der Forstbetriebe wesentlich verschlechtert. Zur Sicherung der ökonomischen Basis der Forstbetriebe und der Nadelrohholzversorgung darf der Anbau von Nadelbaumarten nicht weiter vernachlässigt werden. Dabei sind die sich durch den Klimawandel verändernden biotischen und abiotischen Risiken zu beachten.

- **Mischungsanteile und Mischungsform**

Abbildung 15 / Figure 15

Buchen-Douglasien-Mischbestandsversuch Dassel 1071; Aufnahme 2003: Bu 108j./Dgl 103j., Vergleich zwischen buchen- bzw. douglasienreicher Mischung

Mixed beech-Douglas-fir experimental stand Dassel 1071; inventory 2003; beech 108-y, Douglas-fir 103-y; comparison between mixtures rich in beech resp. Douglas-fir



Zwischenfazit:

In der Mischwaldvermehrung liegt die forstbetriebliche Chance für einen Kompromiss zwischen ökologischen und ökonomischen Anforderungen. Hierbei dürfen jedoch die Bedeutung der Mischungsanteile und der Mischungsformen nicht unterschätzt werden. Aufgrund der ökologischen Eigenschaften unserer Hauptbaumarten gibt es so gut wie keine spannungsfreie Mischungen. Angemessene Nadelbaumanteile auch auf besseren Standorten in horstweiser bis kleinflächiger Mischung können dazu beitragen, die Flächenverluste der beiden letzten Jahrzehnte teilweise zu kompensieren, die Versorgungsengpässe beim Nadelrohholz abzupuffern und Naturverjüngungen zu ermöglichen. Mischbestände verteilen zudem das Risiko und begrenzen das Schadensausmaß bei Kalamitäten.

6 FAZIT

Deutschland hat eine leistungsfähige Forstwirtschaft. Die einheimischen Rohholzpotenziale bilden zum einen die Grundlage für eine prosperierende Holzwirtschaft und zum anderen für den Ausbau der erneuerbaren Energien. Mittlerweile zeichnen sich Versorgungsengpässe ab. Auf den steigenden Rohholzbedarf kann die Forstwirtschaft nur unter Wahrung der Nachhaltigkeit reagieren. Dies schließt eine Abkehr von einem Waldbau auf ökologischen Grundlagen ebenso aus wie eine Übernutzung der Bestände zur kurzfristigen Überwindung von Versorgungsengpässen. Zur Vermeidung der sich bereits abzeichnenden Versorgungsengpässe muss es darum gehen, bisher ungenutzte

Rohholzpotenziale zu erschließen, nachhaltig nutzbare Zuwächse weitgehend abzuschöpfen, Altholzüberhänge abzubauen und die Flächenproduktivität bei der Bestandespflege stärker zu berücksichtigen. Langfristig muss die Forstwirtschaft dafür Sorge tragen, dass angemessene standortsgerechte Nadelbaumanteile bei der Bestandesbegründung gesichert und Kalamitätsnutzungen durch die Entwicklung stabiler Mischbestände begrenzt werden. Durch organisatorische, technische und vor allem waldbauliche Maßnahmen erscheint es möglich, das Rohholzangebot aus dem Wald nachhaltig auf ca. 80 bis 90 Mio. m³/a zu steigern.

7 LITERATUR

- BMELV (2009): Holzmarktbericht 2008. <http://www.bmelv.de>.
- BMU (2009): Erneuerbare Energien. <http://www.bmu.de>.
- BMVEL (2004): Die zweite Bundeswaldinventur – BWI 2. Das Wichtigste in Kürze. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.), Bonn, 87 Seiten.
- HANSEN, J., LUDWIG, A., SPELLMANN, H., NAGEL, J., MÖHRING, B., VON LÜPKE, N. & SCHMIDT-WALTER, P. (2008): Rohholzpotenziale und ihre Verfügbarkeit in Hessen. Eigendruck, Göttingen, 47 Seiten.
- HETSCH, S., STEIERER, F. & PRINS, C. (2008): Wood resources availability and demands: Part 2: Future wood flows in the forest and energy sector; European countries in 2010 and 2020. Geneva. UNECE, p.22.
- KLEINSCHMIT, W. (2002): Herkunftsfrage aus der Sicht der Betriebswirtschaft. Jahrestagung des Nordwestdeutschen Forstvereins 2002 in Hann. Münden, Nienburg, S.28-33.
- MANTAU, U. (2008): Entwicklung der stofflichen und energetischen Holzverwendung. Vortrag anlässlich des Symposiums „Gesamtstrategie Wald 2020“. Berlin, 10.12.2008.
- MANTAU, U., WEIMAR, H. & SÖRGEL, C. (2004): Holzrohstoffbilanz Deutschland – Bestandsaufnahme 2002. www.bundeswaldinventur.de/media/archive/226.pdf.
- MEIWES, K.J. (2006): Standörtliche Nachhaltigkeit und Restholznutzung zu Energieholzzwecken. Vortrag gehalten auf der Forstwissenschaftlichen Tagung 2006 in Tharandt.
- POLLEY, H., HENNIG, P. & SCHWITZGEBEL, F. (2009a): Holzvorrat, Holzzuwachs, Holznutzung in Deutschland. AFZ-Der Wald 64: 1076-1078.
- POLLEY, H., HENNIG, P. & KROIHER, F. (2009b): Baumarten, Altersstruktur, Totholz in Deutschland. AFZ-Der Wald: 64: 1074-1075.
- RÜTHER, B., HANSEN, J., LUDWIG, A., SPELLMANN, H., NAGEL, J., MÖHRING, B.U. & DIETER, M. (2007): Clusterstudie Forst und Holz Niedersachsen. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 1, Universitätsverlag Göttingen, 92 Seiten.
- RÜTHER, B., HANSEN, J., SPELLMANN, H., NAGEL, J., MÖHRING, B., SCHMIDT-WALTER, P. & DIETER, M. (2008a): Clusterstudie Forst und Holz Sachsen-Anhalt. Eigendruck, Göttingen, 60 Seiten.
- RÜTHER, B., HANSEN, J., LUDWIG, A., SPELLMANN, H., NAGEL, J., MÖHRING, B., VON LÜPKE, N.V., SCHMIDT-WALTER, P. & DIETER, M. (2008b): Clusterstudie Forst und Holz Schleswig-Holstein. Eigendruck, Göttingen, 78 Seiten.
- RUMPF, H. (2008): Erste Ergebnisse des Projektes Schnellwuchsplantagen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zur Erzeugung von Energiepflanzen. Vortrag gehalten auf der Bioenergie-Tagung des Niedersächsischen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe (3 N) am 27.11.2008 in Visselhövede.
- SPELLMANN, H. (2005): Produziert der Waldbau am Markt vorbei? AFZ/Der Wald 60: 454-459.
- SPELLMANN, H. (2008): Die Kiefer – ein Auslaufmodell? – Beiträge für eine zielgerichtete Entwicklung. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.): Die Waldkiefer. Fachtagung zum Baum des Jahres 2007. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 2, S.63-78.
- WELLER, (2006): Abschließende Auswertung des Douglasien-Standraumversuches Hagenbach X2a, 2b, 5a. Tagungsband der Jahrestagung der Sektion Ertragskunde in DVFFA vom 29.-31-05-2006 in Staufen / Breisgau, S.134-148.
- ZMP, 2008: ZMP-Marktbilanz Forst und Holz 2008. ZMP Zentrale Markt- und Preisberichtsstelle, Bonn, 145 Seiten.

FORSTPFLANZENZÜCHTUNG – SITUATIONSANALYSE ANGESICHTS ROHSTOFFVERKNAPPUNG UND KLIMAWANDEL

FOREST TREE BREEDING – SITUATION ANALYSIS IN VIEW OF SHORTAGE OF RAW MATERIAL AND CLIMATE CHANGE

A. Janßen¹, B. Degen², M. Konnert³, H.-M. Rau¹ & H. Wolf⁴

1 Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Abt. Waldgenressourcen,
D-34346 Hann. Münden

2 Johann Heinrich von Thünen-Institut, vTI-Institut für Forstgenetik, D-22927 Großshansdorf

3 Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP), D-83317 Teisendorf

4 Referat Forstgenetik / Forstpflanzenzüchtung, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft,
Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS), D-01796 Pirna

ABSTRACT

Globally the forest area is decreasing while the demand of wood still increases. The adaptability of the forest ecosystems is seriously requested due to the expected climate change. Forest tree breeding is a possibility to increase the productivity of the forest area while the adaptability is sufficient.

Different purposes argue for a uniform breeding strategy for Germany. Only a few institutions work on conventional forest tree breeding. Cross-border challenges and clearance with silvicultural strategies of the German Federal States have to be considered. A uniform strategy should benefit politics, administrations as well as forest seed companies and nurseries.

Forest tree breeding differs from agricultural breeding because of the long time of regeneration periods of trees. Objectives of breeding like yield

increase, quality improvement, environmental tolerance or pest resistance could be achieved by means of selection, hybridization and mutation breeding over a long period.

Many examples of successful breeding programs are well-known in numerous countries. Results by use of breeding have also been verified in Germany. However, need for action is necessary, because only sections of breeding are executed. The superior aim has to be the setting up of breeding programs specific to tree species.

Keywords: forest tree breeding, shortage of raw material, climate change, breeding strategy

ZUSAMMENFASSUNG

Weltweit nimmt die Waldfläche bei gleichzeitig stetig steigender Nachfrage nach Holz ab. Die erwartete Klimaänderung stellt zudem erhebliche Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit des Ökosystems Wald. Forstpflanzenzüchtung ist eine Möglichkeit, die Produktivität auf der Fläche unter Beibehaltung einer ausreichend hohen Anpassungsfähigkeit zu steigern.

Verschiedene Gründe sprechen für die Aufstellung einer einheitlichen Züchtungsstrategie für Deutschland. Nur noch wenige Institutionen betreiben klassische Forstpflanzenzüchtung. Grenzüberschreitende Herausforderungen sind ebenso zu beachten wie die Abstimmung mit Waldbaustrategien der einzelnen Bundesländer. Eine einheitliche Strategie käme sowohl der Politik und den Verwaltungen als auch den Forstsaatgutbetrieben und Baumschulen zugute.

Aufgrund der langen Regenerationszeiträume der Bäume unterscheidet sich Forstpflanzenzüchtung von landwirtschaftlicher Züchtung. Mit Hilfe von Auslese-, Kreuzungs- und Mutationszüchtung können die Züchtungsziele wie Ertragssteigerung, Qualitätsverbesserung, Umwelttoleranz oder Krankheitsresistenz nur über relativ lange Zeiträume erreicht werden.

International sind viele Beispiele von erfolgreichen Züchtungsprogrammen bekannt. Aber auch national sind Erfolge durch Züchtung nachgewiesen. Dennoch besteht Handlungsbedarf, weil nur Teilbereiche der Züchtung bearbeitet werden. Ziel muss die baumartenspezifische Aufstellung von Züchtungsprogrammen sein.

Schlagwörter: Forstpflanzenzüchtung, Rohstoffverknappung, Klimawandel, Strategie

1 EINLEITUNG

Mit steigenden Energiepreisen und der Suche nach CO₂-neutralen Energiequellen steigt die Nachfrage nach Holz stetig. So ist z.B. der Energieholzverbrauch in Deutschland zwischen 1995 und 2007 von 19 auf 43 Mio. m³ gestiegen. Bis 2020 wird mit einem weiteren Anstieg auf bis zu 65 Mio. m³ gerechnet (Holzzentralblatt vom 20.02.2009). Holz wird aber nicht nur vom Energiesektor (Wärmebereich, Stromerzeugung, Biokraftstoffe) verstärkt nachgefragt, auch im stofflich-mechanischen und im chemischen Bereich werden hohe Wachstumsraten prognostiziert. Da die globale Waldfläche bei gleichzeitig rasant steigender Weltbevölkerung insgesamt rasch abnimmt, müssen alle Möglichkeiten zur Steigerung der Holzproduktion auf den verbleibenden Waldflächen genutzt werden. Dazu gehört neben der Verbesserung der Bewirtschaftungsmethoden bestehender Wälder und der nachhaltigen Nutzung bislang ungenutzter Vorräte auch die Steigerung der Holzproduktion durch Züchtung.

Nach ROHMEDE & SCHÖNBACH (1959) ist Forstpflanzenzüchtung „die Tätigkeit des Menschen, Waldbäume und -sträucher in ihren Erbanlagen so zu beeinflussen und zu verbessern, dass sie den wirtschaftlichen Zielsetzungen und Bedürfnissen des Menschen bestens entsprechen“.

WEISGERBER (1983) definiert Züchtung ähnlich, erweitert aber die Zielsetzung, wenn er schreibt, dass Züchtung als Ziel hat, „Waldbäume in ihren Erbanlagen so beeinflussen, dass sie den an sie gerichteten anthropogenen Ansprüchen optimal gerecht werden“. Nicht der wirtschaftliche Nutzen, die Holzproduktion allein, sondern auch andere Ansprüche im Rahmen einer multifunktionalen Forstwirtschaft können Züchtungsziel sein. Spätestens seit dem Umweltgipfel in Rio 1992 ist die Nachhaltigkeit im Umgang mit Ressourcen, auch mit Genressourcen, ein wichtiges Anliegen der Gesellschaft. Eine nachhaltige Züchtung muss neben der Erreichung eines bestimmten Züchtungsziels auch den Erhalt der genetischen Ressource, aus welcher sie schöpft, gewährleisten (KLEINSCHMIT, 2004). Gerade im Klimawandel mit all seinen Unsicherheiten kommen für den überwiegenden Teil der Waldfläche nur Züchtungsstrategien in Frage, die den Erhalt der genetischen Vielfalt und damit die langfristige Anpassungs- und Überlebensfähigkeit unserer Wälder sichern.

Züchtung ist nur durch eine hohe genetische Variabilität der Individuen einer Population und die Vererbung bestimmter Eigenschaften auf die Nachkommen möglich. Voraussetzungen für eine erfolgreiche Züchtung sind also das Vorhandensein

genetischer Variation, aber auch die Anpassungsfähigkeit der gezüchteten Population an die standortgegebenen Umweltbedingungen (HATTEMER et al., 1993). Nicht jede gewünschte Eigenschaft kann durch Züchtung erreicht werden. Zudem darf die züchterische Verbesserung bestimmter Merkmale nicht mit Nachteilen bei anderen Eigenschaften erkaufte werden. Bei einer nachhaltigen Züchtung dürfen das Ergebnis und die anschließende Produktion möglichst keine negativen Effekte auf andere Ressourcen haben (KLEINSCHMIT, 2004).

Forstpflanzenzüchtung wird oft mit Gentechnik gleichgesetzt. Gentechnik ist im weiteren Sinne ein Verfahren der Forstpflanzenzüchtung. Konventionelle Forstpflanzenzüchtung nutzt das in der Natur reichlich vorhandene genetische Material

(Erbanlagen), ohne es zu verändern. Sie selektiert aus dem natürlich vorhandenen Genpool das, was sie als nützlich erachtet, oder sie kombiniert durch Kreuzungen das Erbgut neu.

Gentechnik beinhaltet dagegen die gezielte Veränderung von in der Natur vorkommendem Erbmateriale. Das Erbgut wird aus den Zellen isoliert, unter künstlichen Bedingungen neu kombiniert und dann wieder in die Zelle eingebracht. Es entsteht so ein genetisch veränderter oder „transgener“ Baum, der neue Eigenschaften besitzt. Auch sind Kombinationen von Erbgut über Artgrenzen hinweg möglich. Im Folgenden wird Forstpflanzenzüchtung unter Ausschluss gentechnischer Verfahren verstanden.

2 WARUM BRAUCHEN WIR EINE EINHEITLICHE STRATEGIE FÜR FORSTPFLANZENZÜCHTUNG IN DEUTSCHLAND?

In Deutschland wird klassische Forstpflanzenzüchtung heute im Wesentlichen nur noch von drei Institutionen betrieben. Diese sind das Johann Heinrich von Thünen-Institut für Forstgenetik (vTI) des Bundes in Großhansdorf und Waldsiedersdorf, das Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft des Staatsbetriebes Sachsenforst (SBS) in Graupa und die Abteilung Waldgenressourcen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) in Hann. Münden. Die anderen in diesem Bereich tätigen Institutionen der Länder decken nur Teilbereiche der Züchtung ab oder haben sich auf andere Aufgaben in Zusammenhang mit forstlichem Vermehrungsgut konzentriert. Privates Engagement spielt nur eine untergeordnete Rolle. Diese Situation unterscheidet sich wesentlich von der beispielsweise in Frankreich, Finnland oder auch Neuseeland, wo Forstpflanzenzüchtung von einem oder zwei Instituten das ganze jeweilige Land abdeckend betrieben wird.

Vor diesem Hintergrund wundert es nicht, dass es bislang keine einheitliche Strategie für Forstpflanzenzüchtung in Deutschland gibt, die für bestimmte Baumarten oder Artengruppen ein gemeinsames Züchtungsziel definiert. Dies erscheint

aber notwendig sowohl unter ökonomischen (Leistungssteigerung bei optimaler Ressourcennutzung) als auch ökologischen (Erhaltung der Anpassungsfähigkeit) Gesichtspunkten.

Eine nationale Forstpflanzenzüchtungsstrategie ist zum einen wichtig, weil die Forstwirtschaft und damit auch die Forstpflanzenzüchtung mehr als in der Vergangenheit in grenzüberschreitende Entwicklungen und Herausforderungen (z.B. Klimaänderung, Rohstoffverknappung) eingebunden sind. Dies kommt zum Ausdruck in internationalen Abkommen wie z.B. der Konvention über die Biologische Vielfalt (CBD), in europäischen Organisationen wie den Ministerkonferenzen zum Schutz der Wälder in Europa (MCPFE) oder dem Europäischen Programm für forstgenetische Ressourcen (EUFORGEN), dem sich inzwischen 33 Länder angeschlossen haben und mit dem weitere 14, auch nichteuropäische Staaten zusammenarbeiten. Teilweise sehr konkrete Bewirtschaftungsvorgaben kommen ferner durch die Zertifizierungssysteme PEFC und FSC. Schließlich sind auch befristete, von der EU finanzierte Projekte zu nennen wie TREE-BREEDEX, die sich um die Zusammenarbeit europäischer forstlicher Züchtungsinstitutionen bemühen.

Wesentlich verbindlicher für ganz Deutschland sind rechtliche Vorgaben für den Handel mit forstlichem Vermehrungsgut, wie die Richtlinien der OECD und vor allem der EU sowie das deutsche Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) mit seinen untergesetzlichen Vorschriften.

Mit einer einheitlichen Strategie im Bereich Forstpflanzenzüchtung fiel es zum anderen leichter, sich mit den allgemeinen waldbaulichen Strategien (z. B. LÖWE für Niedersachsen, RIBES für Hessen) abzustimmen, die von den Bundesländern erarbeitet werden, um ihre forstwirtschaftlichen Ziele auf der Grundlage der oben genannten Rahmenbedingungen zu erreichen. Allerdings können viele forstpflanzenzüchterische Aktivitäten nur dann erfolgreich sein, wenn die waldbaulichen Zielvorstellungen nicht zu rasch und grundlegend verändert werden. Wegen der jahrzehntelangen Dauer von züchterischen Vorhaben bestünde ohne eine abgestimmte langfristige Strategie die Gefahr, dass einmal gefasste Ziele verändert werden, bevor sie überhaupt erreicht werden können.

Eine abgestimmte Strategie im Bereich Forstpflanzenzüchtung würde auch Politik, Verwaltungen und Betriebsleitungen helfen, neue Gesetze und Verwaltungsvorschriften zu formulieren oder Aufträge an nachgeordnete Dienststellen zu erteilen und die dafür erforderlichen Mittel langfristig bereitzustellen.

Auf nationaler, besonders aber auf internationaler Ebene wäre eine strategische Grundlage sehr hilfreich, um Fördermittel für Forschungsprojekte einzuwerben. Die Chancen, für ein isoliertes Projekt von regional sehr begrenzter Wirkung finanzielle Unterstützung zu bekommen, sind sehr gering. Sie steigen hingegen deutlich an, wenn es gelingt, andere Partner mit gleichen Zielen in einen Verbund einzubeziehen.

Die Sinnhaftigkeit von Forstpflanzenzüchtung wird gelegentlich grundsätzlich in Frage gestellt (z.B. BURSCHEL, 1989). Züchterische Aktivitäten im und für den Wald werden von Naturschützern als von Menschen veranlasste Störung natürlicher Prozesse angesehen. Mithilfe einer auch Aspekte des Naturschutzes berücksichtigenden Strategie ließe sich die Akzeptanz züchterischer Maßnahmen deutlich erhöhen.

Schließlich würde eine solche langfristig ausgerichtete Strategie mehr Planungssicherheit für Samen- und Baumschulbetriebe schaffen und könnte dazu beitragen, dass sich die Marktpartner besser, als dies bisher der Fall ist, aufeinander abstimmen (PEIN, 2006).

Viele Versuche im Bereich Forstpflanzenzüchtung werden als Gemeinschaftsprojekt mehrerer nationaler oder sogar internationaler Forschungsanstalten angelegt, betreut, aufgenommen und ausgewertet. Notwendigkeit, Ziele und Vorgehensweisen dieser Versuche müssen aufeinander abgestimmt werden. Eine strategische Grundlage wäre hierbei mit Sicherheit hilfreich.

Auf nationaler Ebene ist die Arbeitsgemeinschaft der Länderinstitutionen für Forstpflanzenzüchtung¹ dabei, ein Handbuch zu erstellen, in welchem für forstliche Vergleichsprüfungen standardisierte Handlungsempfehlungen gegeben werden.

Im europäischen TREEBREEDEX-Projekt wird zurzeit eine webbasierte Datenbank aufgebaut, die allen Nutzern als virtuelles Forstpflanzenzüchtungszentrum Informationen zu nationalen Züchtungsprogrammen und Ergebnisse von Versuchen zur Verfügung stellt.

¹ Der Arbeitsgemeinschaft gehören die mit Forstpflanzenzüchtung und Forstgenetik betrauten Institutionen der Länder Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und des Bundes an.

3 WAS UNTERSCHIEDET FORST- PFLANZENZÜCHTUNG VON ANDEREN ZÜCHTUNGSBEREICHEN?

Forstpflanzenzüchtung arbeitet mit Waldbäumen und damit im Vergleich zur landwirtschaftlichen Züchtung mit langlebigen Züchtungsobjekten. Lange Regenerationszeiten der Bäume bestimmen die Züchtungszyklen. Hinreichend groß muss aber auch die genetische Vielfalt sein, um es Baum- und Strauchpopulationen zu ermöglichen, langfristig zu überleben und sich zu reproduzieren. Daraus ergeben sich spezifische Probleme, die es in anderen Züchtungsbereichen so nicht gibt:

Erfolge forstpflanzenzüchterischer Maßnahmen können sich aufgrund der langen Regenerationszeiten vielfach erst nach vergleichsweise langen Zeiträumen einstellen. Diese Zeiträume verlängern sich noch beträchtlich, wenn weitere Selektionsschritte vorgesehen sind, wie etwa die Auswahl und erneute Prüfung der besten Bäume aus den besten Nachkommenschaften einer Bestandesprüfung. Innerhalb dieser langen Zeiträume können sich wichtige Rahmenbedingungen erheblich verändern. Das gilt nicht nur für ökonomische Bedingungen wie Holzverwertungsmöglichkeiten und die Entwicklung von Preisen und Kosten, sondern auch für daraus abgeleitete waldbauliche Zielvorgaben, die immer wieder dazu führen, dass sich das Interesse an bestimmten Baumarten grundlegend verändern kann.

Ein typisches Beispiel ist hier die Pappelzüchtung, die in den 1990er Jahren nach langer Aufbauarbeit in Deutschland fast eingestellt wurde und seit einigen Jahren in Zusammenhang mit der Rohstoffverknappung und der raschen Erzeugung von Biomasse wieder als notwendig eingefordert wird.

Hinzu kommt, dass Fördergelder für Forschungsvorhaben in aller Regel nur für drei Jahre bewilligt werden, eine Frist, die für viele Fragestellungen der Forstpflanzenzüchtung viel zu kurz ist. Andererseits bestehen nur wenige Möglichkeiten, im Nachhinein über Sortenschutz- und Patentrechte oder über Markennamen wie silvaSELECT® Aufwendungen für Forschungen zu finanzieren. Diese ungünstigen ökonomischen Bedingungen führen dazu, dass

Forstpflanzenzüchtung in Deutschland fast ausschließlich von staatlich finanzierten Forschungsanstalten betrieben wird. Der Sparzwang in diesen Institutionen wirkt sich auch auf die Arbeiten in diesem Bereich negativ aus.

Aber auch die ökologischen Rahmenbedingungen verändern sich in den genannten Zeiträumen gravierend. Das gilt nicht nur für biotische Einwirkungen durch Insekten und Pilze oder für kurzfristige Wettererscheinungen (Frost, Sturm, ...), sondern, wie uns zunehmend deutlich wird, auch für das Klima. So kann es durchaus sein, dass eine südliche Herkunft in einem Herkunftsversuch versagt oder anderen Herkünften unterlegen ist, weil sie noch zu Zeiten ausgepflanzt wurde, wo es für sie zeitweise zu kalt war. Dieselbe Herkunft könnte sich, 20 Jahre später ausgebracht, völlig anders entwickeln.

Eine weitere Besonderheit der Forstpflanzenzüchtung ist, dass sie mit weitgehend vom Menschen unbeeinflussten Ausgangspopulationen arbeitet. Anders als Kulturpflanzen handelt es sich bei Waldbäumen um „Wildpflanzen“ mit hoher genetischer Diversität (FLADUNG, 2008).

Auch in psychologischer Hinsicht hat Forstpflanzenzüchtung keinen leichten Stand. Der Wald und seine Bäume werden von vielen Menschen als Bestandteil einer noch weitgehend heilen Natur betrachtet, die man nicht manipuliert sehen möchte. So wurde Züchtung in Zusammenhang mit Waldbäumen quasi zum Unwort und infolgedessen auch vorsorglich aus den Namen einiger damit befasster Institutionen verbannt. Ähnliche Ressentiments bestehen gegenüber Klonen und Samenplantagen, Begriffe, die Assoziationen zur unerwünschten Plantagenforstwirtschaft wecken und zugleich mit genetischer Einengung in Verbindung gebracht werden. In der Folge spricht man, ähnlich wie im Englischen, statt von Samenplantagen lieber von Samengärten. Auch die vielfach zu unkritische Nutzung der Naturverjüngung gehört in diesen Zusammenhang. Wenn dabei ein aus genetischer Sicht ungeeigneter

Bestand natürlich verjüngt wird, gilt das als naturgemäß und damit positiv im Gegensatz zur Kunstverjüngung, auch wenn man für den Standort besser geeignetes Material verwendete.

Die Durchführung züchterischer Maßnahmen stellt die Akteure vor besondere Herausforderungen. Die meisten Bäume blühen und fruktifizieren erst in höherem Alter, wenn der Baum schon eine

beachtliche Höhe erreicht hat. Damit sind die Blüten und Samen nur durch Besteigen mit Leitern oder mit Hubsteigern erreichbar. Gelenkte Freiland-Kreuzungen unterliegen ähnlichen Erschwernissen. Vielfach müssen diese Arbeiten in abgelegenen Gegenden und bei unwirtlichen Witterungsbedingungen durchgeführt werden.

4 ZIELE DER FORSTPFLANZENZÜCHTUNG

Am Anfang jeder züchterischen Arbeit steht die Definition eines Züchtungsziels. Auf dieses ausgerichtet findet dann die Züchtung als zielgerichteter Prozess statt. Dabei kann ein Züchtungsziel die Verbesserung eines Merkmals oder einer Gruppe von Merkmalen sein. Als generelle Ziele kommen vor allem in Frage (in Klammern Beispiele):

- Ertragssteigerung (Volumen)
- Qualitätsverbesserung (Geradschaftigkeit, Feinästigkeit)
- Umwelttoleranz (Trockenstress)
- Krankheitsresistenz (Pilzresistenz)

Um die gesteckten Züchtungsziele zu erreichen, können unterschiedliche Züchtungsverfahren verwendet werden, deren Einsatzmöglichkeit wiederum von diversen Faktoren wie beispielsweise der Reproduktionsbiologie oder der Vermehrungstechnik der Baumarten abhängig sind. Voraussetzung jeder Züchtung ist weiterhin, dass die Merkmale, auf die gezüchtet werden soll, einer genetischen Kontrolle unterliegen. Klassische Züchtungsverfahren sind

- Auslesezüchtung,
- Kreuzungszüchtung einschließlich Kombinations-, Hybrid- und Heterosiszüchtung sowie
- Mutationszüchtung einschließlich gentechnischer Verfahren.

In Deutschland wird weit überwiegend „**ausgewähltes Vermehrungsgut**“ verwendet. Da die **Bestandesauswahl** auf okularer Einschätzung einiger Merkmale basiert, die ausgehend von der jeweiligen genetischen Variation auch umwelt- und standortabhängig variieren, ist der Züchtungsfortschritt nur als gering einzuschätzen. Erst mit der Verwendung „**geprüften Vermehrungsgutes**“ hat eine Selektion bzw. Kombination stattgefunden, die einen deutlich größeren Züchtungsfortschritt

ergibt.

In **Bestandesprüfungen** wird im Vergleich zu im Forstvermehrungsgutrecht festgelegten Standardbeständen die Überlegenheit der Nachkommenschaft eines Bestandes auf mehreren Versuchsflächen umwelt- und standortunabhängig geprüft. Die statistisch signifikante, vom Forstvermehrungsgutrecht geforderte Überlegenheit basiert auf der genetischen Struktur der jeweiligen Bestände.

Ein anderer Züchtungsschritt ist die **Auswahl von Plusbäumen**, die dann nach vegetativer Vermehrung auf Samenplantagen zusammengefasst werden. Dieses dort geerntete „**qualifizierte Vermehrungsgut**“ weist ebenfalls bereits einen Züchtungsfortschritt auf. Viele der Samenplantagen sind zudem bereits in der Kategorie „geprüft“ zugelassen, da sie in Vergleichsprüfungen ihre Überlegenheit gegenüber Standardbeständen bewiesen haben. Ausgehend von den „qualifizierten“ Samenplantagen können über Prüfung der Nachkommen der einzelnen Plusbäume Hochzucht-samenplantagen aufgebaut werden, die einen weiteren Züchtungsfortschritt darstellen (u.a. GROTEHUSMANN, 1998, 2001; RUOTSALAINEN, 2008; WHITE et al., 2003; MCKEAND & BRIDGWATER, 1998).

Die **vegetative Vermehrung** einzelner Plusbäume ergibt einen weiteren Züchtungsfortschritt, da nach Klonprüfungen nur die besten Klone Verwendung finden (SMART et al., 2005). Durch Anbau von mehreren Einzelklonen auf derselben Fläche oder von Mehrklonsorten ist die genetische Diversität und damit die Anpassungsfähigkeit vergleichbar hoch oder sogar höher als bei Bestandesabsaaten, wie bei der Kirsche (*Prunus avium*) nachgewiesen wurde (GEBHARDT & JANSSEN, 2003). Dieses ist vor

allem wichtig bei späterer Naturverjüngung, insbesondere um auch Inzuchteffekte auszuschließen.

Letztlich kann nur eine nachhaltige Forstpflanzenzüchtung garantieren, dass die gesteckten Züchtungsziele erreicht werden, ohne die Erhaltung der zum Überleben wichtigen genetischen Anpassungsfähigkeit zu gefährden. Bei der Züchtungsarbeit muss nicht nur die Heritabilität einzelner Merkmale, sondern auch der Züchtungseinfluss auf die genetische Vielfalt und die mögliche Beeinträchtigung der Anpassungsfähigkeit beachtet werden. Die Züchtungsprodukte, seien es Bestandes- oder Samenplantagenabsaaten oder vegetativ vermehrte Mehrklonsorten, müssen erwarten lassen, dass sie bis zum Generationswechsel stabile und viable Bestände bilden können. Ein Generationswechsel durch Naturverjüngung darf zudem

keine nachteiligen Folgen, beispielsweise durch Inzuchteffekte auf die spätere Anpassungsfähigkeit haben. WEISGERBER (1990b) hat die Notwendigkeit eines Gleichgewichts zwischen Ertragsstabilität und Ertragsleistung bzw. Ertragsqualität beschrieben. Danach muss dem praxisorientierten Züchter an hohen und hochwertigen, vorrangig aber auch an sicheren Erträgen gelegen sein. Zeitgleich müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die forstlichen Genressourcen *in situ* oder *ex situ* zu erhalten.

Die anzuwendende Züchtungsstrategie ist sehr von den biologischen Gegebenheiten der einzelnen Baumarten abhängig, so dass nur eine baumartenspezifische Betrachtungsweise zielführend ist. In Tabelle 1 sind für drei unterschiedliche Baumarten die zu berücksichtigenden Aspekte aufgeführt.

Tabelle 1 / Table 1

Überlegungen zur Züchtungsstrategie bei Rot-Buche und Vogel-Kirsche sowie Schwarz- und Balsam-Pappeln für den Kurzumtrieb

Considerations of the breeding strategy concerning short rotation of beech and wild cherry as well as black poplar and balsam poplar

Baumart	Rot-Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)	Vogel-Kirsche (<i>Prunus avium</i>)	Schwarz- und Balsam-Pappeln für den Kurzumtrieb (<i>Populus sp.</i>)
Ausgangslage	in Deutschland natürlich vorkommende Hauptbaumart mit relativ vielen großen Beständen, die in der Regel über Naturverjüngung in die nächste Generation überführt werden; auf Versuchsflächen schneiden örtliche Herkünfte nicht immer am besten ab	in Deutschland natürlich vorkommende Nebenbaumart mit hohem Holzwert, die in relativ kleinen Populationseinheiten vorkommt, also für Naturverjüngung i.d.R. nicht in Frage kommt; zudem sind in größeren Kirschenbeständen durch Wurzelbrut sehr viele genetisch identische Individuen vorhanden	nur die Europäische Schwarzpappel (<i>Populus nigra</i>) kommt in Deutschland von Natur aus vor; daneben finden sich zahlreiche Anbauten nicht heimischer Schwarz- und Balsampappeln und von Pappelhybriden
Stand Züchtung	viele Bestände zur Erzeugung ausgewählten Vermehrungsgutes vorhanden; nur wenige Bestände zur Erzeugung geprüften Vermehrungsgutes vorhanden; erst seit Ende der 1980er Jahre verstärkt Anlage von Herkunftsversuchen und Bestandesprüfungen	nur wenige Bestände zur Erzeugung ausgewählten Vermehrungsgutes vorhanden; keine Bestände zur Erzeugung geprüften Vermehrungsgutes vorhanden; einige Samenplantagen vorhanden; mehrere geprüfte Klone unter dem Markennamen silvaSELECT vorhanden	Heterosiseffekte durch Hybridzüchtung zwischen verschiedenen Arten aus Europa, Nordamerika und Asien sind bekannt; geprüfte Klone in einer relativ geringen Anzahl vorhanden, allerdings i.d.R. nicht für den Kurzumtrieb, sondern für den Anbau im Wald gezüchtet

Tabelle 1 / Table 1

Fortsetzung (continued)

Baumart	Rot-Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)	Vogel-Kirsche (<i>Prunus avium</i>)	Schwarz- und Balsam-Pappeln für den Kurzumtrieb (<i>Populus sp.</i>).
Stand Erhaltung	In-situ-Erhaltung durch eine große Basispopulation der ausgewählten, natürlich verjüngten Bestände unproblematisch und ausreichend	durch eine relativ kleine, verstreut vorkommende Basispopulation sind zusätzlich Ex-situ-Maßnahmen zur Erhaltung der genetischen Vielfalt notwendig	Erhaltung der Vorkommen der seltenen Schwarzpappel durch Ex situ-Maßnahmen notwendig; Gefahr der Einkreuzung von artfremdem Pollen (Introgression) durch den Anbau von Pappelhybriden und nichtheimischen Pappelarten gegeben
Stand genetische Untersuchungen	Die genetischen Strukturen der Bestände sind weitgehend ähnlich, nur Ostbayern und Teile von Sachsen können vom übrigen Deutschland unterschieden werden. Der Großteil der genetischen Variation findet sich innerhalb und nicht zwischen den Beständen. Es gibt deutliche Unterschiede in der genotypischen Verteilung mit der Höhenlage. Bei naturnaher Bewirtschaftung ist die genetische Diversität nicht gefährdet.	Die genetische Variation zwischen den Beständen ist größer als innerhalb der Bestände. In den Beständen wurden klonale Strukturen festgestellt, ein ausgeprägtes Selbstinkompatibilitätssystem verhindert aber weitgehend Selbstung bzw. Verwandtenpaarung.	Die genetischen Strukturen der Vorkommen der Schwarzpappel unterscheiden sich zwischen Flusssystemen wesentlich deutlicher als entlang der Flüsse. Art- und Klonidentifikationen sind mit genetischen Methoden möglich.
Ausgewählte Bestände	als Basispopulationen notwendig; bessere repräsentative Verteilung auf die Herkunftsgebiete und Standorte wünschenswert	da nur wenige geeignete und genügend große Bestände vorhanden sind, unzureichend	Bei der heimischen Schwarzpappel sind nur sehr wenige ausreichend große Bestände vorhanden, die quantitativ und qualitativ nur selten den Kriterien des FoVG genügen.
Geprüfte Bestände	als Populationen mit geprüften, verbesserten Eigenschaften notwendig	als Populationen mit geprüften verbesserten Eigenschaften geeignet, daher Anlage von Nachkommenschaftsprüfungen wünschenswert	anzahlmäßig zu wenige Bestände, daher Prüfungen nicht zielführend
Samenplantagen	aufgrund spät einsetzender und unregelmäßiger Blüte und relativ geringem Ertrag pro Flächeneinheit unrentabel	aufgrund regelmäßiger Blüte und durch Zusammenführen von Plusbäumen geeignet	nur zur Erhaltung
Vegetativvermehrung	vegetative Vermehrung adulter Buchen nicht möglich, daher nicht zielführend	gute vegetative Vermehrbarkeit	sehr gute vegetative Vermehrbarkeit

Tabelle 1 / Table 1

Fortsetzung (continued)

Baumart	Rot-Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)	Vogel-Kirsche (<i>Prunus avium</i>)	Schwarz- und Balsam- Pappeln für den Kurzumtrieb (<i>Populus sp.</i>)
Kreuzungszüchtung	wegen fehlender Vegetativvermehrungsmöglichkeiten nicht zielführend	möglich, da mit den Kreuzungsprodukten als Klone weitergearbeitet werden kann	erfolgsversprechend, da mit den Kreuzungsprodukten als Klonen weitergearbeitet werden kann
Naturverjüngung	ungeeignete Bestände (z.B. schlechte Stammqualität, Zwiesel) möglichst nicht natürlich verjüngen	nur ausreichend große Bestände bei entsprechender Stammqualität natürlich verjüngen	Naturverjüngung nur unter sehr speziellen standortlichen Gegebenheiten möglich; nur für größere Populationen geeignet
Pflanzung	möglichst mit geprüftem Vermehrungsgut	nur mit geprüftem Vermehrungsgut	nur mit geprüftem Vermehrungsgut
Fazit	Vor allem sollten ungeeignete Bestände nicht natürlich verjüngt werden, sondern durch Pflanzungen möglichst mit geprüftem Vermehrungsgut, notfalls auch mit anderen Baumarten, ersetzt werden; auch bei Neuanpflanzungen sollte vorrangig geprüftes Vermehrungsgut verwendet werden.	Pflanzungen sollten nur mit Vermehrungsgut aus Samenplantagen oder geprüftem Vermehrungsgut aus Vegetativvermehrung oder geprüften Beständen durchgeführt werden; natürliche Verjüngung sollte nur bei ausreichend großen Populationseinheiten durchgeführt werden.	Anlage von Kurzumtriebsflächen nur mit geprüftem Vermehrungsgut; Anbauempfehlungen durch die Unterschiede in der Standortangepasstheit der einzelnen Klone beachten; Gefährdung von Populationen einheimischer Arten durch Introgression beachten.
Züchtungsstrategie	<ol style="list-style-type: none"> 1. Anlage von Bestandesprüfungen junger Bestände 2. Überprüfung der ausgewählten Bestände auf Eignung 3. bezogen auf Standort repräsentative Auswahl jüngerer Bestände zur Zulassung als ausgewählter Bestand 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Züchtung/Selektion vegetativ vermehrter Kirschenarten mit anschließender Klonprüfung 2. Anlage von Samenplantagen mit den gezüchteten Kirschenklonen 3. Anlage von Bestandesprüfungen, 4. Ex-situ-Erhaltungsmaßnahmen zur Ergänzung der In-situ-Erhaltung 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kreuzungszüchtung vegetativ vermehrter Pappelsorten mit anschließender Klonprüfung 2. Untersuchungen zur Introgression in heimische Arten 3. Erhaltung der genetischen Ressourcen der heimischen Schwarzpappel durch Ex-situ-Maßnahmen 4. In-situ-Erhaltung nur in wenigen größeren Populationen möglich

5 BEISPIELE FÜR INTERNATIONALE ZÜCHTUNGSPROGRAMME

Der Blick ins Ausland zeigt, dass es bereits eine Reihe sehr erfolgreicher Züchtungsprogramme bei Bäumen gibt. Hierbei liegt der Schwerpunkt bei schnellwachsenden Baumarten mit einer relativ kurzen Generationsdauer und kurzen Umtriebszeiten. Zu nennen sind hier insbesondere die Züchtungsprogramme mit verschiedenen Eukalyptus-Arten und deren Hybriden in Brasilien und Südafrika (BISON et al., 2007; DVORAK et al., 2008; GRATTAPAGLIA et al., 2004, RETIEF & STRANGER, 2009), *Pinus radiata* in Neuseeland und Australien, *Pinus taeda* im Südosten der USA (McKEAND & BRIGDEWATER, 1998), *Pinus sylvestris* in Schweden und Deutschland (KOHLSOCK & SCHNECK, 1992; HANRUP et al., 2008) und *Pinus pinaster* in Südwestfrankreich (BOUFFIER et al., 2009). Auffällig ist, dass häufig die größten Erfolge mit dem Anbau züchterisch verbesserten Materials außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebiets der Baumarten erzielt wurden.

Die ersten systematischen Züchtungsprogramme haben ihren Anfang in den 1950er Jahren. Bei der Dauer eines Züchtungszyklusses von 10 bis 20 Jahren wird in den genannten Programmen heute mit der 2. bis 5. Generation gearbeitet. Obwohl, wie bereits erwähnt, forstliche Züchtungsprogramme wesentlich langwieriger und logistisch aufwändiger sind als solche in der Landwirtschaft, ist der Züchtungsfortschritt, das heißt die Verbesserung der gezüchteten Merkmale, absolut vergleichbar mit den Erfolgen im Agrarbereich. Eine Steigerung des Zuwachses von 5 % bis zu 30 % je Züchtungszyklus konnte realisiert werden. Fast alle Züchtungsprogramme werden von mehreren Einrichtungen gemeinsam in Form von Konsortien betrieben. Häufig arbeiten öffentliche Forschungseinrichtungen und Universitäten mit privaten Firmen und Waldbesitzern zusammen, wie z.B. die „Radiata Pine Breeding Company“ in Neuseeland oder die „Association Forêt Cellulose (AFOCEL)“ in Frankreich.

Beispielhaft ist die Züchtung von Weiden für die Biomasseproduktion in Schweden. (LARSSON, 1997, 1998). Im Jahr 1998 gab es eine Fläche von 18.000 ha Kurzumtriebsplantagen mit Weiden in Schweden. Die Züchtung erfolgt hierfür durch die Firma

Svalöf Weibull AB. Mit dem Züchtungsprogramm wurde im Jahr 1987 begonnen. Ausgehend von ca. 700 Weidenklonen, die zu 15 Arten (hauptsächlich *Salix viminalis* und *Salix dasyclados*) aus Regionen in Schweden, Mitteleuropa, Russland und Sibirien gehören, wurden jährlich 200 verschiedene Kreuzungen durchgeführt. Anschließend wurden in verschiedenen Selektionsschritten Klone ausgewählt, die ein gesteigertes Wachstum, bessere Frosttoleranz sowie Resistenzen gegenüber dem Rostpilz *Melampsora* und dem Schadinsekt *Dasi-neura marginemtorquens* aufweisen. Die neu zugelassenen Klone aus diesem Züchtungsprogramm weisen einen um 30 % gesteigerten Zuwachs bei deutlich geringerer Frostempfindlichkeit für den Anbau in Mittel- und Nordschweden sowie eine fast vollständige Resistenz gegenüber dem Blattrostpilz und der Gallwespe auf. Bei den Kreuzungen wurde jeweils ein Elternteil mit bereits bekannter Wuchsüberlegenheit ausgewählt. Die eingekreuzten Klone aus Russland und Sibirien haben wesentlich zur gesteigerten Frosttoleranz und Pilzresistenz beigetragen. Die Firma hat mit verschiedenen anderen Einrichtungen in Europa kooperative Züchtungsprogramme begonnen, z.B. mit der Long Ashton Research Station in Bristol, UK.

Die Züchtung von Hybridaspens als schnellwachsende Baumart hat ebenfalls eine lange Tradition in Schweden (CHRISTERSSON, 1996). Hierbei arbeiten schwedische Züchter eng mit Kollegen aus den USA und Kanada zusammen, um Kreuzungspartner von *Populus tremuloides* aus Nordamerika für *P. tremula* aus Europa zu finden, die für Schweden ausreichend frosthart sind und vom Austriebsverhalten her die Vegetationsperiode in Schweden optimal ausnutzen.

Die umfangreichsten Züchtungen bei den Pappeln erfolgten in Europa in Belgien. Ein guter Überblick hierzu findet sich bei NANSON (2004, p.511ff.). Zu den zahlreichen europaweit verwendeten Klonen aus belgischer Züchtung gehören u. a. die bekannten Sorten „Unal“, „Beaupré“, „Boelare“ und „Fritzi-Pauley“.

6 BEISPIELE FÜR ERFOLGREICHE BEITRÄGE ZUR FORSTPFLANZENZÜCHTUNG IN DEUTSCHLAND

6.1 Erhaltung und Förderung forstlicher Genressourcen

Die Existenz genetischer Vielfalt ist eine grundsätzliche Voraussetzung für die züchterische Bearbeitung von Baumarten. Mit dem Verlust von genetischer Vielfalt wird auch der Handlungsspielraum für züchterische Aktivitäten eingeschränkt. Bereits sehr früh warnten Vertreter der Forstpflanzenzüchtung vor einer willkürlichen Einschränkung des Bestandes an genetischen Informationen (ROHMEDEK & SCHÖNBACH, 1959). Bis Ende der 1980er Jahre erfolgten daher Maßnahmen zur Erhaltung von Genressourcen vor allem im Rahmen von Züchtungsprogrammen (u.a. KLEINSCHMIT, 1985; BRAUN & KOHLSTOCK, 1990; WEISGERBER 1990a).

Unter dem Eindruck der zunehmenden Waldschäden in Ost und West Ende der 1970er Jahre und der sich daraus ergebenden Gefährdung der genetischen Ressourcen entstand 1987 ein Konzept zur Erhaltung forstlicher Genressourcen (ANONYMUS, 1989). Eine Erweiterung des Konzeptes um den Aspekt der nachhaltigen Nutzung forstlicher Genressourcen im Anhalt an die Übereinkunft über die biologische Vielfalt erfolgte im Jahr 2000 (PAUL et al., 2000). Ziele sind die Erhaltung der genetischen Vielfalt innerhalb der Baum- und Straucharten und die Erhaltung von in ihrer Existenz gefährdeten Baum- und Straucharten zur Wiederherstellung lebensfähiger Populationen. Die durchzuführenden Maßnahmen untergliedern sich in die Erfassung und Evaluierung von forstlichen Genressourcen, die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen *in situ* und *ex situ* sowie in das Monitoring von genetischen Prozessen über längere Zeiträume.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der bisherigen Arbeiten stellte in den meisten Bundesländern die Erfassung von *In-situ*-Generhaltungsbeständen dar (Tabelle 2). Bis Ende 2007 befanden sich bundesweit 80 Baum- und 40 Straucharten in Bearbeitung (ANONYMUS, 2009a). Dies entspricht 64 % der in

Deutschland vorkommenden 188 holzigen Arten (SCHMIDT et al., 2003). In Abhängigkeit von regionalen Schwerpunkten erfolgte die Erfassung von rund 5.500 *In-situ*-Generhaltungsbeständen mit einer Gesamtfläche von mehr als 17.000 ha (ANONYMUS, 2009a). Diese Fläche repräsentiert 0,2 % der Gesamtwaldfläche Deutschlands nach BWI 2 (ANONYMUS, 2004).

Für die Umsetzung von *Ex-situ*-Maßnahmen ist der Rückgriff auf bewährte Verfahren und Methoden der Forstpflanzenzüchtung erforderlich, wie z.B. die Anlage von Samenplantagen mit heterovegetativ vermehrten Baumindividuen. Letzteres ist ein Hauptinstrument zur Arterhaltung von konkurrenzschwachen, seltenen Baumarten sowie von Baumarten, die auf Grund unterschiedlicher Ursachen in ihrem Bestand gefährdet sind wie die Wildobst-, Sorbus- und Ulmenarten oder regional die Weißtanne (ANONYMUS 2006, 2009b).

Die Beschreibung von Genressourcen und ihrer Veränderung mit biochemisch-genetischen Methoden erfolgte im zunehmenden Maße routinemäßig. Dies zeigen zum Beispiel Studien, die sich mit den Auswirkungen waldbaulicher Maßnahmen auf die genetische Struktur von Beständen beschäftigten (u. a. HOSIUS, 1993; KONNERT & SPIECKER, 1996; WOLF, 1999, 2001a; JANSSEN & NOWACK, 2001; KÄTZEL et al., 2001; KONNERT & BAUER, 2001; ZIEHE & MÜLLER-STARCK, 2001; SCHÜTE & RUMPF, 2003; CREMER et al., 2005).

Ein von der Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Forstliche Genressourcen und Forstsaatgutrecht“ erarbeitetes Konzept zum genetischen Monitoring (ANONYMUS 2005) sowie eine Anleitung zur Durchführung bestandesbildender Baumarten (ANONYMUS 2008) wurde durch zwei Pilotstudien am Beispiel der Baumarten Rotbuche und Vogelkirsche auf seine Umsetzbarkeit hin überprüft (DEGEN, 2008; KONNERT, 2008; MAURER et al., 2008).

Tabelle 2 / Table 2

Durchgeführte Maßnahmen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen in Deutschland (Stand: 31.12.2008)

Measures carried out on the conservation of forest genetic resources in Germany (up to 31.12.2008)

Gehölz-Gruppe	Anzahl Arten	Anzahl <i>In-situ</i> -Bestände	Fläche <i>In-situ</i> -Bestände (in ha)	Anzahl Einzelobjekte
Baumarten, die dem FoVG unterliegen	31	3.362	14.100	11.189
Sonstige Laubbaumarten	33	1.097	2.470	13.450
Sonstige Nadelbaumarten	16	199	80	7.036
Straucharten	40	862	415	2.266
Gesamt	120	5.520	17.065	33.941

6.2 Erfassung der Herkunftsversion von Baumarten und Maßnahmen zur Identitätssicherung

Ausgelöst unter anderem durch die schlechten Erfahrungen der Forstwirtschaft mit den Folgen des Anbaus von Vermehrungsgut, das für einen gegebenen Standort nicht geeignet ist, werden seit über 100 Jahren Herkunftsversuche zur Untersuchung der genetisch bedingten Variation der Waldbaumarten durchgeführt. Vor allem seit den 1950er Jahren ist es gelungen, durch nationale und internationale Herkunftsversuche den Kenntnisstand z.B. bei Europäischer Fichte, Wald-Kiefer, Europäischer und Japanischer Lärche, Douglasie, Weiß-Tanne oder Rot-Buche zu erweitern und zu präzisieren. Ergänzt werden die langjährigen Feldversuche durch unterschiedlichste Untersuchungen zur Morphologie, Phänologie, Ökophysiologie, Resistenz und Genetik, wie zum Beispiel die Arbeiten zur Weißtanne zeigen (u. a. WOLF, 1994). Eine besondere Stellung nehmen

dabei Merkmale ein, die eine direkte Anpassungsrelevanz besitzen (KLEINSCHMIT et al., 1996), wie z. B. die Merkmale Austrieb, Triebabschluss bei der Europäischen Fichte (HOLZER, 1988; FRANKE & KONNERT, 1990; WEISGERBER, 1990b) oder die Resistenz gegenüber den Schütteerregern bei der Douglasie (STEPHAN, 1973; LIESEBACH & STEPHAN, 1995; WOLF et al., 2002). Umfassende Kenntnisse über genetisch bedingte Unterschiede innerhalb einer Art entscheiden somit wesentlich über den Erfolg bzw. Misserfolg bei einem Anbau dieser Arten (siehe auch JANSSEN, 2008).

Neben der Wahl der geeigneten Herkunft für einen gegebenen Standort spielt die Frage der Identitätssicherung von forstlichem Vermehrungsgut für den Erfolg eines Anbaus eine ebenso entscheidende Rolle. Wie die Erfahrungen der Vergangenheit zeigen, bieten gesetzliche Regelungen und hoheitliche Kontrollen alleine keine Gewähr, dass Vermehrungsgut unbekannter oder zweifelhafter Herkunft auf den Markt gelangen kann (KONNERT & HUSSEN-

DÖRFER, 2002). Mit der Einführung biochemisch- und molekulargenetischer Methoden in die Forstgenetik seit Beginn der 1970er Jahre stehen inzwischen Werkzeuge zur Verfügung, die bei Vorliegen bestimmter Voraussetzungen eine Kontrolle der Identität von Forstvermehrungsgut ermöglichen (GEBHARDT, 2008). Inzwischen gibt es in Deutschland zwei Zertifizierungssysteme für forstliches Vermehrungsgut, die das Forstvermehrungsgutgesetz der Bundesrepublik Deutschland (ANONYMUS, 2002) in freiwilliger und privatrechtlicher Form ergänzen (KONNERT & HOSIUS, 2008).

6.3 Verbesserung der Leistungsfähigkeit, Qualität und Widerstandsfähigkeit

Neben der Erhaltung forstlicher Genressourcen sowie der Erforschung der geografisch-genetischen Variationsmuster von Waldbaumarten ist die Verbesserung der Leistungsfähigkeit, Qualität und Widerstandsfähigkeit ein wesentliches Ziel der Forstpflanzenzüchtung (WEISGERBER, 1983). Besondere Bedeutung kommt hierbei der Auslese von Individuen und Populationen nach forstlichen Wertvorstellungen sowie der Neukombination von Merkmalen durch die Kreuzung von Individuen zu. Im Sinne des Übereinkommens über die biologische Vielfalt stellen diese Arbeiten der Forstpflanzenzüchtung die Nutzung genetischer Ressourcen dar.

Bei der Gattung Pappel haben die Auslesezüchtung, die Kreuzungszüchtung und die Kombination beider Verfahren zusammen mit vegetativen Vermehrungsverfahren, begünstigt durch die reproduktionsbiologischen Voraussetzungen der Gattung, ein frühes Anwendungsfeld gefunden. Vor allem mit Pappelarten der Sektionen *Aigeiros*, *Tacamahaca* und *Leuce* konnten wesentliche Verbesserungen in der Wuchsleistung, Qualität und der Widerstandsfähigkeit bei den gezüchteten Pappelsorten erzielt werden. Hierzu gehören Merkmale wie Wüchsigkeit, Biomasseproduktion, Astigkeit, Rindenanteil oder Widerstandsfähigkeit gegen den Befall mit Pappelblattrost oder der Triebspitzenkrankheit (u. a. FRÖHLICH & GROSSCURTH, 1973; WEISGERBER, 1983).

Seit den 1950er Jahren ist die Auslese von phänotypisch herausragenden Bäumen („Plusbäume“), deren Vermehrung durch Pfropfung und die

Begründung von Plusbaum-Samenplantagen eine kontinuierlich verfolgte Aufgabe der Institutionen für Forstpflanzenzüchtung. Samenplantagen, die als Ausgangsmaterial für die Gewinnung von Vermehrungsgut der Kategorie „Qualifiziert“ zugelassen werden, bieten neben der bekannten Identität jeden Klons eine Zusammenfassung der phänotypisch besten Genotypen einer Region, eines Herkunftsgebiets oder eines Wuchsbezirks. Wie bereits eine Reihe von Vergleichsprüfungen gezeigt hat, erweist sich dabei Vermehrungsgut, das von Samenplantagen abstammt, vielfach dem Vermehrungsgut der Kategorie „Ausgewählt“ unter anderem bei den Stammform-Eigenschaften oder dem Wachstum überlegen (RAU, 1998c).

Im Zusammenhang mit dem zunehmenden Auftreten von Waldschäden durch Luftschadstoffe in den 1960er und 1970er Jahren rückte die Immissionsresistenz-Züchtung vor allem bei der Baumart Fichte in beiden deutschen Staaten in den Mittelpunkt des Interesses (TZSCHACKSCH, 1981; KLEINSCHMIT, 1983; von SCHÖNBORN & WEBER, 1981; SCHOLZ, 1983). Grundlage der Arbeiten war die in verschiedenen Untersuchungen nachgewiesene genetische Bedingtheit der SO₂-Resistenz (ROHMEDEK & von SCHÖNBORN, 1965; TZSCHACKSCH & WEISS, 1972; KARNOSKY, 1977; TZSCHACKSCH, 1982). In unterschiedlich intensiven Programmen erfolgte die Auslese von vitalen Altfichten in den stark bis sehr stark mit SO₂-Immissionen belasteten Mittelgebirgsregionen Deutschlands (vor allem des Erzgebirges) sowie den angrenzenden Gebirgen in Polen und der heutigen Tschechischen Republik. Diese Fichten wurden über Stecklinge vermehrt und auf SO₂-belasteten Standorten geprüft (WOLF, 2001b). Die untersuchten Klone wiesen signifikante Unterschiede in ihrer SO₂-Toleranz auf. Andererseits zeigten die über autovegetative Vermehrung von adultem Ausgangsmaterial erzeugten Pflanzen im Vergleich zu gleich alten Sämlingspflanzen vielfach keine befriedigenden Ergebnisse bei der Überlebensrate, dem Höhenwachstum und der Wuchsform (WOLF, 2001b). Der signifikante Rückgang der SO₂-Belastung der Mittelgebirge bis zu Beginn des 21. Jahrhunderts beendete alle weiteren Anstrengungen zur Zulassung einer SO₂-toleranten Fichten-Klonmischung (WOLF, 2001b).

Ein weiteres und erfolgreiches Beispiel für die Verbesserung von Eigenschaften durch die Auslese von Einzelbäumen und deren vegetative

Vermehrung stellt die praxisreife Entwicklung von über 40 Vogelkirschen-Klonen in Hessen und Niedersachsen dar. Nach langjähriger Feldprüfung und Zulassung der Klone als Ausgangsmaterial für die Erzeugung von „Geprüftem Vermehrungsgut“ stehen dem Markt unter dem Markennamen silvaSELECT® Vogelkirschen-Klone zur Verfügung, die sich gegenüber handelsüblichen Vermehrungsgut durch überdurchschnittliche Wüchsigkeit, Wuchsform und Anwuchserfolg auszeichnen (GEBHARDT & BOHNENS, 2002; siehe hierzu auch www.silvaselect.de).

Neben der Auslese von Einzelbäumen ist die Auslese von Beständen und Samenplantagen nach langjähriger Prüfung der Nachkommenschaften ein weiteres Instrument zur Verbesserung von Leistungsfähigkeit, Qualität und Widerstandsfähigkeit. Für eine Reihe von Baumarten wie Europäische Lärche, Fichte, Kiefer, Douglasie, Stiel- und Traubeneiche, Buche oder Schwarz-Erle erfolgte nach erfolgter Vergleichsprüfung in den vergangenen Jahren die Zulassung von Beständen und Samenplantagen als Ausgangsmaterial für die Gewinnung von Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“ (u. a. GROTEHUSMANN, 1998; RAU, 1998b, 1998c, 2007, 2009; KLEINSCHMIT, 2000).

Mit Hilfe der Kreuzungszüchtung sind im Vergleich zur Auslesezüchtung deutlich größere Verbesserungen von Eigenschaften bei gleichzeitiger Stabilität der Nachkommenschaften möglich. So verfügen Nachkommen von zwischenartlichen Kreuzungen zwischen der Europäischen und der Japanischen Lärche vielfach über eine höhere Standortstoleranz

als die Europäische Lärche. Wie ältere Versuchsanbauten auf sehr unterschiedlichen Standorten in Sachsen zeigen, erreichen Hybridlärchen auch über längere Wuchszeiträume im Vergleich zu den reinen Elternarten bessere Wuchsleistungen bei guten bis sehr guten Schaftformen und bei höherer Resistenz gegenüber verschiedenen abiotischen und biotischen Schadfaktoren (HERING & BRAUN, 1990, 1992; HERING & HAASEMANN, 1996).

Ein anderes Beispiel sind die seit Beginn der 1960er Jahre durchgeführten innerartlichen Kreuzungen zwischen den Douglasienvarietäten „*viridis*“ und „*glauca*“, um eine frostharte und wüchsige Douglasie herzustellen. Im Ergebnis der jahrzehntelangen Arbeiten sind Kreuzungskombinationen mit Eigenschaften entstanden, die dem Zuchtziel entsprechen (u. a. SCHÖNBACH & BELLMANN, 1967; BRAUN & SCHMIEDEL, 1985; BRAUN, 1999). Mehrere Kombinationen zwischen Elternbäumen der Varietäten „*viridis*“ und „*glauca*“ zeigen signifikant überlegene Wachstumswerte, geringere Mortalität sowie eine überdurchschnittliche Frostresistenz bei durchschnittlicher Schaftform und Schütterresistenz. Auch in diesen Fällen stand am Ende des Züchtungsverfahrens die Zulassung der Elternbäume dieser Nachkommenschaften als Ausgangsmaterial für die Erzeugung von „Geprüftem Vermehrungsgut“.

7 ERREICHTES UND NICHT ERREICHTES

Auf Grundlage der Ergebnisse der Herkunftsfor-schung haben nahezu alle Bundesländer regional differenzierte Empfehlungen für die Verwendung von Forstvermehrungsgut nach seiner genetischen Qualität (geprüft, qualifiziert, ausgewählt) herausgegeben. Die Herkunftsempfehlungen bieten einerseits dem Waldbesitzer wichtige Informationen, um die Risiken bei der Waldverjüngung bzw. bei der Erstaufforstung durch die Verwendung von standörtlich geeigneten Herkünften zu verringern. Sie finden Berücksichtigung in den jeweiligen

Waldbau- und Förderrichtlinien. Auch spielt die Verwendung von herkunftsgerechtem Vermehrungsgut ihren Niederschlag in den einschlägigen Zertifizierungssystemen PEFC und FSC. Andererseits dienen die Herkunftsempfehlungen als Hilfe auch der Forstsaamen- und Forstpflanzenbranche als Produzent und Anbieter von Forstvermehrungsgut bei der Entscheidung, welches Vermehrungsgut dem Kunden zur Verfügung gestellt werden soll.

Ein wesentlicher Schritt zu mehr Sicherheit für den Abnehmer von Forstvermehrungsgut stellt die

Einführung von Herkunftssicherungsverfahren auf Grundlage von Referenzproben dar. Diese Verfahren ergänzen die rechtlichen Bestimmungen des Forstvermehrungsgutgesetzes in sinnvoller Weise.

Während diese Ergebnisse der Forstpflanzenzüchtung auf breite Akzeptanz stoßen, werden die Anstrengungen zur Verbesserung von genetisch bedingten Eigenschaften durch eine zum Teil unzureichende Anwendung einschlägiger Erkenntnisse in Forstverwaltungen und Forstpraxis konterkariert. Hierzu gehören die unzureichende Verwendung von verfügbarem hochwertigem Vermehrungsgut, die Verwendung von nicht

herkunftsgesichertem oder genetisch eingegengtem Vermehrungsgut, Naturverjüngung ohne kritische Würdigung des Ausgangsbestandes sowie eine Art Versandhauskatalog-Mentalität bei der Beschaffung von Vermehrungsgut (ANONYMUS, 2001). Diese Verhaltensweise wird durch die derzeitige Praxis von Ausschreibung und Zuschlagserteilung gefördert. Der Mehrwert dieser Produkte war lange Zeit in vielen Fällen auf dem Markt nicht durchsetzbar und daher im Preis nicht erkennbar. Abgesehen davon steht der nachgewiesenen Überlegenheit von Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“ bis zum heutigen Tage vielfach die Zurückhaltung des Käufers entgegen (RAU, 1998a; PEIN, 2006).

8 HANDLUNGSBEDARF

Nach einer Periode intensiver Züchtungstätigkeiten bei Waldbäumen vor allem zwischen 1960 und 1980 haben diese im Zuge der Zunahme der naturnahen Waldwirtschaft und der Bevorzugung der Naturverjüngung in Deutschland stetig abgenommen. Erst der Klimawandel sowie steigende Rohstoffpreise haben die Diskussionen zur Forstpflanzenzüchtung auch bei uns neu entfacht.

Bisherige Aktivitäten in diesem Bereich, wie

- die Erarbeitung regional differenzierter Herkunftsempfehlungen nach genetischer Qualität des Vermehrungsguts (geprüft, qualifiziert, ausgewählt),
- die Gewährleistung der Herkunftssicherheit von Vermehrungsgut guter „konventioneller“ Elternbäume in zugelassenen Beständen,
- die Anlage von Samenplantagen, zahlreiche Herkunftsversuche und
- das Konzept zur Erhaltung forstlicher Genresourcen

sind wichtige Bausteine, aber nur Teilbereiche einer nachhaltigen Züchtung. Was fehlt, ist eine nationale Strategie für nachhaltige Züchtung für Deutschland zur Steigerung der Holzproduktion und zur Bewältigung der Folgen des Klimawandels durch Erhaltung der genetischen Anpassungsfähigkeit. Eine solche Strategie muss für einzelne Baumarten Züchtungsprogramme enthalten, die sich an dem Züchtungsziel und den biologischen Besonderheiten der jeweiligen Baumarten ausrichten.

Züchtungsprogramme gibt es weltweit in vielen Staaten. Die Ergebnisse daraus können aber nicht automatisch auf Deutschland übertragen werden, da es sich vielfach um andere Baumarten und andere Standortbedingungen handelt, unter denen die Züchtungsfortschritte erzielt wurden. Für Deutschland fehlen solche Programme gänzlich.

Ein wichtiger Teil einer Züchtungsstrategie, vor allem im Klimawandel, sind Herkunftsversuche. Sie sind die einzige Möglichkeit, die zu erwartenden Umweltänderungen auf Wachstum und Stabilität auf sehr unterschiedlichen Standorten und über lange Zeiträume herauszuarbeiten. Die Ergebnisse solcher Versuche bilden die Grundlage für fundierte Herkunftsempfehlungen gerade im Klimawandel, wo das Primat der autochthonen Herkunft zunehmend hinterfragt werden muss. Die Neuanlage von Herkunftsversuchen auch mit fremdländischen Baumarten, die Erweiterung des Herkunftsspektrums bei Baumarten, für die bereits Versuche bei uns vorhanden sind, und die neuerliche Auswertung vorhandener Versuche unter dem Aspekt des Klimawandels sind dringend notwendig.

Zurzeit nimmt das „geprüfte Vermehrungsgut“ einen geringen, seiner Bedeutung nicht angemessenen Anteil an dem gesamten in den Wald gebrachten Vermehrungsgut ein. Daher muss die Steigerung des Anteils an „geprüftem Vermehrungsgut“ Teil einer Züchtungsstrategie sein. Dies kann aber nur gelingen, wenn der durch Züchtung erreichte

Mehrwert im Preis des Vermehrungsgutes erkennbar wird.

Komplexe Züchtungsprogramme bei Waldbäumen können nur erfolgreich sein, wenn sie klare Zielsetzungen haben. Sie müssen von den Bundesländern und Institutionen übergreifend in Angriff genommen, finanziert und koordiniert werden wie auch auf lange Zeit ausgerichtet sein.

Die internationale Zusammenarbeit mit Versuchs- und Forschungsanstalten z.B. in internationalen Netzwerken wie TREEBREEDEX, gewährleistet die Berücksichtigung der Züchtungsergebnisse anderer Länder und des neuesten wissenschaftlichen Fortschritts.

9 LITERATUR

- ANONYMUS (1989): Konzept zur Erhaltung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland. *Forst und Holz* 44: 379-404.
- ANONYMUS (2001): Nachhaltige Nutzung forstgenetischer Ressourcen – Positionspapier der Arbeitsgemeinschaft der Länderinstitutionen für Forstpflanzenzüchtung. *Forst und Holz* 56: 570-572.
- ANONYMUS (2002): Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) vom 22.05.2002. BGBl. 2002 Teil I, Nr. 32, S.1658.
- ANONYMUS (2004): Die zweite Bundeswaldinventur – BWI². Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Berlin, 87 Seiten.
- ANONYMUS (2005): Konzept zum genetischen Monitoring für Waldbaumarten in der Bundesrepublik Deutschland. http://blag-documents.genres.de/genetisches-monitoring/anhang_2.htm.
- ANONYMUS (2006): Tätigkeitsbericht 2001–2004 der Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Forstliche Genressourcen und Forstsaatgutrecht“. <http://blag.fgr.genres.de/ber-0104/index.htm>.
- ANONYMUS (2008): Anleitung zur Durchführung des genetischen Monitorings für bestandesbildende Baumarten, 16 Seiten. <http://www.genres.de/fgrdeu/>.
- ANONYMUS (2009a): FGRDEU_Online – Bestände forstgenetischer Ressourcen in Deutschland (Stand 15.09.2009). <http://fgrdeu.genres.de/>.
- ANONYMUS (2009b): Fortschrittsbericht 2005–2008 der Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Forstliche Genressourcen und Forstsaatgutrecht“. <http://blag.fgr.genres.de/ber-0508/bericht-0508.pdf>
- BISON, O., RAMALHO, M.A.P., REZENDE, G., AGUIAR, A.M. DE & RESENDE, M.D.V. (2007): Combining ability of elite clones of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* with *Eucalyptus globulus*. *Genetics and Molecular Biology* 30: 417-422.
- BOUFFIER, L., RAFFIN, A., ROZENBERG, P., MEREDIEU, C. & KREMER, A. (2009): What are the consequences of growth selection on wood density in the French maritime pine breeding programme? *Tree Genetics & Genomes* 5: 11-25.
- BRAUN, H. (1999): Douglas-fir breeding in Saxony. *Silvae Genetica* 48: 69-77.
- BRAUN, H. & SCHMIEDEL, H. (1985): Ergebnisse der Anbauprüfung intraspezifischer Douglasienhybriden unter besonderer Berücksichtigung der Frostresistenz. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 19: 69-73.
- BRAUN, H. & KOHLSTOCK, N. (1990): Aufgaben und Ergebnisse der Forstpflanzenzüchtung speziell für die Immissionsschadgebiete der Mittelgebiere der DDR. *AFZ* 45: 868-873.
- BURSCHEL, P. (1989): Waldbau – Forstgenetik – Forstpflanzenzüchtung. *Forst und Holz* 44: 665-673.
- CHRISTERSSON, L. (1996): Future research on hybrid aspen and hybrid poplar cultivation in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 11: 109-113.
- CREMER, E., RUMPF, H., WOLF, H., MAURER, W. & STEINER, W. (2005): Führen Durchforstungen zu Veränderungen der genetischen Strukturen von Buchenbeständen? *Forst und Holz* 60: 184-188.
- DEGEN, B. (2008): Genetisches Monitoring bei der Wildkirsche (*Prunus avium*). <http://blag.fgr.genres.de/generhaltung20/index.html>.
- DVORAK, W.S., HODGE, G.R. & PAYN, K.G. (2008): The conservation and breeding of *Eucalyptus urophylla*: a case study to better protect important populations and improve productivity. *Southern Forests* 70: 77-85.
- FLADUNG, M. (2005): Domestikation von Bäumen. *AFZ/ Der Wald* 60: 229-231.
- FRANKE, A. & KONNERT, M. (1990): Nachkommenschaftsprüfung von Fichtenbeständen des Schwarzwaldes (Herkunftsgebiete 840 08 und 840 09). Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-PEF 60, 97 Seiten.
- FROELICH, H.J. & GROSSCURTH, W. (1973): Züchtung, Anbau und Leistung der Pappeln. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 267 Seiten.
- GEBHARDT, K. (2008): Herkunftskontrolle an forstlichem Vermehrungsgut mit Stabilisotopen und genetischen Methoden. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden, 146 Seiten.
- GEBHARDT, K. & BOHNENS, J. (2002): Wuchsleistungen mikrovermehrter hessischer Wildkirschen-Selektionen. *Forst und Holz* 57: 582-584.
- GEBHARDT, K. & JANSSEN, A. (2003): Aufbau einer Mehrklonsorte Vogelkirsche (*Prunus avium* L.) für Hessen. In: Tagungsbericht 25. Intern. Tagung der AG Forstgenetik & Forstpflanzenzüchtung am 23.-25.10.2002, Teisendorf, S.137-148.
- GRATTAPALIA, D., RIBEIRO, V.J. & REZENDE, G. (2004): Retrospective selection of elite parent trees using paternity testing with microsatellite markers: an alternative short term breeding tactic for *Eucalyptus*. *Theoretical and Applied Genetics* 109: 192-199.

- GROTEHUSMANN, H. (1998): Geprüftes Vermehrungsgut aus Kiefern- und Erlen-Samenplantagen. *AFZ/Der Wald* 53: 240-244.
- GROTEHUSMANN (2001): Prüfung einer Schwarzerlen-Samenplantage. *AFZ/Der Wald* 56: 1389-1391.
- HATTEMER, H.H., BERGMANN, F. & ZIEHE, M. (1993): Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwissenschaft. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/Main, 492 Seiten.
- HANRUP, B., JANSSON, G. & DANELL, O. (2008): Genotype by Environment Interaction in *Pinus sylvestris* L. in Southern Sweden. *Silvae Genetica* 57: 306-311.
- HERING, S. & BRAUN, H. (1990): Hybridlärchenhochzuchtarten für die Mittelgebirge der DDR. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 40: 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 of the IUFRO Centennial Meeting of the Working Party S 2.02-07*, pp.146-159.
- HERING, S. & HAASEMANN, W. (1996): Wuchsleistung von Hybridlärchen in Sachsen. *AFZ/Der Wald* 51, 619-621.
- HOLZER, K. (1988): Die Vegetationszeitlänge bei Fichtensämlingen - ihre Bedeutung und ihre Beeinflussbarkeit durch Umweltfaktoren. *Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien* 28: 73-86.
- HOSIUS, B. (1993): Wird die genetische Struktur eines Fichtenbestandes von Durchforstungseingriffen beeinflusst? *Forst und Holz* 48: 306-308.
- JANSSEN, A. (2008): Bedeutung der Herkunftswahl bei forstlichem Vermehrungsgut. In: Gebhardt, K. (Hrsg.): *Herkunftskontrolle an forstlichem Vermehrungsgut mit Stabilisotopen und genetischen Methoden*. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden, S.7-15.
- JANSSEN, A. & NOWACK, S. (2001): Können Durchforstungen die genetische Struktur von Buchenbeständen beeinflussen? *AFZ-Der Wald* 56: 614-615.
- KARNOSKY, D.F. (1977): Evidence for genetic control of response to sulphurdioxid and ozone in *Populus tremuloides*. *Canadian Journal of Forest Research* 7: 437-440.
- KÄTZEL, R., NORDT, B. & SCHMITT, J. (2001): Untersuchungen zum Einfluss der Durchforstungsintensität auf die genetische Struktur von Kiefernbeständen in den Berliner Forsten auf der Grundlage von Isoenzym- und DNA-Markern. In: *Nachhaltige Nutzung forstgenetischer Ressourcen*. Sächsische Landesanstalt für Forsten Pirna, S.159-170.
- KLEINSCHMIT, J. (1983): Möglichkeiten der Züchtung resistenter Waldbäume für die immissionsbelasteten Flächen. *Der Forst- und Holzwirt* 38: 196-199.
- KLEINSCHMIT, J. (1985): Arbeiten der Abt. Forstpflanzenzüchtung der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt und Aufgaben zur Minderung der Immissionschäden. *Der Forst- und Holzwirt* 40: 439-446.
- KLEINSCHMIT, J. (2000): Bestände und Samenplantagen von Stiel- und Traubeneiche. *AFZ/Der Wald* 55: 512-513.
- KLEINSCHMIT, J., SVOLBA, J. & KLEINSCHMIT, J.R.G. (1996): Variation anpassungsrelevanter, phänotypischer Merkmale. In: Müller-Starck, G. (Hrsg.): *Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft*. ecomed verlagsgesellschaft, Landsberg, S.38-59.
- KLEINSCHMIT, J.R.G. (2004): Aspekte nachhaltiger Züchtung. Methodenkritik, entwicklung und -anwendung. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen. 214 Seiten.
- KOHLSTOCK, N. & SCHNECK, H. (1992): Scots Pine Breeding (*Pinus sylvestris* L) at Waldsiefersdorf and Its Impact on Pine Management in the Northeastern German Lowland. *Silvae Genetica* 41: 174-180.
- KONNERT, M. (2008): Maßnahmen zur Erhaltung genetischer Ressourcen bei Hauptbaumarten - das Beispiel Rot-Buche. <http://blag.fgr.genres.de/generhaltung20/index.html>.
- KONNERT, M. & SPIECKER, H. (1996): Beeinflussen Nutzungen einzelner Bäume die genetische Struktur von Beständen? *AFZ/Der Wald* 51: 1284-1291.
- KONNERT, M. & BAUER, M. (2001): Auswirkungen von Durchforstungen auf die genetische Struktur von Beständen am Beispiel der Fichte (Jungdurchforstung) und der Buche (Altdurchforstung). In: *Nachhaltige Nutzung forstgenetischer Ressourcen*. Sächsische Landesanstalt für Forsten Pirna, S.151-158.
- KONNERT, M., HUSSENDÖRFER, E. (2002): Herkunftssicherung bei forstlichem Vermehrungsgut durch Referenzproben. *Allgemeine Forest und Jagd- Zeitung* 173: 97-104.
- KONNERT, M. & HOSIUS, B. (2008): Zur Kontrolle und Zertifizierung von Forstlichem Vermehrungsgut unter Nutzung von Labormethoden. In: Gebhardt, K. (Hrsg.): *Herkunftskontrolle an forstlichem Vermehrungsgut mit Stabilisotopen und genetischen Methoden*. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden, S.132-139.
- LARSSON, S. (1997): Commercial breeding of willow for short rotation coppice. *Aspects of Applied Biology*, pp.215-218.
- LARSSON, S. (1998): Genetic improvement of willow for short-rotation coppice. *Biomass and Bioenergy* 15: 23-26.
- LIESEBACH, M. & STEPHAN, B.R. (1995): Growth Performance and Reaction to Biotic and Abiotic Factors of Douglas Fir Progenies (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). *Silvae Genetica* 44: 303-311.
- MCKEAND, S.E. & BRIDGWATER, F.E. (1998): A strategy for the third breeding cycle of loblolly pine in the Southeastern US. *Silvae Genetica* 47: 223-234.
- MAURER, W.D., CREMER, E., DEGEN, B., KONNERT, M. & TRÖBER, U. (2008): Erfassung genetischer Strukturen wichtiger Baumarten, Teillos 1: Erfassung der genetischen Struktur der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) als Grundlage für ein genetisches Monitoring wichtiger Waldbaumarten in Deutschland. BLE-Fördervorhaben 2805BE003/1; Endbericht, 81 Seiten, unter www.ble.bund.de/.../ProjektberichtRotbuche.pdf
- NANSON, A. (2004): *Génétique et amélioration des arbres forestiers* Les Presses Agronomiques de Gembloux A.S.B.L., Gembloux (B), 712 pages.
- PAUL, M., HINRICHS, T., JANSSSEN, A., SCHMIDT, H.P., SOPPA, B., STEPHAN, B.R. & DÖRFLINGER, H. (2000): Konzept zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland. Sächsische Landesanstalt für Forsten, Pirna, 66 Seiten.

- PEIN, J. (2006): Verwendung von genetisch höherwertigem forstlichem Vermehrungsgut aus der Sicht eines Forstpflanzenproduzenten. In: Rau, H.-M. (Hrsg.): Forstliche Genressourcen als Produktionsfaktor. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden, S.26-32.
- RAU, H.-M. (1998a): Geprüftes Vermehrungsgut. AFZ/Der Wald 53: 234.
- RAU, H.-M. (1998b): Samenplantagen mit Europäischer Lärche. AFZ/Der Wald 53: 235.
- RAU, H.-M. (1998c): Vermehrungsgut von Samenplantagen im Vergleich zu handelsüblichen Material. AFZ-Der Wald 53: 236-239.
- RAU, H.-M. (2007): Samenplantagen und Bestände von Fichte. AFZ/Der Wald 62: 418-419.
- RAU, H.-M. (2009): Bestände und Samenplantagen bei Douglasie. AFZ/Der Wald 64: 220-221.
- RETIÉF, E.C.L. & STANGER, T.K. (2009): Genetic parameters of pure and hybrid populations of *Eucalyptus grandis* and *E. urophylla* and implications for hybrid breeding strategy. *Southern Forests* 71: 133-140.
- ROHMEDER, E. & SCHÖNBACH, H. (1959): Genetik und Züchtung der Waldbäume. Paul Parey, Hamburg, Berlin, 338 Seiten.
- ROHMEDER, E. & SCHÖNBORN, A. (1965): Der Einfluß von Umwelt und Erbgut auf die Widerstandsfähigkeit der Waldbäume gegenüber Luftverunreinigung durch Industrieabgase. *Forstwirtschaftliches Centralblatt* 84: 1-13.
- RUOTSALAINEN, S. (2008): Comparison of seed orchard and stand seed of Scots pine in direct seeding. In: Lindgren, D. (ed.): *Seed orchards. Proceedings from a conference at Umea (S) September 26-28, 2007*, pp.218-226.
- SCHMIDT, M., EWALD, J., FISCHER, A., OHEIMB, G.V., KRIEBITZSCH, W.-U., ELLENBERG, H. & SCHMIDT, W. (2003): Liste der Waldgefäßpflanzen Deutschlands. *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft* 212, 35 Seiten.
- SCHÖNBACH, H. & BELLMANN, E. (1967): Frostresistenz der Nachkommenschaften von Kreuzungen grüner und blauer Formen der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). *Archiv für das Forstwesen* 16: 707-711.
- SCHÖNBORN, A. VON & WEBER, E. (1981): Untersuchungen über die Immissionsbelastung von Tannen- und Fichtennadeln im Bereich des Bayerischen Waldes. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 100: 265-270.
- SCHOLZ, F. (1983): Kann Züchtung auf Immissionsresistenz zur Lösung des Problems „Waldsterben“ beitragen? *AFZ* 38: 281-283.
- SCHÜTE, G. & RUMPF, H. (2003): Untersuchungen waldbaulicher Einflüsse auf die genetische Struktur naturverjüngter Buchenbestände (*Fagus sylvatica* L.). *Forstarchiv* 74: 90-96.
- SMART, L.B., VOLK, T.A., LIN, J., KOPP, R.F.M., PHILLIPS, I.S., CAMERON, K.D., WHITE, E.H. & ABRAHAMSON, L.P. (2005): Genetic improvement of shrub willow (*Salix* spp.) crops for bioenergy and environmental applications in the United States. *Unasylva* 221, Vol. 56: 51-55.
- STEPHAN, B.R. (1973): Über Anfälligkeit und Resistenz von Douglasien-Herkünften gegenüber *Rhabdochloa pseudotsugae*. *Silvae Genetica* 22: 149-153.
- TZSCHACKSCH, O. (1981): Stand und Perspektiven der forstlichen Randresistenzzüchtung in der DDR. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 15: 134-137.
- TZSCHACKSCH, O. (1982): Untersuchungen zur Erbllichkeit der SO₂-Resistenz bei Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) mit Schlußfolgerungen für die Forstwirtschaft. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 16: 103-106.
- TZSCHACKSCH, O. & WEISS, M. (1972): Die Variation der SO₂-Resistenz von Provenienzen der Baumart Fichte (*P. abies* (L.) Karst.). *Beiträge für die Forstwirtschaft* 6: 21-23.
- WEISGERBER, H. (1983): *Forstpflanzenzüchtung*. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 100 Seiten.
- WEISGERBER, H. (1990a): Bedeutung von Züchtungsmaterial und Züchtungsprogrammen für die Erhaltung forstlicher Genressourcen, dargestellt an Beispielen aus Hessen. *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg* 164: 109-119.
- WEISGERBER, H. (1990b): Beiträge zur genetischen Variation der Waldbäume und Gefahren der Genverarmung durch Pflanzenzüchtung. *Forstliche Forschungsberichte München* 107, 191 Seiten.
- WHITE, T.L., HUBER, D.A. & POWELL, G.L. (2003): Third-Cycle Breeding Strategy for Slash Pine by the Cooperative Forest Genetics Research Program Proc. 27th Southern Forest Tree Improvement Conference, Vol. 27, pp.17-29.
- WOLF, H. (1994): Weißtannen-Herkünfte. Neue Resultate zur Provenienzforschung bei *Abies alba* Mill.. *Contributions Biologiae Arborum* 5, ecomed verlagsgesellschaft, Landsberg am Lech, 150 Seiten.
- WOLF, H. (1999): Auswirkungen von waldbaulichen Pflegemaßnahmen auf die genetische Struktur von jungen Beständen der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.). *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg* 194: 240-259.
- WOLF, H. (2001a): Auswirkungen von waldbaulichen Eingriffen auf die genetische Struktur von Durchforstungsbeständen der Fichte, Rotbuche und Stieleiche in Sachsen. In: *Sächsische Landesanstalt für Forsten Pirna (Hrsg.): Nachhaltige Nutzung forstgenetischer Ressourcen*, S.171-181.
- WOLF, H. (2001b): Effects of extreme SO₂-air pollution in winter 1995/96 on vitality and growth of SO₂-tolerant Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) clones in the Ore Mountains. In: Müller-Starck, G. & Schubert, R. (eds.): *Genetic Response of Forest Systems to Changing Environmental Conditions*. Kluwer Academic Publishers, London, pp.35-49.
- WOLF, H., KÄTZEL, R. & SCHNECK, V. (2002): Wachstums-, Qualitäts- und Resistenzeigenschaften von Bestandes- und Kreuzungsnachkommenschaften der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco). In: *Landesforstanstalt Eberswalde (Hrsg.): Ausländische Baumarten in Brandenburgs Wäldern*, S.161-171.
- ZIEHE, M. & MÜLLER-STARCK, G. (2001): Zielstärkennutzung und ihre möglichen genetischen Auswirkungen in einer Buchenpopulation. In: *Sächsische Landesanstalt für Forsten Pirna (Hrsg.): Nachhaltige Nutzung forstgenetischer Ressourcen*, S.182-188.

GENTECHNIK UND PRODUKTION NACHWACHSENDER ROHSTOFFE IM HINBLICK AUF DEN KLIMAWANDEL

GENETIC ENGINEERING AND PRODUCTION OF RENEWABLE RESOURCES IN VIEW OF THE CLIMATE CHANGE

M. Fladung

Johann Heinrich von Thünen-Institut, vTI-Institut für Forstgenetik, D-22927 Großhansdorf

ABSTRACT

In this paper the possibilities of genetic engineering are discussed to optimize trees genetically under the scenario of rapid ongoing climate change. Possible consequences of climate change are the increase of extreme weather events (storms), melting of polar ice caps and glaciers (flooding), expansion of deserts (heat, drought), increasing CO₂ concentrations up to 1.000 ppm, and the spread of parasites and tropical diseases.

In response to the consequences, trees could be modified appropriately by genetic engineering. Genetically modified (GM) trees could reveal reduced lignin content, show tolerance towards desiccation, anaerobic conditions and to high temperatures, photosynthesis and photorespiration, or display new resistances. From today's perspective however, one can rule out the use of GM trees in the forest, consider nevertheless, after an extensive safety evaluation, their use for plantations.

Keywords: Transgenic trees, climate change, genetic engineering, plantation, poplar, *Populus*

ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Beitrag sollen die Möglichkeiten der Gentechnik dargelegt werden, um Bäume unter dem Szenario eines rasch ablaufenden Klimawandels genetisch zu optimieren. Als mögliche Folgen des Klimawandels werden Zunahme von Extremwetterereignissen (Stürme), Abschmelzen der Polkappen und der Gletscher (Überflutungen), Ausbreitung von Wüsten (Hitze, Dürre), steigende CO₂-Konzentrationen bis auf 1.000 ppm sowie die Ausbreitung von Parasiten und tropischen Krankheiten diskutiert.

Als Reaktion auf die Folgen könnten Bäume mittels Gentechnik so verändert werden („GV-Bäume“), dass sie einen reduzierten Ligningehalt, über Toleranzen gegen anaerobe Bedingungen und Austrocknung bzw. gegen hohe Temperaturen verfügen, die Photosynthese und Photorespiration beeinflussen oder neuartige Resistenzen ausbilden. Aus heutiger Sicht allerdings kann man die Verwendung von gentechnisch veränderten Bäumen im Wald sicher ausschließen, dagegen aber für Plantagengehölze, nachdem eine umfangreiche Sicherheitsbewertung durchgeführt wurde, durchaus in Betracht ziehen.

Schlagwörter: Transgene Bäume, Klimawandel, Gentechnik, Plantage, Pappel, *Populus*

1

SZENARIEN EINES KLIMAWANDELS

Die Folgen eines bevorstehenden Klimawandels sind bereits heute in mehrfacher Weise feststellbar. Zum einem ist in den letzten 100 Jahren ein Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von 290 ppm auf bereits fast 400 ppm zu verzeichnen. Im gleichen Zeitraum haben sich in Europa die Durchschnittstemperaturen um 0,95 °C erhöht, und im globalen Durchschnitt ist das Niveau des Meeresspiegels um 10 bis 20 cm angestiegen.

Die erwarteten Folgen für Europa sind dramatisch. Das Abschmelzen der alpinen Gletscher und Dauerfrostgebiete führt zu erhöhter Überschwemmungsgefahr in Mittel- und Nordeuropa. Besonders in Südeuropa wird eine Verringerung von Wasserverfügbarkeit und Bodenfeuchtigkeit erwartet. Wachstumszonen verlagern sich nach Norden, ein Verlust wichtiger Lebensräume wie Feuchtgebiete und Tundren ist die Folge. In Asien könnte das Ausbleiben des Monsuns, der ein Trinkwassergarant für ca. 3 Milliarden Menschen ist, verheerende Folgen haben. Desweiteren würde ein vermehrtes Auftreten von El Niño möglicherweise zu häufiger auftretenden Dürren in Südostasien und Überflutungen in Südamerika führen.

Für die deutsche Forstwirtschaft ist unter dem Szenario eines vermuteten Klimawandels das Ziel, die heimische Holzproduktion langfristig sicherzustellen. Dieses gilt sowohl für die Holzproduktion im Wald als auch auf Plantagen. Mögliche Situationen, mit denen Bäume zukünftig fertig werden müssen, sind Zunahme von Extremwetterereignissen (Stürme), regionale Überflutungen, regionale Hitzeperioden und Dürren, steigende CO₂-Konzentrationen

auf 600 ppm bis 1.000 ppm, Ausbreitung von Parasiten und tropischen Krankheiten.

Es stellen sich daher einige Fragen an die Forstwirtschaft: Verfügen heimische Gehölzpopulationen über eine ausreichende Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel? Ist die natürliche Anpassungsfähigkeit der Wälder ausreichend, da der Klimawandel voraussichtlich sehr rasch ablaufen wird? Reicht hohe genetische Variabilität innerhalb der Waldbaumarten aus? Welche Baumarten kommen mit dem Klimawandel zurecht, welche nicht? Reicht es, Wälder mit hohem Baumarten-Mischungsgrad anzulegen bzw. wärmetolerante Baumarten einzubringen? Muss ein Waldumbau in der Art vorgenommen werden, dass eine Substitution heimischer Arten mit trockenoleranten Baumarten und Exoten erfolgt? Und für Gehölze für Plantagen stellt sich die Frage, ob Forstpflanzenzüchtung „schnell“ genug ist, um einen rasch ablaufenden Klimawandel zu begegnen?

Natürlich ist es zu begrüßen, wenn der Klimawandel gestoppt werden könnte. Allerdings müssen allein schon aus gesellschaftlicher Verantwortung heraus für den Fall, dass der Klimawandel unaufhaltsam fortschreitet, Maßnahmen ergriffen werden, dass die Zukunft der deutschen Forstwirtschaft gesichert ist und ausreichend Holz produziert werden kann. Solche Maßnahmen schließen auch den Einsatz gentechnischer Methoden mit ein. Aus heutiger Sicht kann diese Möglichkeit für Waldbäume sicher ausgeschlossen, für Plantagengehölze aber durchaus in Betracht gezogen werden.

2 GENTECHNIK UND AGROBACTERIUM

Unter dem Begriff „Gentechnik“ werden heute eine Reihe von Methoden und Verfahren subsummiert, die aber nichts mit dieser Technik zu tun haben (FLADUNG, 2005). Gentechnik beinhaltet die Isolierung von Genen und deren Regulatoren sowie deren Veränderung und Einbau mit Hilfe künstlicher Vektoren in das Erbgut von lebenden

Organismen. Keine gentechnischen Methoden stellen daher künstliche Befruchtung, Isolierung von Stammzellen aus Embryonen, Erstellung eines genetischen Fingerabdrucks oder das Klonen, wie z.B. die Herstellung des Klonschafs Dolly dar.

Über den Einsatz gentechnischer Methoden wurde in der Literatur erstmalig 1983 mit der Herstellung

von gentechnisch verändertem (transgenem) Tabak berichtet. Heute existieren Verfahren zur Herstellung transgener Pflanzen von einer Vielzahl von Arten wie Mais, Raps, Reis, Baumwolle, Gerste, Weizen, Sojabohne und viele mehr. Für Bäume werden bereits seit etwa fünfzehn Jahren gentechnische Methoden angewendet (FLADUNG, 2009).

Eine wichtige Voraussetzung für die Erzeugung von transgenen Pflanzen ist die Möglichkeit, aus isolierten Geweben oder sogar Einzelzellen vollständige Pflanzen regenerieren zu können (FLADUNG, 2005). Hierfür sind für viele Pflanzenarten im Rahmen der so genannten Gewebe- bzw. *In-vitro*-Kultur eine Reihe von Methoden entwickelt worden. Eine weitere Voraussetzung für Gentechnik ist die Verfügbarkeit von geeigneten Genen inklusive seiner Regulatoren. Gene sind Bestandteile des Erbguts, dem Genom. Jedes Genom ist aus einer Reihe von einzelnen Untereinheiten, den Chromosomen, zusammengesetzt, die wiederum aus einem

langen, fadenförmigen Molekül, der Desoxyribonukleinsäure (DNS, engl. DNA) bestehen. Jedes Gen beinhaltet die Information zur Synthese eines Eiweißes (Proteins), d.h. Gene sind funktionale Bestandteile der DNA. Die Aktivität der Gene wird durch seine Regulatoren, den Promotoren, bestimmt.

Die heute am weitesten verbreitete Methode zur Übertragung der Gene bedient sich eines Bakteriums, das *Agrobacterium tumefaciens* heißt (FLADUNG, 1998; 2005). Dieses Bakterium überträgt bereits natürlicherweise Gene in Empfängerpflanzen und verursacht dadurch verschiedene Krankheiten. *Agrobacterium* enthält neben seiner eigentlichen Erbsubstanz, dem Chromosom, ein ringförmiges Molekül, Plasmid genannt, das die zu übertragenden Gene trägt. Für die Nutzung des Bakteriums in der Gentechnik wurden alle „krankmachenden“ Gene entfernt und durch solche ersetzt, die gezielt in das Erbgut von Empfängerpflanzen übertragen werden sollen.

3 ZÜCHTUNG UND GENTECHNIK

In der Forstpflanzenzüchtung sind aufgrund der langen Generationszeiten von Bäumen vornehmlich Kreuzungs- bzw. Hybridzüchtung und die sogenannte „Mutationszüchtung“ praktikabel. Im Zuge der klassischen Kreuzungszüchtung werden zwei Genotypen miteinander gekreuzt, von denen in der Regel einer eine bereits bestehende Sorte ist. Der zweite Kreuzungspartner ist oft eine Wildvarietät, die ein bestimmtes Gen, z.B. ein Resistenzgen gegen eine Pilzkrankheit, beinhaltet, das in die Sorte übertragen werden soll. Die entstandenen Nachkommen tragen zwar zu 50 % das gewünschte Resistenzgen, aber neben den Genen der Sorte auch viele Gene der Wildvarietät. Es müssten nun im Zuge des Züchtungsprozesses durch wiederholte Rückkreuzungen über molekulare Marker die Nachkommen identifiziert werden, die im Idealfall möglichst über den kompletten „genetischen Hintergrund“ der Sorte und gleichzeitig (ausschließlich) über das Resistenzgen der Wildvarietät verfügen (FLADUNG & GEBHARDT, 2010). Für einjährige Kulturpflanzen werden hierfür zwischen 10 und 20 Rückkreuzungszyklen durchlaufen, was allerdings für Forstgehölze nicht möglich ist.

Eine weitere Methode der klassischen Züchtung ist die Mutationszüchtung, die zur Erhöhung der genetischen Variabilität eingesetzt wird. Hierfür werden bestehende Sorten mit Gamma-, Röntgen- oder UV-Strahlung behandelt, um neue, vorteilhafte Eigenschaften durch Mutationen künstlich zu erzeugen. Neben der wünschenswerten Mutation werden im Erbgut aber auch zahlreiche weitere, in der Regel ungewünschte Mutationen erzeugt, die unentdeckt bleiben.

Wird die Gentechnik als Methode in der Züchtung eingesetzt, so wird ausschließlich ein Gen, welches das gewünschte Merkmal in der Pflanze etabliert plus ein weiteres Gen, das zum Aufspüren der erfolgreich gentechnisch veränderten (transgenen) Zellen notwendig ist, über *Agrobacterium* als Vektor in das Erbgut der Empfängerpflanze überführt. Mit der Gentechnik-Methode wird daher eine wesentlich geringere Durchmischung des Erbguts erzielt bzw. weniger Mutationen induziert, als wie sie bei klassischer Züchtung zu beobachten ist.

4 GENTECHNISCH INDUZIERBARE MERKMALE UNTER ASPEKTEN EINES KLIMAWANDELS

Unbeachtet von der Tatsache, dass die Vermeidung oder zumindest Abmilderung eines bereits heute feststellbaren Klimawandels durch hohe Klimaschutzziele oberste Priorität haben müsste, könnte die Gentechnik bei folgenden Ereignissen Lösungsvorschläge anbieten:

- Zunahme von Extremwetterereignissen (Stürme): **Reduzierung des Ligningehalts**
- Abschmelzen der Polkappen und der Gletscher (Überflutungen): **Toleranz gegen anaerobe Bedingungen**
- Ausbreitung von Wüsten (Hitze, Dürre): **Toleranz gegen Austrocknung und hohe Temperaturen**
- CO₂-Konzentrationen von 600 ppm bis 1.000 ppm: **Beeinflussung von Photosynthese und Photorespiration**
- Ausbreitung von Parasiten und tropischen Krankheiten: **Etablierung von Resistenzen**

4.1 Reduzierung des Ligningehalts

Holz besteht zu 22-28 % aus Lignin und zu 27-33 % aus Hemizellulose, der Rest entfällt auf Zellulose. Lignin ist ein wichtiges Festigungselement in den sekundären Zellwänden der Holzfasern und des Leitungsgewebes, den Tracheen und Tracheiden. Neben der stabilisierenden Wirkung hat Lignin auch eine wichtige Funktion bei der Abwehr von Krankheitserregern (Pathogenen). Während der Papierherstellung muss das Lignin aus den Pflanzenfasern herausgelöst werden, um reine Zellulosefasern („Zellstoff“) zu erhalten. Das erfolgt z.B. durch Kochen der zerkleinerten Holzstücke in Sulfitlauge.

Der hohe Anteil von Lignin macht bekanntermaßen das Holz starr. Insbesondere nach den großen Stürmen wie zum Beispiel Lothar (1999) und Kyrill (2007) waren umfangreiche Schäden durch Windbruch zu beobachten. Die „Starrheit des Holzes“ könnte eine Ursache für Windbruchschäden sein, und so kann die Hypothese aufgestellt werden, dass durch eine Reduzierung des Ligningehalts die Bäume „biegsamer“ werden und somit die Gefahr eines Wind-/Sturmbruchs geringer ist.

Ansätze zur Reduzierung des Lignins bei Bäumen umfassen die Hemmung verschiedener Enzyme der Ligninbiosynthese (VANHOLME et al., 2008). Dieser Stoffwechselweg ist äußerst komplex: ausgehend

von der Aminosäure Phenylalanin werden abhängig von der Holzart die Monolignole p-Cumarylalkohol, Coniferylalkohol und Sinapylalkohol gebildet, aus denen nach Polymerisation p-Hydroxyphenyl-, Guaiacyl- bzw. Syringyllignin entstehen.

Hu et al. (1999) haben nach gewebespezifischer Hemmung der Hydroxy-Cinnamat-CoA Ligase (4CL) tatsächlich eine geringere Aktivität dieses Enzyms ausschließlich im sich entwickelnden Xylem der Zitterpappel (*P. tremuloides*) gefunden. Die Effekte in den transgenen Pappeln waren dramatisch: es konnte eine Reduzierung des Ligningehalts um bis zu 50 % sowie eine Zunahme der Zellulose um bis zu 40 % festgestellt werden. Darüber hinaus wurde ein beschleunigtes Wachstum dieser transgenen Pappeln beobachtet.

In einem weiteren Experiment wurde das Enzym Cinnamoyl-Coenzym A Reductase (CCR) ebenfalls in der Pappel spezifisch geblockt (LEPLÉ et al., 2007). Diese gentechnische Veränderung war durch eine orange-braune Verfärbung des äußeren Xylems erkennbar, was auf das Vorhandensein von neugebildeter Ferulasäure während der Lignifikation hindeutet. Die Analyse des Holzes der transgenen Pappeln ergab, dass die GV-Bäume weniger Lignin, weniger Hemizellulose und mehr Cellulose haben (Tabelle 1; LEPLÉ et al., 2007). Diese ligninreduzierten Bäume wiesen während des „pulping“-Prozesses im Vergleich zu Kontrollbäumen einen

geringen Bedarf an notwendigen Chemikalien auf (VANHOLME et al., 2008).

Die gleichzeitige Erhöhung des Zellulosegehalts in ligninreduzierten Bäumen lässt eine weitere Verwendungsmöglichkeit dieser Bäume zu. Die Idee ist, den Zellstoff dieser Bäume in Ethanol umzuwandeln. Ethanol ist ein CO₂- und klimaneutraler, sehr umweltfreundlicher Treibstoff. Bisher wurde Ethanol bevorzugt aus Mais,

Zuckerrohr und Zuckerrüben gewonnen. Der Vorteil bei der Verwendung von GV-Bäumen wäre, dass diese, anders als die Energiepflanzen Mais oder Zuckerrohr, auf Standorten kultiviert werden können, die nicht in Konkurrenz zu Nahrungsmittelpflanzen stehen. Die Zersetzung der Lignozellulose mit dem Enzym Zellulase zeigte, dass die ligninreduzierten Bäume 50 % mehr Glukose freisetzen als Kontrollbäume.

Tabelle 1 / Table 1

Anteile von Lignin, Zellulose und Hemizellulose in CCR-transgenen Pappeln im Vergleich zu nicht-transgenen Kontrollen (LEPLÉ et al., 2007)

Proportions of lignin, cellulose and hemicellulose in CCR transgenic poplars compared to non-transgenic controls (LEPLÉ et al., 2007)

Modified trees have less lignin, less hemicellulose and more cellulose

Line	n	lignin	cellulose	hemicellulose
WT	6	20.65 ± 0.22	48.22 ± 0.69	30.72 ± 0.69
FS3	5	15.75 ± 0.16	56.58 ± 0.49	23.19 ± 0.70
FS40	5	16.54 ± 0.18	67.07 ± 0.81	24.10 ± 0.44
		-20%	+17%	-23%

Leplé et al. The Plant Cell, 2007

Letztlich galt es nun zu überprüfen, ob die ligninreduzierten Bäume eine höhere Anfälligkeit zum Beispiel gegenüber Pathogenen oder andere, zum Beispiel Wuchsnachteile haben. In Freilandversuchen konnte allerdings gezeigt werden, dass unter

natürlichen Bedingungen die ligninreduzierten transgenen Bäume die gleiche Fitness wie nicht-transgene Kontrollbäume haben (PILATE et al., 2002).

4.2 Toleranz gegen anaerobe Bedingungen

Wenn Pflanzen überflutet werden, hat dies schnell eine Verarmung des verfügbaren Sauerstoffs zur Folge, was zur so genannten Hypoxie (Sauerstoffmangel) führt. Das bekannteste Beispiel einer Anpassung an eine Überflutung stellt der Tiefwasserreis dar, an dem die Hypoxie-Signalkette intensiv studiert wurde (SAUTER, 2000). Auftretender Sauerstoffmangel als Folge einer Überflutung bedeutet gleichzeitig CO_2 -Überschuss und induziert eine vermehrte Bildung des gasförmigen Pflanzenhormons Ethylen. Die Wirkungen des Hormons sind vielfältig (<http://www.uni-kiel.de/AGSauter/projects2.html>): zum einen induziert Ethylen einen programmierten Zelltod in den Pflanzenteilen, die ohne Beeinträchtigung der Pflanze absterben können. Die Bildung von Adventivwurzeln wird angeregt sowie die Synthese des Hormons Gibberellinsäure induziert und gleichzeitig die Synthese der Abscisinsäure gehemmt. Dies führt zu einer Steigerung des Internodienwachstums, also zu einer raschen Verlängerung des Sprosses.

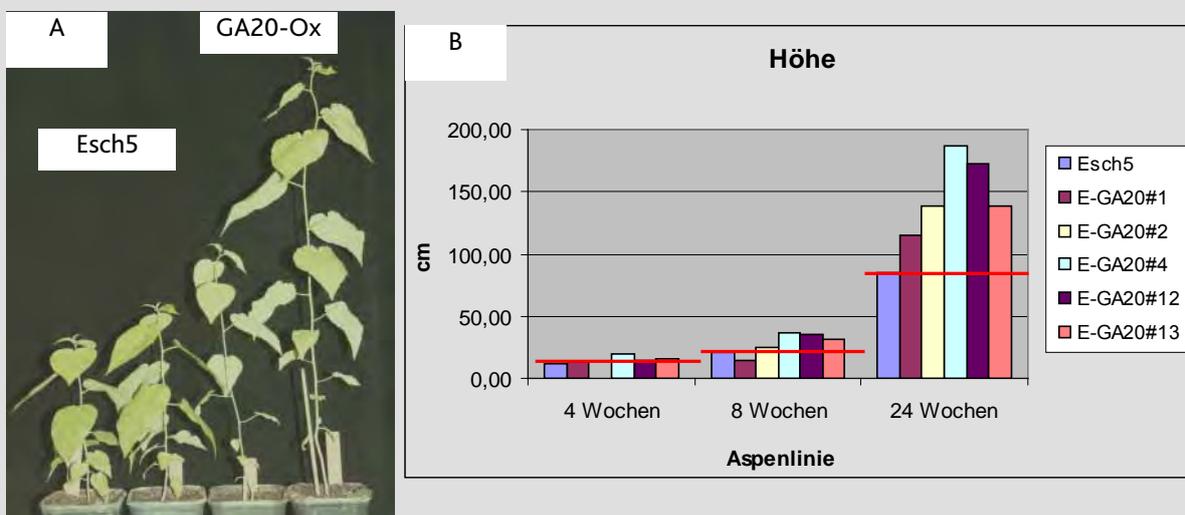
Eine Veränderung des Internodienwachstums (Verkürzung oder Streckung) lässt sich auch auf gentechnischem Weg entweder über eine Beeinflussung der Ethylenmenge oder direkt der Gehalte an Gibberellinsäure erreichen. Ethylen ist an vielen physiologischen und Entwicklungsprozessen in höheren Pflanzen beteiligt, wie die Reifung von Obst, Alterung oder Antworten auf Verletzung. Eine Überexpression oder Hemmung von Schlüsselenzymen der Ethylenbiosynthese (SAM Decarboxylase, SAM Hydrolase, ACC Synthase, ACC Deaminase, ACC Oxidase) führt zu Veränderung von Ethylengehalten. Eine gesteigerte Ethylenbildung resultiert in zwergwüchsigen Tabakpflanzen (ARAKE et al., 2000), während eine Hemmung zur Internodienverlängerung führen könnte.

Gibberellinsäure wirkt sich bekanntermaßen positiv auf die Blütenbildung sowie auf die Länge der Sprossachse von Pflanzen aus. Ein Schlüsselenzym der Synthese der Gibberelline ist die Gibberellinsäure-20-Oxidase (GA20-Ox). Wird dieses Enzym in Pappeln überexprimiert, ist bereits bei 24 Wochen alten Pflanzen eine deutliche Verlängerung der Internodien feststellbar (Abbildung 1; DÜNISCH et al., 2006; FLADUNG, 2006).

Abbildung 1 / Figure 1

GA20-Oxidase transgene Pappeln und Esch5-Kontrollpflanzen. (A) nach 8 Wochen in Erde. (B) Höhenmessungen nach 4, 8 und 24 Wochen Wachstum in der Klimakammer

GA20-oxidase transgenic poplars and Esch5 control plants. (A) After 8 weeks in soil. (B) Height measurements after 4, 8 and 24 weeks in the growth chamber



4.3 Toleranz gegen Austrocknung und hohe Temperaturen

Für viele Länder, insbesondere solche auf der Südhalbkugel, wird der Klimawandel längere Dürreperioden und somit *de facto* einen Wassermangel zur Folge haben, was sich negativ auf Ernteerträge von Nahrungspflanzen auswirken wird. Untersuchungen an bereits existierenden, natürlicherweise trockenoleranten Pflanzen haben gezeigt, dass diese über morphologische Anpassungen wie z.B. verdickte Kutikula, aufgelagerte Wachsschichten oder Behaarung der Blattoberfläche verfügen. Aber auch physiologische Anpassungen wie die C4-Photosynthese oder der Crassulaceen-Säure-Metabolismus (CAM) können zu einer Reduzierung des Wasserverlusts führen. Niedere Organismen wie Bakterien, eukaryotische Einzeller und einige Nematoden sind in der Lage, einen fast

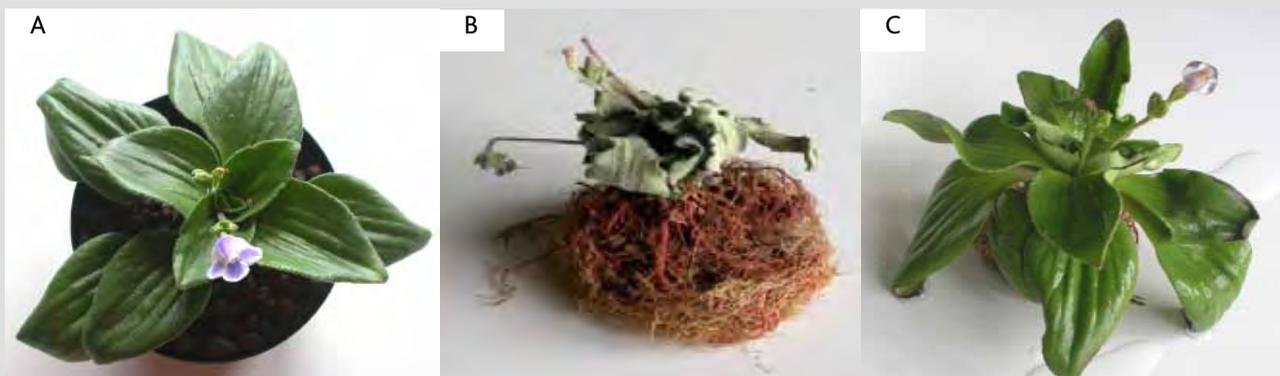
vollständigen Wasserverlust (über 90 %) zu ertragen. Bei Pflanzen sind bekanntermaßen Farne, Flechten und Moose extrem austrocknungstolerant.

Von einer Pflanzengattung ist bekannt, dass deren Arten ebenfalls über eine extrem hohe Toleranz gegen Austrocknung verfügen. Die „Wiederaufstehungspflanze“ (*Craterostigma plantagineum*) ist im südlichen und östlichen Afrika, im Nordjemen und in Indien beheimatet. In dieser Pflanzenart wurden die molekularen Aspekte der Austrocknung intensiv untersucht (BARTELS, 2005).

Abbildung 2 / Figure 2

Craterostigma (A) vor, (B) während und (C) nach der Austrocknung. Die Pflanze in (B) hat über einen mehrtägigen Zeitraum kein Wasser bekommen. (C) 24 Stunden nach Wiederbewässerung (<http://ds9.botanik.uni-bonn.de/bartels/arbeitsgebiet.html>)

Craterostigma (A) before, (B) during and (C) after drying. The plant in (B) had no water over a period of several days. (C) 24 hours after re-watering (<http://ds9.botanik.uni-bonn.de/bartels/arbeitsgebiet.html>)



Craterostigma kann praktisch vollständig austrocknen und sich nach Bewässerung wieder vollständig erholen (Abbildung 2). Die Pflanzen können in dem ausgetrockneten Stadium eine lange Zeit überleben. Während der De- bzw. Rehydrierung sind Veränderungen besonders im Zuckerstoffwechsel

zu beobachten. In nicht gestressten Pflanzen tritt Oktulose (ein C8-Zucker) in großen Mengen in den Blättern auf. Während des Austrocknens wird die Oktulose in Saccharose umgewandelt und umgekehrt bei der Wiederbewässerung. Man vermutet, dass dieser Zucker eine Schutzfunktion hat. Viele

Gene, die an den Prozessen Austrocknung und Wiederbewässerung beteiligt sind, sind von *Craterostigma* isoliert worden (BARTELS, 2005). Manche der Gene sind homolog zu Genen, die man in austrocknungsfähigen Embryonen von heranreifenden Samen findet.

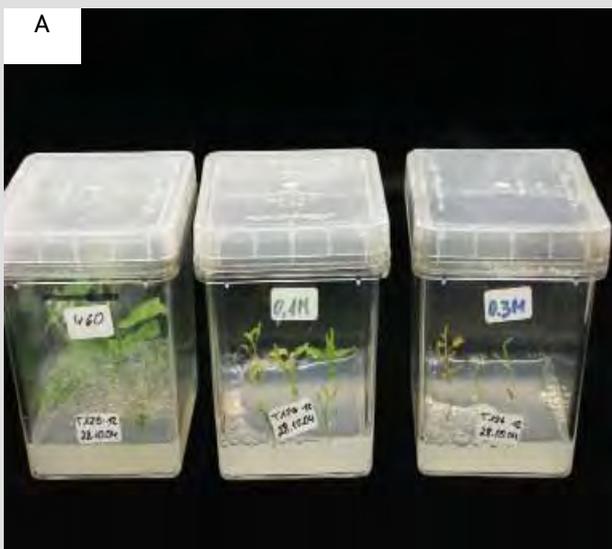
Eines dieser Gene ist die Aldehyd-Dehydrogenase3 (ALDH3). Aldehyd-Dehydrogenasen sind polymorphe Enzyme, die für die Oxidation von Aldehyden zu Carbonsäuren verantwortlich sind. ALDH3 wurde aus *Arabidopsis* und *Craterostigma* isoliert und dessen Wirkung zunächst in transgenem Tabak

getestet. ALDH3-transgene Tabakpflanzen wiesen eine erhöhte Toleranz gegen abiotischen Stress (Austrocknung, Salz, Schwermetalle) auf (SUNKAR et al., 2003). Die Testung dieses Gens in der Pappel zeigte, dass transgene Pappelpflanzen in einem Salzversuch nur eine geringfügig höhere Salztoleranz aufwiesen als Kontrollpflanzen (Abbildung 3). Daten zum Austrocknungsverhalten sowie zur Schwermetalltoleranz befinden sich z.Z. noch in der Auswertung.

Abbildung 3 / Figure 3

ALDH3 transgene Pappeln (A) und Esch5-Kontrollpflanzen (B) auf Medien unterschiedlicher Salzkonzentration (0, 0,1 M, 0,3 M). Esch5 stirbt auf 0,3 M Salz ab, während ALDH3 transgene Pappeln zwar gestresst sind, aber überleben.

ALDH3 transgenic poplars (A) and Esch5 control plants (B) on media of different salt concentrations (0, 0,1 M, 0,3 M). Esch5 dies at 0,3 M salt, while ALDH3 transgenic poplars are indeed stressed, they survive however.



4.4 Beeinflussung von Photorespiration und Photosynthese

Reduzierung von CO₂-Verlusten

Bäume gehören den so genannten C3-Pflanzen an und betreiben eine Photosynthese, in der im Licht neben der CO₂-Aufnahme (Assimilation) auch gleichzeitig, wenngleich auch im geringeren Umfang, eine (Licht)-Atmung erfolgt, die auch als

Photorespiration bezeichnet wird. Dagegen weisen die C4-Pflanzen praktisch keine messbare Photorespiration auf.

Es konnte gezeigt werden, dass alle „C4“-Gene auch in C3-Pflanzen vorhanden sind, aber nur anders reguliert werden. Beim Tabak und bei *Arabidopsis* ist es bereits vor einigen Jahren gelungen, mittels Gentechnik den Anteil der Photorespiration zu senken und somit gleichzeitig eine Erhöhung der Assimilation bzw. Biomasseproduktion zu erreichen (HÄUSLER et al., 2002).

Eine weitere Möglichkeit zur Verminderung von CO₂-Verlusten besteht darin, einen „photorespiratorischen Bypass“ zu etablieren (KEBEISH et al., 2007).

Die Photorespiration ist ein komplexer Stoffwechselweg, der sich über die drei Organellen Chloroplast, Peroxisomen und Mitochondrien erstreckt. Ausgehend vom primären Produkt der Oxygenase-Reaktion der Ribulosebisphosphat Carboxylase-Oxygenase (Rubisco), dem Phosphoglykolat, geht im Mitochondrium einmal CO₂ verloren. In den Chloroplasten könnte man diesen CO₂-Verlust über

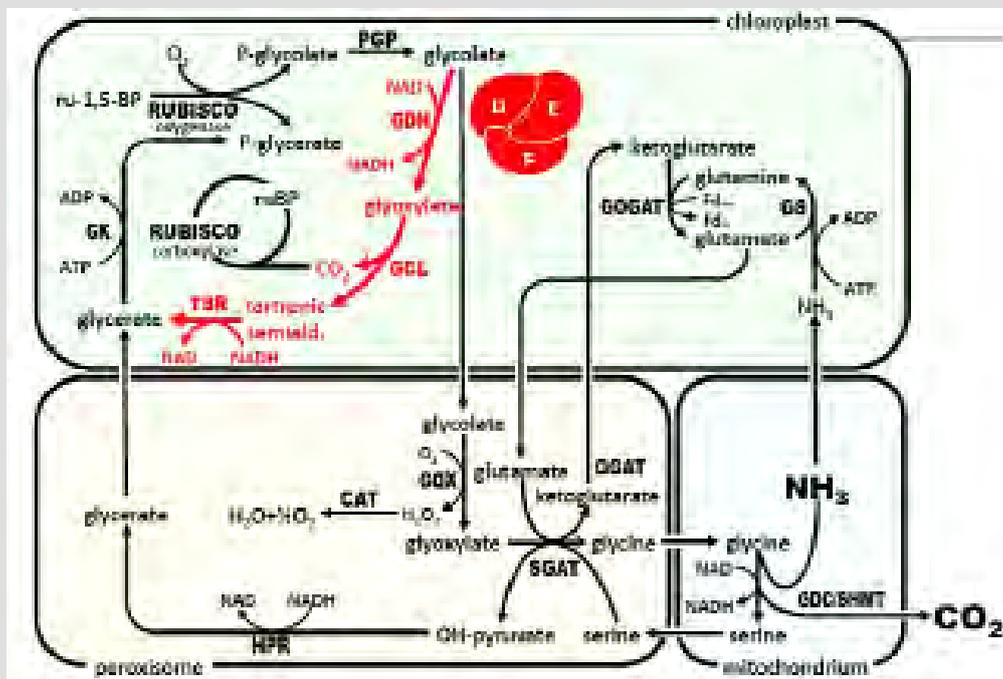
die Kurzschließung des Weges vom Glykolat zum Glycerat (rot in Abbildung 4) durch Einfügen von drei Enzymen, der Glykolat Dehydrogenase (GDH), der Glyoxylatcarboligase (GCL) und der Tartronatsemialdehydreductase (TSR) erreichen (siehe Abbildung 4). In Bakterien (z.B. *E. coli*) liegen diese drei Enzyme als Komplex vor (GDH+GCL+TSR).

Die Überexpression der GDH aus *Arabidopsis* oder des GDH+GCL+TSR-Komplexes aus *E. coli* in transgenem Tabak ergab, dass die transgenen Pflanzen eine verringerte Photorespiration sowie eine höhere Biomasseproduktion aufwiesen.

Abbildung 4 / Figure 4

Der bakterielle Glykolat-Stoffwechsel (rot) auf dem Hintergrund der pflanzlichen Photorespiration (schwarz). Der neue Stoffwechselweg etabliert eine Umleitung der Photorespiration im Chloroplasten, mit der die Verluste an Kohlenstoff (CO₂) reduziert werden. GDH, Glykolatdehydrogenase; GCL, Glyoxylatcarboligase; TSR, Tartronatsemialdehydreductase. Aus: KEBEISH et al., 2007.

The bacterial glycolate pathway (red) on the background of the plant photorespiration (black). The new pathway establishes a diversion of photorespiration in the chloroplast, resulting in reduced losses of carbon (CO₂). GDH, glycolate dehydrogenase; GCL, glyoxylate carboligase; TSR, tartronatesemialdehyde reductase. Taken from: KEBEISH et al., 2007



Die Überexpression der GDH aus *Arabidopsis* in transgenen Pappeln führte in den meisten transgenen Linien zu einem geringeren Wachstum, während einzelne Pflanzen aber höhere Wuchsleistungen aufwiesen (Abbildung 5). Die Messungen sollen in den Jahren 2010 und 2011 wiederholt werden.

4.5 Etablierung von Resistenzen

Als ein weiterer Nebeneffekt des Klimawandels könnten vor allem Infektionen, die sonst in warmen Ländern auftreten, nach Deutschland eingeschleppt werden. Steigende Temperaturen begünstigen aber nicht nur das Ansiedeln nicht heimischer Insekten, sondern auch von Bakterien und Pilzen. Beispiele von bisher bekannten eingeschleppten Krankheiten betreffen das Ulmen- und Erlensterben sowie die Kastanien-Miniermotte.

Als „Ulmensterben“ ist eine Krankheit aus Asien bekannt, die etwa 1920 nach Europa eingeschleppt wurde. Es handelt sich um eine Pilzinfektion, die von *Ophiostoma novo-ulmi* hervorgerufen wird. Überträger ist ein *Scolytus*-Käfer. Eine mögliche Strategie gegen den Pilz wäre der Einsatz von antifungalen Genen wie z.B. Chitinase und / oder Glucanase.

Allerdings kann mit der gleichen Strategie nicht das Erlensterben bekämpft werden. Diese Krankheit wurde erstmalig 1995 in Deutschland nachgewiesen, als Verursacher wurde ebenfalls ein Pilz (*Phytophthora alni*) identifiziert. Allerdings enthält die Zellwand des Pilzes kein Chitin, sondern Zellulose.

Die Weibchen der Kastanien-Miniermotte (*Cameraia ohridella*) legen etwa 20 weiße, abgeflachte Eier auf den Blattoberseiten von Rosskastanien (*Aesculus hippocastanum*) ab. Die geschlüpften Larven „minieren“, also fressen sich einen Gang von ein bis zwei Millimeter Länge in die Blätter hinein. Eine mögliche Strategie gegen die Miniermotte wäre die Verwendung der *CRY*-Gene, die die sogenannten B.t.-Toxine produzieren. Das B.t.-Toxin ist ein auch im Ökolandbau verwendetes Insektizid, das aus dem Bakterium *Bacillus thuringiensis* gewonnen wird. Es sind verschiedene *CRY*-Gene bekannt geworden, die für unterschiedliche B.t.-Toxine



Abbildung 5 / Figure 5

GDH transgene Pappel (links) mit Esch5-Kontrollpflanzen (Mitte, rechts)

GDH transgenic poplar (left) with Esch5 control plants (middle, right)

kodieren. So produzieren zum Beispiel *CRY1*-Gene ein B.t. Toxin, das wirksam gegen Schmetterlinge (und Käfer) ist, während das B.t.-Toxin von *CRY3*-Genen gegen Käfer wirkt.

Das bekannteste *CRY*-Gen ist das *cry1A(b)*, das in Mais transformiert wurde und gegen den Maiszünsler wirkt. In Baumwolle wird das *cry1A(c)* verwendet, das den Baumwollkapselwurm abtötet. In Pappeln sind ebenfalls verschiedene *CRY*-Gene getestet worden, wie z.B. *BtCry1Ac*, *BtCry1*, *BtCry3*. Diese wirken gegen den Pappelschwärmer (*Laothoe populi*) und andere Fraßschädlinge. In China befinden sich B.t.-transgene Pappeln bereits im kommerziellen Anbau.

5 BIOLOGISCHE SICHERHEITSFORSCHUNG

Die biologische Sicherheitsforschung hat sich zur Aufgabe gemacht, potenzielle Risiken sowie Nutzen von transgenen Bäumen zu untersuchen. Hierbei ist es wichtig, die Untersuchungen von Fall zu Fall zu führen, also für jedes System zu hinterfragen: welches Gen wurde verwendet, welche Pflanze wurde transformiert und wo sollen die gentechnisch veränderten Bäume ausgebracht werden?

Nach einer solchen intensiven Biosicherheitsforschung sollten transgene Pflanzen, wenn sie als ökologisch unbedenklich eingestuft werden, für den praktischen Anbau freigegeben werden. Transgene Pflanzen weisen, verglichen mit den nicht-transgenen Ausgangslinien, mit Ausnahme der gentechnischen Veränderung keine genetischen Veränderungen auf. Es werden nur die Gene übertragen, die für ein bestimmtes Merkmal kodieren. Im Gegensatz

dazu weisen Pflanzen nach einem umfangreichen Kreuzungsprogramm genetisch gesehen keine Ähnlichkeiten mit den Ausgangslinien auf.

In Großhansdorf wird seit 1993 biologische Sicherheitsforschung betrieben (HÖNICKA & FLADUNG, 2006; FLADUNG et al., 2004), wobei bisher die folgenden Themen untersucht wurden:

- Stabilität von fremden Genen in langlebigen Bäumen
- horizontaler Gentransfer
- Prüfung von gentechnisch induzierter Sterilität
- vertikaler Gentransfer/Genfluss
- Wirkungen auf Nicht-Zielorganismen (Mykorrhiza, phytopathogene Pilze)

6 LITERATUR

- ARAKI, S., MATSUOKA, M., TANAKA, M. & OGAWA, T. (2000): Ethylene formation and phenotypic analysis of transgenic tobacco plants expressing a bacterial ethylene-forming enzyme. *Plant Cell Physiology* 41: 327-34.
- BARTEL, D. (2005): Desiccation tolerance studied in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum* Integr. *Comparative Biology* 45: 696-701.
- DÜNISCH, O., FUNADAR, R., NAKABA, S. & FLADUNG, M. (2006): Influence of overexpression of a gibberellin 20-oxidase gene on the kinetics of xylem cell development in hybrid poplar (*Populus tremula* L. x *P. tremuloides* Michx.). *Holzforschung* 60: 608-617.
- FLADUNG, M. (1998): Transgene Bäume - Perspektiven und Grenzen. *Biologie in unserer Zeit* 28: 201-213.
- FLADUNG, M. (2005): Gentechnik im Forst: Nutzen oder Risiko? *Umweltpanorama*, Heft 8/2005: 13-15.
- FLADUNG, M. (2006): Modification of cellulose in wood. In: Fladung, M. & Ewald, D. (eds.) *Tree Transgenesis - Recent Developments*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp.123-136.
- FLADUNG, M. (2009): Genveränderte Bäume: Forschung, Chancen und Risiken. *Pro Baum*, Heft 2: 2-7
- FLADUNG, M. & GEBHARDT, K. (2010): Mit Smart-Breeding-Methoden neue Wege in der Forstpflanzenzüchtung gehen. *Forst- und Holz* 65: 37-40.
- FLADUNG, M., KALDORF, M., GIEFFERS, W., ZIEGENHAGEN, B. & KUMAR, S. (2004): Field analysis of transgenic aspen. In: Walter, C. & Carson, M. (eds.) *Plantation forestry of the 21st century*. Research Signpost, pp.393-403.
- HÄUSLER, R.E., HIRSCH, H.J., KRÜZALER, F. & PETERHÄNSEL, C. (2002): Overexpression of C4-cycle enzymes in transgenic C3 plants: a biotechnological approach to improve C3-photosynthesis. *Journal of Experimental Botany* 53: 591-607.
- HÖNICKA, H. & FLADUNG, M. (2006): Biosafety in *Populus* spp. and other forest trees: from non-native species to taxa derived from traditional breeding and genetic engineering. *Trees* 20: 131-144.
- HU, W.J., HARDING, S.A., LUNG, J., POPKO, J.L., RALPH, J., STOKKE, D.D., TSAI, C.J. & CHIANG, V.L. (1999): Repression of lignin biosynthesis promotes cellulose accumulation and growth in transgenic trees. *Nature Biotechnology* 17: 808-812.
- KEBEISH, R., NIESSEN, M., THIRUVEEDHI, K., BARI, R., HIRSCH, H.J., ROSENKRANZ, R., STÄBLER, N., SCHÖNFELD, B., KRÜZALER, F. & PETERHÄNSEL, C. (2007): Chloroplastic photorespiratory bypass increases photosynthesis and biomass production in *Arabidopsis thaliana*. *Nature Biotechnology* 25: 593-599.
- LEPLÉ, J.C., DAUWE, R., MORREEL, K., STORME, V., LAPIERRE, C., POLLET, B., NAUMANN, A., KANG, K.Y., KIM, H., RUEL, K., LEFÈVRE, A., JOSELEAU, J.P., GRIMA-PETTENATI, J., DE RYCKE, R., ANDERSSON-GUNNERÅS, S., ERBAN, A., FEHRLE, I., PETIT-CONIL, M., KOPKA, J., POLLE, A., MESSENS, E., SUNDBERG, B., MANSFIELD, S.D., RALPH, J., PILATE, G. & BOERJAN, W. (2007): Downregulation of cinnamoyl-coenzyme A reductase in poplar: multiple-level phenotyping reveals effects on cell wall polymer metabolism and structure. *Plant Cell* 19: 3669-3691.

PILATE, G., GUINEY, E., HOLT, K., PETIT-CONIL, M., LAPIERRE, C., LEBPLÉ, J.C., POLLET, B., MILA, I., WEBSTER, E.A., MARSTORP, H.G., HOPKINS, D.W., JOUANIN, L., BOERJAN, W., SCHUCH, W., CORNU, D. & HALPIN, C. (2002): Field and pulping performances of transgenic trees with altered lignification. *Nature Biotechnology* 20: 607-612.

SAUTER, M. (2000): Rice in deep water: 'How to take heed against a sea of troubles'. Invited review. *Naturwissenschaften* 87: 289-303.

SUNKAR, R., BARTELS, D. & KIRCH, H.H. (2003): Overexpression of a stress-inducible aldehyde dehydrogenase gene from *Arabidopsis thaliana* in transgenic plants improves stress tolerance. *The Plant Journal* 35: 452-464.

VANHOLME, R., MORREEL, K., RALPH, J. & BOERJAN, W. (2008): Lignin engineering. *Current Opinion in Plant Biology* 11: 278-285.

ANPASSUNGSSTRATEGIEN FÜR DEN KLIMAWANDEL - WALDBAULICHE ÜBERLEGUNGEN

ADAPTATION STRATEGIES IN VIEW OF CLIMATE CHANGE – SILVICULTURAL CONSIDERATIONS

S. Wagner

Technische Universität Dresden, Fachrichtung Forstwissenschaft, Institut für Waldbau und Forstschutz, D-01735 Tharandt

ABSTRACT

This presentation first discusses the question why there cannot be “simple” solutions for the adaptation to climate change in the forest and in forest enterprises. Major reasons comprise

- the uncertainty that prognoses for the environmental factors are still today tainted with;
- the uncertainty to be able to predict the change in the vitality of the tree species on these environmental changes, and
- the uncertainty which is related to these changes by affecting the competition situation among the tree species.

Finally it is also largely unclear how it will be possible in future with all these confronting uncertainties to derive function-optimal structures which are required by forest practice to stay capable of acting.

Against the backdrop of these uncertainties two fundamental strategies are offered: (1) the deterministic conversion of forests with regard to special

services (“conversion for services”), taking climate predictions as reliable, and (2) the adaptive conversion of forests to better fit sustainability criteria (“conversion to adaptivity”), accepting uncertainty as given. Both strategies require the inclusion of forest genetic recommendations – examples for the intersecting points of silviculture / forest genetics are discussed.

(1) The “conversion for services” which is assumed to bring about a compensation between the sites under change and the current entitlements of benefits to the stands, involves the risks that a wide-ranging conversion of the forest, via a rigorous change of the tree species with pretended optimal stocking degree suited for the future, underestimates uncertainties. In spite of this warning against overeagerness, it is obvious that particularly the cultivation of Norway spruce (*Picea abies*), at other locations however also of European beech (*Fagus sylvatica*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) must be critically revised. Oak (*Quercus spec.*) and Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) in most cases present an option for the “conversion for services”, and

basically a mixture appears to be advantageous. In North America the strategy of "facilitated migration" is already discussed by including provenance research for such a "conversion for services".

(2) Essentially more extensive and thus reliable in view of the intended effect, a strategy of risk dispersion is judged („conversion to adaptivity"). It results from consequently applying modern ideas of sustainability which can be transformed into concrete recommendations. These recommendations include keeping the productivity of the sites, the biodiversity, the capability of natural regeneration, and the vitality of the stands. From these subgoals for a conversion to sustainability the site-conform mixture of ecologically different tree species, in particular also the inclusion of pioneer tree species insensitive to disturbance into the growing stock is deducted.

The native tree species - especially tree species with a wider ecological amplitude like pedunculate oak (*Quercus robur*) and silver birch (*Betula pendula*) - are well suited for admixture, and they contribute to risk dispersion. Among European silviculturists the strategy of provenance mixtures is also discussed, e.g. for the tree species European beech (*Fagus sylvatica*).

Moreover, small aggregates and group mixtures are deducted in order to ease the competition situation between species. Furthermore, these kinds of mixture contribute to the conservation of the site productivity by litter input. Also, a diversity of cutting measures for regeneration is favoured, which offers options for establishing different tree species. The (crown-) vitality of the individual trees should be realized by consequently tending the stands.

With regard to the imminent years of directed environmental development, dynamic transfer strategies are discussed which should be taken in consideration, too. These means nurse crop, preliminary cultures and temporary mixtures. Applying these techniques, transitions of stands may be handled for 40 to 50 years. By these techniques it will be possible to either utilize the productivity of the previous stock types, while protecting valued growing stocks for mean-term periods as well.

The use of highly productive pioneer tree species – e.g. poplar (*Populus spec.*) clones – in forest practice is discussed.

Keywords: conversion for services, conversion to adaptivity, dynamic transfer strategy, mixtures, pioneer tree species

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird in dem Vortrag zunächst der Frage nachgegangen, warum es keine „einfachen“ Lösungen für die Adaption an den Klimawandel im Wald und in Forstbetrieben geben kann. Hauptgründe sind

- die Unsicherheit, mit der Prognosen für die Umweltfaktoren heute noch behaftet sind;
- die Unsicherheit, mit der eine Änderung der Vitalität der Baumarten auf diese Umweltveränderungen vorhergesagt werden kann und
- die Unsicherheit darüber, wie sich diese Veränderungen auf die Konkurrenzsituationen zwischen den Baumarten auswirken.

Schließlich ist ebenfalls weitgehend unklar, wie sich bei all diesen Unsicherheiten zukünftig funktionsoptimale Strukturen ableiten lassen, die von der Forstpraxis benötigt werden, um handlungsfähig zu bleiben.

Vor dem Hintergrund dieser Unsicherheiten werden zwei grundsätzliche Lösungsstrategien angeboten: (1) vorhersagender, deterministischer Funktionsumbau und (2) Unsicherheit akzeptierender, adaptiver Nachhaltumbau. Für beide Strategien ist eine Einbeziehung forstgenetischer Empfehlungen erforderlich – Beispiele für Schnittstellen Waldbau / Forstgenetik werden angesprochen.

(1) Der „Funktionsumbau“, der einen Ausgleich zwischen sich verändernden Standorten und aktuellen Leistungsansprüchen an die Bestände ergeben soll, birgt die Gefahr in sich, dass ein flächiger Waldumbau, über einen rigorosen Baumartenwechsel mit vermeintlich zukunftsfähiger Optimalbestockung, diese Unsicherheiten unterschätzt. Trotz dieser Warnung vor Übereifer ist unübersehbar, dass insbesondere der Anbau von Fichten (*Picea abies*), manchenorts aber auch der Buchen- (*Fagus sylvatica*) und Kiefern-anbau (*Pinus sylvestris*), kritisch überprüft werden muss. Eichen (*Quercus spec.*) und Douglasien (*Pseudotsuga menziesii*) stellen in vielen Fällen eine Option für den Funktionsumbau dar, wobei grundsätzlich von der Vorteilhaftigkeit einer Mischung auszugehen ist. Für einen solchen Funktionsumbau wird in Nordamerika unter Einbeziehung der Provenienzforschung bereits die Strategie der „facilitated migration“ diskutiert.

(2) Wesentlich extensiver und dabei in der angestrebten Wirkung zuverlässig ist eine Strategie der Risikoverteilung. Sie ergibt sich durch konsequente Anwendung von modernen Gedanken der Nachhaltigkeit und kann in konkrete Handlungsempfehlungen umgesetzt werden. Diese Handlungsempfehlungen betreffen die Produktivität der Standorte, die Biodiversität, die Naturverjüngungsfähigkeit und die Vitalität der Bestände. Aus diesen Teilzielen

für einen „Nachhaltumbau“ wird die standortsge-
rechte Mischung von ökologisch verschiedenen
Baumarten, insbesondere auch die Beteiligung von
störungsunempfindlichen Pionierbaumarten an den
Bestockungen, abgeleitet. Die standortsheimischen
Baumarten – namentlich Baumarten mit weiter
ökologischer Amplitude wie Stieleiche (*Quercus
robur*) und Sandbirke (*Betula pendula*) – bieten die
Möglichkeit der Beimischung und sorgen somit für
eine Risikoverteilung. Unter europäischen Wald-
bauern wird hierzu auch die Strategie von Pro-
venienzmischungen z.B. bei der Baumart Buche
(*Fagus sylvatica*) diskutiert.

Es werden weiterhin Trupp- und Gruppenmischun-
gen abgeleitet, um Konkurrenzsituationen zu
entspannen. Diese Mischungsformen tragen
darüber hinaus zum Erhalt der Standortsproduktiv-
ität über Streueintrag bei. Weiterhin wird die Vielfalt
von Hiebsarten im Zuge der Verjüngung der
Bestände abgeleitet, die Etablierungsmöglichkeiten
für unterschiedliche Baumarten bieten. Die (Kro-
nen-) Vitalität der Einzelbäume sollte durch conse-
quente Bestandespflege realisiert werden.

Speziell für den unmittelbar bevorstehenden
Zeitraum einer absehbaren, gerichteten Umwelt-
entwicklung sind dynamische Überführungsstrate-
gien gedacht, auf die ebenfalls zurückgegriffen
werden sollte. Darunter sind insbesondere Vorwäl-
der, Voranbauten und Zeitmischungen zu verstehen.
Mit Hilfe dieser Techniken können für etwa 40 bis
50 Jahre Übergänge geschaffen werden. So ist es
möglich, einerseits die Produktivität der bisherigen
Bestockungstypen teilweise noch zu nutzen und
andererseits zukünftig für richtig erachtete Besto-
ckungen für mittelfristige Zeiträume noch zu
schützen.

Die Verwendung hoch produktiver Pionierbaumar-
ten – z.B. Pappelklone (*Populus spec.*) – in der
Forstpraxis wird diskutiert.

Schlagwörter: Funktionsumbau, Nachhaltumbau,
dynamische Überführungsstrategie,
Mischungen, Pionierbaumarten

Ausgewählte Folien des Vortrages / Selected slides of the lecture



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Anpassungsstrategien für den Klimawandel – waldbauliche Überlegungen

Sven Wagner, Tharandt

Anpassungsstrategien bei Unsicherheit

Ich möchte drei Strategien unterscheiden:

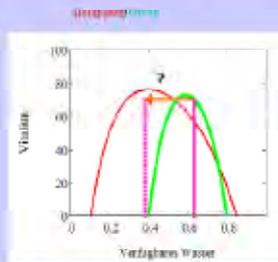
- (1) Maßnahmen, die auf die **Vorhersagbarkeit** der Umweltbedingungen setzen und die darauf aufbauend klar **definierte Leistungen** der Wälder anstreben
 - **Funktionsumbau**
- (2) Maßnahmen, die **Unsicherheiten** bezüglich der Umweltbedingungen über eine Erhöhung der **Anpassungsfähigkeit** der Wälder abfangen sollen
 - **Nachhaltumbau**
- (3) Dynamische Überführungsstrategien

(1) Vorhersagbarkeit und definierte Leistungen (I)

- Bei einer Veränderung der Standortbedingungen (=Klimawandel) und dem Wunsch nach Befriedigung aktueller Walfunktionen (z.B. Holzerträge) → Waldumbau.
- A. Bestehende Bestockungen mittelfristig anpassen. Bei Verringerung der Wasserverfügbarkeit → **Bestockungsgrade** neu optimieren, **Durchforstungen** anpassen.
- B. Bestockungen über Verjüngungsmaßnahmen langfristig anpassen. Gerichtete Klimaveränderung → **Anzahl angepasster Arten** erhöhen (Mischungen, Reihbestände mit anderer Baumart)

(1) Vorhersagbarkeit und definierte Leistungen (II)

- Douglasie
- Edelkastanie
- Eichen
- Lärchen



Zwischenbilanz „Funktionsumbau“

- Der Funktionsumbau ist bei frühem Baumartenwechsel (auch: **frühem Primärerntewechsel**) eine radikale Möglichkeit der Anpassung.
- Bei den gegebenen Unsicherheiten ist ein solches Vorgehen mit großen Risiken behaftet.
- Allerdings ist die Forderung bei Verjüngungsmaßnahmen, alle derzeit verfügbaren Informationen einer Standorterkundung zu nutzen, unbedingt zu berücksichtigen (Neue Klimaforderung → Fichtenumbau?).

(2) Unsicherheit und Anpassungsfähigkeit

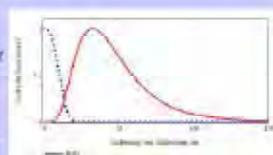
- Die aufgezählten Unsicherheiten (Klimawandel, Reaktion der Baumarten, Zunahme von Störungen, Holzmarkt) können mit einer eigenen Strategie, die auf Anpassungsfähigkeit gerichtet ist, abgefangen werden.
- Erhalt oder Wiederherstellung
 - der Produktivität der Standorte
 - der biologischen Diversität (insbesondere von Schlüsselarten)
 - der (Natur-) Verjüngungsfähigkeit der Bestände
 - der Vitalität von Bäumen und Beständen

Biologische Diversität (insbesondere von Schlüsselarten hier nur Baumarten)

- Berücksichtigung von Standortunterschieden, Etablierung verschiedener Baumarten als Initiale, Vielfalt der Waldpflege- und Erntemaßnahmen
- Beteiligung von Pionieren (Birken, Aspe, Kiefer), Eichen und Douglasie, sowie von Arten, die auf warm-trockene Standorte spezialisiert sind (z.B. Winterlinde, Robinie)
- **Erhalt des Genflusses in Populationen (insbes. Mischbaumarten) durch Einhalten von Mindestabständen zwischen dem Todleben.**
- **Bräuden- wie Provenienzermischungen, um das Risiko zu verteilen!**

(Natur-) Verjüngungsfähigkeit der Bestände

- extensive Beteiligung von Pionierbaumarten (z.B. Sandbirke), Erhöhung der Präsenz von Baumarten mit beschränkter Ausbreitungspotenz (z.B. Winterlinde).
- Anwendung artgerechter (Ente-)Hiebemaßnahmen → Vielfalt



Dichte der Samen in Abhängigkeit von der Entfernung zum Waldrand (Waldung auf weiche Laubbäume (rechts) Nadelbäume (links))

Zwischenbilanz „Nachhaltumbau“

- Der soeben beschriebene Nachhaltumbau ist zweifellos sinnvoll und kaum mit Risiken behaftet ("no regret option").
- Es gibt aber offene Fragen, wie intensiv (z.B. erforderlicher Anteil an Mischbaumarten definiert durch **effektive Entmischung bei Pollen-, Samen-, Streutierdung**) und mit welchen Arten (**Provenienzen**) gearbeitet werden soll.
- Ein Nachhaltumbau ist in Deutschland seit etwa 25 Jahren vielerorts gängige Praxis. Ausrichtung auf den Klimawandel erforderlich.



(3) Dynamische Überführungsstrategien

- Die Dynamik der Umweltfaktoren ist allein mit Maßnahmen, die statisch wirken, nicht aufzufangen. Doch selbst dazu muss entschieden werden, für welchen Zeitraum geplant wird.
- Drei Planungshorizonte können unterschieden werden:
 - A. Anfang der Periode (Klassisch für konstante Bedingungen)
 - B. Ende der Periode (Parkszenario)
 - C. Periodenmitte



TU Dresden, 05.11.2009

Schwarzwaldforscher



(3) Dynamische Überführungsstrategien

- Als unmittelbarer Erfolg versprechend können genannt werden:
 - Vorwald (Birke über Eichen, Erle über Buche)
 - Voranbau (Eichen unter Kiefer, Buche unter Fichte)
 - Naturverjüngung unter Altbestand (Eiche, Vogelbeere unter Kiefer)
 - Zeitmischung (Fichte in Buche)
- Eine Effektivitätssteigerung von Vorwald/Zeitmischung ist durch die Einbeziehung hochproduktiver Forsten denkbar. Gibt es Empfehlungen?

TU Dresden, 05.11.2009

Schwarzwaldforscher

Forstgenetisch/waldbaulicher Forschungsbedarf - aus der Sicht eines Waldbauers -

- Die Herkunftsempfehlungen müssen überprüft werden. Wie steht die Forstgenetik zu Herkunftsempfehlungen?
- Herkunftsversuche dürfen nicht allein auf die vegetative Phase beschränkt bleiben. Keimung und Etablierung von Sämlingen sind Lebenszyklusphasen, sehr schwerer Substrat. Es sollte Wauverfügungsmöglichkeiten geschaffen werden.
- Mischbaumarten werden wichtiger. Paradatisagenetische Informationen fehlen (z.B. effektive Pollenflugdistanzen, Genflussraten) um Mischungsgrade, Mischungsformen mit Waldbausystemen erfolgreich zu gestalten.

TU Dresden, 05.11.2009

Schwarzwaldforscher

Schlussfolgerungen/Zusammenfassung (I)

- Beim **Funktionsumbau** wird es notwendig sein, die Baumartenwahl an die bekannten Klimagesenarien anzupassen (Fichte), Somit hat die Suche nach klimatoleranter, leistungsfähigen Baumarten (Douglasie, Eiche) und Provenienzen begonnen.
- Ein **Nachhaltumbau** ist seit langem erforderlich. Bist in vielen Betrieben bereits sehr gesaurer Zeit und muss überall dort, wo die „Umbausphäre“ abebbt, nun mit neuer Begründung (Klimawandel) angereicht werden.

TU Dresden, 05.11.2009

Schwarzwaldforscher

Schlussfolgerungen/Zusammenfassung (II)

- Waldflege – Mischungsregulierungen, Bestockungsgradregulierungen und Förderung der leistungsfähigsten Individuen – bleibt aktuell. Ggf. müssen neue Zielvorgaben entwickelt werden.
- Geschlossene und rasche Stoffkreisläufe, der Erhalt und die Förderung der biologischen Vielfalt, sowie die Naturverjüngungsfähigkeit und die Vitalität der Bäume sind stabilisierende Elemente einer Strategie bei Unsicherheit (ökologisch wie ökonomisch).

Schlussfolgerungen/Zusammenfassung (III)

- Bezogen auf die Baumartenwahl bedeutet dies eine Beteiligung ökologisch unterschiedlicher Arten am Bestandesaufbau → Mischbestände mit florieren- und klimatoleranten Arten.
- Der „Nachhaltumbau“ kann ggf. deutlich extensiver ausfallen, als ein „Funktionsumbau“ zur Optimierung einer aktuell gewährten Waldleistung.
- Die Dynamik der Umweltveränderungen kann mit bewährten waldbaulichen Mitteln aufgefangen werden. Man muss sich nur auf sie besinnen!

TU Dresden, 05.11.2009

Schwarzwaldforscher

HERKUNFTSWAHL IM KLIMAWANDEL - FORSTGENETISCHE ERKENNTNISSE ALS ENTSCHEIDUNGSHILFE

CHOICE OF PROVENANCES IN CLIMATE CHANGE - FOREST GENETIC KNOWLEDGE FOR DECISION SUPPORT

M. Konnert & E. Cremer

Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP), D-83317 Teisendorf

ABSTRACT

The choice of provenances, besides the selection of tree species, is crucial for the stability and the economic success of artificially established forest stands. Particularly with regard to climate change, any decision for provenance selection has to be based on scientific knowledge.

Research concerning silver fir (*Abies alba*), Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) and European beech (*Fagus sylvatica*) exemplifies the way how results from field trials, early tests and genetic analyses may be applied as decision support for selecting crop stands and elaborating provenance recommendations. The results given for silver fir primarily refer to the South German silver fir provenance trial.

The example of Douglas fir demonstrates how the legal regulations of selecting crop stands may be reasonably supplemented with results from genetic studies.

For European beech a cultivation test has been established in essentially warmer regions of Bulgaria two years ago including Bavarian provenances. This trial intends to indicate whether Bavarian provenances possess the ability of adapting to the climate conditions present there.

Moreover, drought tests using one-year-old beech seedlings shall demonstrate whether provenances exist which cope with warm conditions in the early developmental phase better than others.

The practical consequences of such studies are discussed.

Keywords: Provenance choice, provenance trial, drought test, genetic analyses, transfer experiment, practical recommendations

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Stabilität und den ökonomischen Erfolg von künstlich begründeten Waldbeständen ist neben der Baumartenwahl die Herkunftswahl entscheidend. Gerade im Klimawandel muss die Entscheidung zur Herkunftswahl auf wissenschaftlich begründeten Erkenntnissen beruhen.

Anhand konkreter Beispiele für Tanne (*Abies alba*), Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) und Buche (*Fagus sylvatica*) wird gezeigt, wie Ergebnisse aus Feldversuchen, Frühtests und genetischen Analysen als Entscheidungshilfe bei der Auswahl von Erntebeständen und der Erarbeitung von Herkunftsempfehlungen herangezogen werden können. Dabei beziehen sich die Ergebnisse für die Tanne primär auf den Süddeutschen Weißtannenprovenienzversuch.

Am Beispiel der Douglasie wird gezeigt, wie die gesetzlichen Vorgaben zur Auswahl von Erntebeständen durch Ergebnisse genetischer Untersuchungen sinnvoll ergänzt werden können.

Für die Buche soll ein vor zwei Jahren angelegter Anbauversuch mit Herkünften aus Bayern in deutlich wärmeren Regionen Bulgariens Aufschluss darüber geben, ob unsere Herkünfte die Fähigkeit zur Anpassung an die dortigen Klimabedingungen haben.

Zudem sollen Trockentests an einjährigen Buchenpflanzen zeigen, ob es Herkünfte gibt, die in der Frühphase der Entwicklung mit warmen Bedingungen besser zurechtkommen.

Die praktischen Konsequenzen solcher Untersuchungen werden diskutiert.

Schlagwörter: Herkunftswahl, Herkunftsversuch, Trockentests, genetische Analysen, Transferexperiment, praktische Empfehlungen

Ausgewählte Folien des Vortrages / Selected slides of the lecture

BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG 



Herkunftswahl (im Klimawandel) forstgenetische Erkenntnisse als Entscheidungshilfe

M. Konnert & E. Cremer



 Bayer. Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht
Teisendorf

Forstgenetik kann und muss:

- die genetische Variation bestimmen (und ihre Veränderungen)
- die Anpasstheit und Reaktionen auf Umweltbedingungen prüfen (z.B. in Feldversuchen)
- der Praxis Entscheidungen zur Herkunftswahl an die Hand geben
- die Herkunft kontrollieren können
- Kandidatengene für anpassungsrelevante Merkmale identifizieren und Zusammenhänge zwischen genetischen und phänotypischen Merkmalen aufdecken.

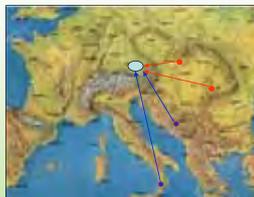
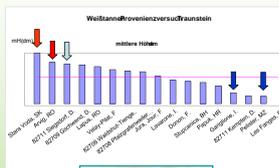
Was für Instrumente stehen hierfür zur Verfügung?

- genetische Analysen
mittels verschiedener genetischer Marker zur Erfassung genetischer Grundstrukturen



Nur über **verschiedene Säulen** erhalten wir ein vollständiges Bild über die Herkünfte, um der Praxis Empfehlungen an die Hand geben zu können.

Provenienzversuche Tanne



Tannensämlinge aus Gailgione und Zweisel (lokal) mit unterschiedlichen Reaktionen auf Spätfrost

Tannenerkünfte aus der Karpaten-Region zeigen das beste Höhenwachstum – noch vor der lokalen Herkunft (rote Pfeile); Herkünfte aus Südeuropa befinden sich dagegen im unteren Drittel (blaue Pfeile).

Tanne: kombinierte Auswertung der verschiedenen Ergebnisse

Ergebnisse der DNA-Analysen an 6 Mikrosatellitenorten

Population	Mean no. of alleles	Diversity	Heterozygosity	F-value
Gailgione	16,2	10,381	0,841	0,084
Stara Voda	12,0	5,995	0,785	-0,010
Pelister	16,2	9,415	0,841	0,096
Slagodorf	12,2	6,466	0,778	0,030
Lapus	15,0	8,152	0,831	0,094
Les Panges	9,0	3,166	0,652	0,036

aus genetischen Untersuchungen + Feldversuche:
Stara Voda und Lapus als potentielle Ersatzherkünfte



Was für Instrumente stehen hierfür zur Verfügung?

Genökologische Studien

...help to study genetic variation in relation to the environment and give information about the adaptedness of existing populations to climate and site. (Clair and Howe, 2007)

Feldversuche – Überprüfung von Anpasstheit

- 1) kurzfristige Tests
Frühtests (z.B. Sämlingstests in der Baumschule)
phänologische Untersuchungen



Douglasien-Sämlinge in der Baumschule

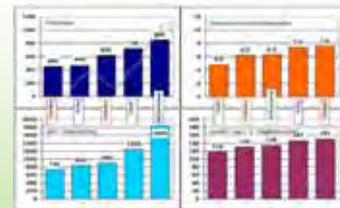
- 2) Langfristige Experimente
Provenienzversuche
Transferexperimente



Buchen-Herkunftsversuch in Nord-Bayern

Tanne

In Bayern:
8 Provenienzversuchsfelder für Tanne



- Herkünfte aus Osteuropa auf allen Flächen die besten
- Herkünfte aus Südeuropa – auf allen Flächen unbefriedigend

Genetische Untersuchungen Tanne

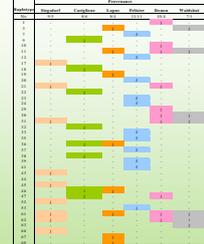
Zeigen die Tannenerkünfte aus den Versuchen das erwartete regionale genetische Variationsmuster?

Ergebnisse aus Isoenzym-Untersuchungen

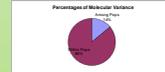
Herkunft	Alter	Allelhäufigkeiten			
		B3	B4	A	A
Gailgione	6	68	32	28	72
	20	64	37	32	70
Dobos	6	36	64	46	54
	20	35	65	40	60
La Joux	6	52	48	33	67
	20	51	49	31	66
Lapus	6	68	32	45	55
	20	67	33	40	61
Larvosee	6	53	47	48	52
	20	50	50	45	55
Les Panges	6	15	85	45	55
	20	12	88	42	58
Pelister	6	60	40	21	79
	20	67	33	24	66

Unterscheiden sich die verschiedenen Tannenerkünfte voneinander?

Ergebnisse aus cpDNA - Untersuchungen

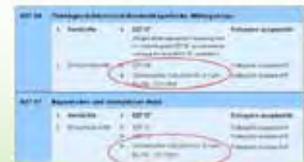


Ergebnisse aus Kern-Mikrosatelliten-Analysen



Praktische Empfehlungen für die Herkunftswahl am Beispiel Tanne

Tannen-Herkunftsgebiete in Deutschland

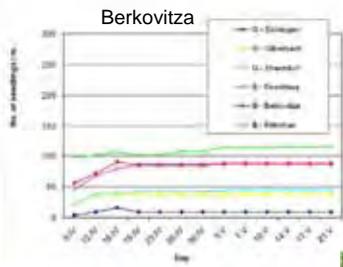




Buche:
Transferexperiment Bayern - Bulgarien



Anzucht der Bucheckern in der Baumschule



Berkovitzta
Bulgarien



Laufen
Bayern

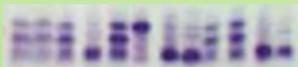
Douglasie



Der Erfolg bei der Einbringung von Douglasie ist sehr stark abhängig von der Wahl der passenden Herkunft. Zahlreiche Feldversuche zeigen: für die meisten Gebiete Deutschlands ist die **Küstendouglasie geeigneter** als die Inlandsdouglasie.

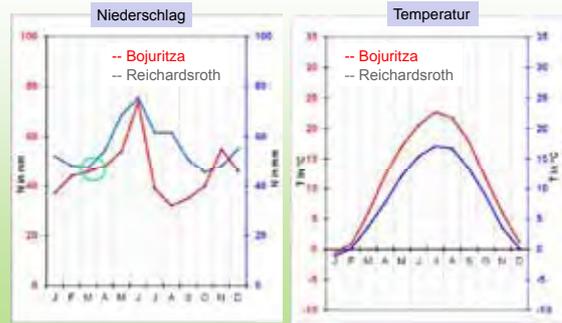
➢ Die Herkunft bzw. Rasse (grün/grau) ist allerdings bei Erntebeständen aus Deutschland meist nicht geklärt, hier aber notwendig.

Aus was bestehen unsere bayerischen Saatguterntebestände?

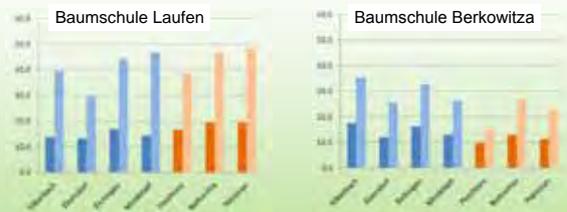


Isozym-Marker als „Untersuchungswerkzeug“

Vergleich der Klima
Bojuritza (Bulgarien) und Reichardsroth (Bavern)

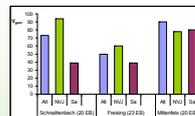


Höhenentwicklung der Buchen (2008, 2009)

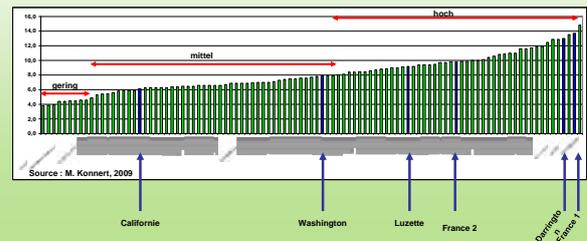


Begleitend: genetische Untersuchungen mittels 5 Kern-Mikrosatelliten-Markern an den bulgarischen und deutschen Bucheckernpartien

Douglasie: genetische Diversitätsuntersuchungen



Weitergabe genetischer Information
Genetische Variation in Altbeständen, Naturverjüngung und Saatgut



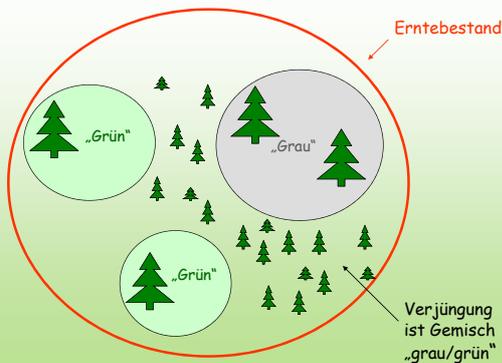
Generelle Schlussfolgerung

für die Herkunftswahl

- Es ist wichtig, die verschiedenen Säulen der Forstgenetik in Kombination für den Erkenntnisgewinn zu berücksichtigen, um gesicherte Empfehlungen geben zu können.
- Grundsätzlich sind langfristige Feldversuche als Basis notwendig, die letztlich mit genetischen Untersuchungen ergänzt werden sollten.
- So lange wir es mit Extremereignisse (wie Spätfrost) zu tun haben, ist der Transfer von südlicheren Herkünften in den Norden als Alternative beim Klimawandel begrenzt.

**„Nur derjenige, der nichts macht, macht keinen Fehler
– außer, dass er nichts macht“**

englisches Sprichwort



AUSTRIEB UND TROCKENTOLERANZ VON ROTBUCHEN-HERKÜNFTE (*FAGUS SYLVATICA* L.) UNTER SICH ÄNDERNDEN KLIMABEDINGUNGEN

FLUSHING AND DROUGHT TOLERANCE OF COMMON BEECH (*FAGUS SYLVATICA* L.) PROVENANCES IN CHANGING CLIMATE

H. Wolf

Referat Forstgenetik / Forstpflanzenzüchtung, Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft, Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS), D-01796 Pirna

ABSTRACT

In Saxony, the presently significant role of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) in the process of the ecologically oriented conversion of forests on appropriate sites will be questioned more and more by the future climate change. Answers to this question may be derived from research on the provenance variation of Common beech.

In this paper results of investigations on progenies in Common beech provenance trials are described related to the influence of site and climate conditions on flushing as well as the effects of drought to selected provenances. Based on these results preliminary conclusions are drawn.

The results of the assessment of flushing confirmed results of other investigations in respect of the variation of bud flushing among provenances. The date of flushing varied depending on the weather situation year by year as well as on the site conditions in a specific year without losing the distinct character of a provenance as an early, middle or late flushing population. The temperature sums required to reach a certain flushing stage varied

also from year to year as well as from site to site depending on the number of chilling days during the dormant period.

The results of the impact of drought to different provenances of Common beech showed significant differences in the appearance of damages, the height increment in the year following the drought period as well as different physiological characters. The response of the provenances investigated was quite different. However, a significant increase of mortality caused by drought could not be observed.

Keywords: Common beech, *Fagus sylvatica* L., provenances, climate change, bud flushing, response to drought

ZUSAMMENFASSUNG

Die derzeit wichtige Rolle der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in dem ökologisch orientierten Waldumbauprogramm des Freistaates Sachsen könnte zunehmend durch den Klimawandel in Frage gestellt werden. Antwort auf diese Frage können zum Beispiel Untersuchungen zur Variation klimare-

levanter Merkmale von Buchenachkommenschaften in Herkunftsversuchen liefern.

Es werden mehrjährige Untersuchungen zum Einfluss von Standort und Witterung auf das Austriebsverhalten von Rotbuchen-Herkünften und zu den Auswirkungen von Trockenheit auf ausgewählte Herkünfte beispielhaft dargestellt und soweit möglich, erste Schlussfolgerungen aus den vorliegenden Ergebnissen gezogen.

Bei den Untersuchungen zum Austriebsverhalten von Rotbuchen-Herkünften konnten die bei anderen Herkunftsversuchen bereits beschriebenen Unterschiede im Austriebszeitpunkt bestätigt werden. Der Austriebszeitpunkt variiert in Abhängigkeit vom jeweiligen Witterungsverlauf von Jahr zu Jahr sowie in einem gegebenen Jahr von Standort zu Standort, ohne dass die herkunftstypischen Eigenschaften aufgegeben werden. Die Temperatursummen, die zum Erreichen ein und desselben Austriebstadiums erforderlich sind, sind in Abhängigkeit von der Anzahl kühler Tage während der

Ruhephase ebenfalls von Jahr zu Jahr und von Standort zu Standort verschieden.

Die Untersuchungen zu den Auswirkungen von Trockenheit auf verschiedene Herkünfte der Rotbuche ergaben signifikante Unterschiede bei dem Auftreten von Trockenschäden, beim Zuwachs im Folgejahr nach einem Trockenereignis sowie bei verschiedenen physiologischen Merkmalen. Die Herkünfte reagierten auf Trockenheit somit sehr unterschiedlich. Eine signifikante Erhöhung der Mortalität als Folge von Trockenheit konnte jedoch bei keiner der Herkünfte auf den genannten Versuchsflächen festgestellt werden.

Schlagwörter: Rotbuche, *Fagus sylvatica* L., Herkünfte, Klimawandel, Austrieb, Trockentoleranz

1 DIE ROTBUCHEN IN SACHSEN

Die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) ist in Sachsen wie in anderen mitteleuropäischen Ländern die wichtigste Baumart der natürlichen Waldgesellschaften, die unter ungestörten Verhältnissen einen Anteil von 64 % an der aktuellen Waldfläche hätten (BRAUN, 1995). Im deutlichen Gegensatz dazu steht der heutige Anteil von 3,4 % an der Waldfläche in Sachsen (ANONYMUS, 2004a). Im Zuge des ökologisch orientierten Waldumbaus werden derzeit 34 % der Kunstverjüngungsfläche im Landeswald auf geeigneten Standorten mit Rotbuche bepflanzt (ANONYMUS, 2009). Die Produktionszeit für die Rotbuche in den verschiedenen Bestandeszieltypen beträgt 140 Jahre (EISENHÄUER et al., 2005).

Für die Erzeugung von Rotbuchen-Saatgut der Kategorie „Ausgewählt“ sind in Sachsen mit Stand vom 01.01.2010 121 Erntebestände mit einer Gesamtfläche von ca. 900 ha zugelassen. Ein Großteil dieser Bestände bildete in den vergangenen Jahren auf Grund regelmäßiger und reichlicher Fruktifikation die genetische Basis für den Anbau der Rotbuche im sächsischen Landeswald. Darüber hinaus erfolgte bis Ende 2009 zur weitgehenden Erhaltung der genetischen Ressourcen der Rotbuche *in situ* die Auswahl von 226 Rotbuchen-Beständen

mit einer Gesamtfläche von 1.322 ha als Wald mit besonderer Generhaltungsfunktion in allen Waldbesitzarten.

Überleben und Wachstum von Rotbuchen-Beständen werden, wie auch bei anderen Baumarten, wesentlich durch klimatische Einflüsse bestimmt. Für die südlichen Regionen Ostdeutschlands werden nach neuesten Simulationen bis zum Jahr 2100 ein Temperaturanstieg in den Wintermonaten um bis zu 4 K, im Jahresmittel von 2-2,5 K sowie ein Rückgang der Anzahl von Eis- und Frosttagen auf die Hälfte des heute Gewohnten prognostiziert (SPEKAT et al., 2007). Neben dem Temperaturanstieg wird ein Rückgang der Niederschläge im Sommerhalbjahr zwischen 20 % und 50 % im gleichen Zeitraum erwartet. Dieser wird vor allem in Regionen, die bereits heute über relativ geringe Niederschläge verfügen, wie der Lausitz oder dem Osterzgebirge, besonders stark ausgeprägt sein (SPEKAT et al., 2007).

Die sich ändernden klimatischen Rahmenbedingungen werden Einfluss auf die Länge von Ruhe- und Wachstumsphasen sowie auf die Stabilität von Wetterlagen haben. Die Prozesse, die zum Eintritt

von Bäumen in die Ruhephase, deren Beständigkeit sowie zu deren Aufhebung führen, werden beeinflusst (HÄNNINEN, 1991). Die klimatischen Veränderungen werden schneller ablaufen als die Anpassungsprozesse von Waldbäumen, die zur Angepasstheit genetisch kontrollierter Merkmale, wie z. B. des Austriebs führen. Die Klimaerwärmung kann daher mit einer Zunahme des Risikos von Frostschäden einhergehen (HÄNNINEN, 1991; SCHLUTOW & GEMBALLA, 2008). Die mit dem Rückgang der Niederschläge vermutlich einhergehende Zunahme von Trockenperioden wird einen erheblichen Einfluss auf das Wachstum und die Stabilität von Waldbeständen haben.

Für den zukünftigen Anbau der Rotbuche und die Wahl geeigneter Herkünfte sind daher Kenntnisse über das Austriebsverhalten von Herkünften in Abhängigkeit von Standort und Witterungsverlauf sowie über die Reaktionsfähigkeit gegenüber Trockenheit von großer Bedeutung. Herkunftsversuchen kommt bei der Erfassung der klimabedingten Merkmalsvariation sowie der Reaktions- und Anpassungsfähigkeit von Herkünften unter verschiedenen Standortbedingungen eine besondere Rolle zu (MATYAS, 1996). Der Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS) unterhält seit 1990 ein Netz von vier regionalen und internationalen Rotbuchen-

Herkunftsversuchsserien. Dieses setzt sich aus 13 Versuchsflächen mit über 200 Herkünften aus dem gesamten Verbreitungsgebiet zusammen. Die Versuche, die in verschiedenen Jahren mit unterschiedlichen Herkünften angelegt wurden, sind durch Standardherkünfte miteinander verknüpft, um die Ergebnisse zwischen den Versuchen vergleichbar zu machen. Als Ergänzung des langfristigen Versuchsnetzes erfolgte im Rahmen des durch die Europäischen Union geförderten Projektes Common Beech for Forestation and Diversification (FAIR3-CT96-1464) von 1997 bis 1999 die Anlage von temporären Versuchsanlagen auf Dauerbeobachtungsflächen des SBS.

Im folgenden Beitrag werden Untersuchungen zur Variation des Austriebs in Abhängigkeit von Herkunft, Standort und Witterungsverlauf sowie der Reaktion ausgewählter Herkünfte auf Trockenheit vorgestellt. Die genannten Merkmale gehören zu denjenigen, die im Rahmen der Anpassung an sich verändernde Klimabedingungen in ihrer Bedeutung für das Überleben und die Reproduktion einer Art zunehmen. Auf Grundlage vorläufiger Ergebnisse und deren Diskussion werden erste Schlussfolgerungen für den zukünftigen Anbau der Rotbuche in Zeiten sich ändernden Klimas gezogen.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Reaktion des Austriebs von Herkünften auf variierende Witterungsbedingungen

Die Untersuchungen zur Variation des Austriebs in Abhängigkeit von Herkunft, Standort und Witterungsverlauf setzen sich aus zwei Teilen zusammen. Von 1997 bis 1999 erfolgte an vier- bis sechsjährigen Pflanzen von 100 Herkünften aus dem gesamten Verbreitungsgebiet auf der Versuchsfläche Malter (Internationaler Rotbuchen-Herkunftsversuch 1993) die Erfassung des Austriebsverhaltens unter dem Einfluss verschiedener Temperaturverläufe (Tabelle 1). Im Frühjahr 1999 dienten vierjährige Pflanzen der Herkünfte Aarnink [NL], Bad Urach [D-BW], Grasten [DK], Postojna [SLO], Maglij [BG], Buynovtzi [BG], Maramures [RO] und Lohmen

[D-SN] zur Erfassung des Austriebs auf unterschiedlichen Standorten in ein und demselben Jahr. Als Beobachtungsstandorte fungierten temporäre Kleinstversuchsflächen auf den Dauerbeobachtungsflächen des Kompetenzzentrums für Wald und Forstwirtschaft in Colditz, Laußnitz und Olbernhau sowie getopfte Pflanzen auf dem Topfplatz der Forstbaumschule Graupa des Zentrums für forstliches Vermehrungsgut, Staatsbetrieb Sachsenforst (Tabelle 1).

Für die Erfassung des Austriebs wurde einheitlich das siebenstufige Boniturschema (Stufe 1: Knospen winterlich; Stufe 7: Blätter entfaltet, glatt und glänzend) des vTi-Instituts für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung Großhansdorf an mehreren Terminen verwendet. Als Austriebszeitpunkt wird nachfolgend das Erreichen des Entwicklungssta-

diums „Knospenaufbruch“ (Stufe 3: Knospen beginnen aufzubrechen, erstes Grün sichtbar) bezeichnet.

Die Ermittlung der für die Erreichung des Austriebszeitpunktes erforderlichen Temperatursummen erfolgte unter Berücksichtigung eines Schwellenwertes von 5 °C entsprechend dem von WÜHLISCH et al. (1995) beschriebenen Verfahren. Als kühle Tage werden nachfolgend Tage bezeichnet, deren Tagesmitteltemperaturen unter +5 °C liegen

(CANNELL & SMITH, 1983). Als Berechnungsgrundlage dienten die Temperaturdaten der Wetterstation Dippoldiswalde-Reinberg (ANONYMUS, 2001), die der Fläche Malter am nächsten liegt sowie von Waldklimastationen in unmittelbarer Nähe der Dauerbeobachtungsflächen und der Forstbauschule Graupa. Die Aussagen zum allgemeinen Witterungsverlauf in den Frühjahren 1997 bis 1999 sind den Waldzustandsberichten des Freistaates Sachsen 1997 bis 1999 entnommen (ANONYMUS, 1997; 1998; 1999).

Tabelle 1 / Table 1

Erfassung des Austriebs von Rotbuchen-Herkünften: ständörtliche Verhältnisse der Versuchsflächen und Anzahl der untersuchten Herkünfte

Assessment of the flushing of Common beech provenances: site conditions of the experimental trial plots and number of provenances investigated

Fläche	Anzahl Herkünfte	Höhe ü. NN in m	Temp./a in °C	Niederschlag/a in mm	Schirm	Bemerkung
Colditz	8	185	8,9	640	Eiche	Dauerbeobachtungsfläche
Laußnitz	8	170	8,7	650	Kiefer	Dauerbeobachtungsfläche
Olbernhau	8	710	5,5	920	Fichte	Dauerbeobachtungsfläche
Graupa-Topfplatz	8	170	9,5	670	---	Getopfte Pflanzen
Malter	100	360	7,6	754	---	Intern. Herkunftsversuch 1993

2.2 Reaktion von Rotbuchen-Herkünften auf Trockenheit

Die Reaktion von Rotbuchen-Herkünften auf Trockenheit wurde in der Hauptsache an den Herkünften des Sächsischen Rotbuchen-Herkunftsversuches 1993 (Versuchsfläche Graupa-Kirchsneise) und des Internationalen Rotbuchen-Herkunftsversuches 1993 (Versuchsfläche Malter) erfasst (Tabelle 2). In Abhängigkeit vom Erhebungs- und Messaufwand erfolgten Voll- und Stichprobenaufnahmen aller Herkünfte bzw. Stichprobenaufnahmen einer Anzahl ausgewählter Herkünfte (Tabelle 3). Für Untersuchungsansätze, die auf Grund des Zeitaufwands nur die Bearbeitung einer geringen Stichprobe zuließen, wurden Herkünfte entsprechend der Niederschlagsverhältnisse an

dem Wuchsstandort des Ausgangsmaterials sowie der geografischen Verteilung ausgewählt.

Die vorgestellten Untersuchungen wurden vom Sommer 2003 bis zum Spätsommer 2006 durchgeführt. Im August 2003 erfolgte die Erfassung von Trockenschäden in Form von Schiffchenbildung und Verfärbung des Laubes an den 11-jährigen Buchen der Versuchsfläche Graupa-Kirchsneise mit Hilfe eines fünfstufigen Boniturschemas (Stufe 1: vollständig geschädigt; Stufe 5: nicht geschädigt). Die Auswirkungen von Trockenheit auf das Wachstum der Herkünfte als Weiser für die Vitalität wurde im Winterhalbjahr 2004/05 ermittelt, indem auf der Versuchsfläche Graupa-Kirchsneise eine Rückmessung der Triebblängen für die Wuchsjahre 2002 bis 2004 durchgeführt wurde.

Tabelle 2 / Table 2

Reaktion von Rotbuchen-Herkünften auf Trockenheit: standörtliche Verhältnisse der Versuchsflächen und Anzahl der untersuchten Herkünfte

Response of Common beech provenances to drought: site conditions of the experimental trial plots and number of provenances investigated

Fläche	Anzahl Herkünfte	Höhe ü. NN in m	Temp./a in °C	Temp. 05-09 in °C	Niederschlag/a in mm	Niederschlag 05-09 in mm	Bodenform
Graupa-Kirchschnaise	64	125	9,5	16,6	669	358	Sand-Braunerde
Malter	100	360	7,6	14,4	754	444	Gneis-Braunerde

Im Jahr 2006 erfolgte die Erfassung des Dämmerungswasserpotenzials an 14-jährigen Rotbuchen von 20 Herkünften auf der Versuchsfläche Malter (Tabelle 3). Die Messungen wurden am Ende einer längeren Trockenperiode am 27. und 28. Juli sowie nach ausgiebigen Regenfällen am 1. und 2. September 2006 durchgeführt. Ergänzt wurden die Untersuchungen durch die Erfassung des Merkmals

„Schiffchenbildung“ während einer Trockenperiode im Juli 2006 mit einem dreistufigen Boniturschema (Stufe 1: nicht geschädigt; Stufe 3: vollständig geschädigt) (Hesse, 2008). Weiterhin wurden im März und April 2007 an jeweils 10 Pflanzen von 11 Herkünften Zweigproben für die Ermittlung des Leitfähigkeitsverlustes im Labor gewonnen (Hesse, 2008).

Tabelle 3 / Table 3

Reaktion von Rotbuchen-Herkünften auf Trockenheit: durchgeführte Untersuchungen

Response of Common beech provenances to drought: investigations carried out

Fläche	Jahr	Parameter	Art der Erhebung	Anzahl Herkünfte	Anzahl Pflanzen/ Herkunft	Quelle
Graupa-Kirchschnaise	2003	Blattverfärbung	Bonitur	64	Alle	
Graupa-Kirchschnaise	2004	Höhenzuwachs	Triebblängenrückmessung	64	10	BÖHNISCH 2004
Malter	2006	Schiffchenbildung	Bonitur	31	40	HESSE 2008
Malter	07/09-2006	Dämmerungswasserpotenzial	Messung	20	6	SOLGER 2006
Malter	2007	Leitfähigkeitsverlust	Messung	11	10	HESSE 2008

2.3 Statistische Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Die statistischen Analysen (Beschreibende Statistik, Varianzanalysen; Rang-Korrelationen nach SPEARMAN) wurden mit dem Statistik-Programm SPSS für Windows (Versionen 10.0 bis 17.0) und dem Tabellenkalkulationsprogramm MS-Excel 2003 für Windows durchgeführt. Der Vertrauensbereich für

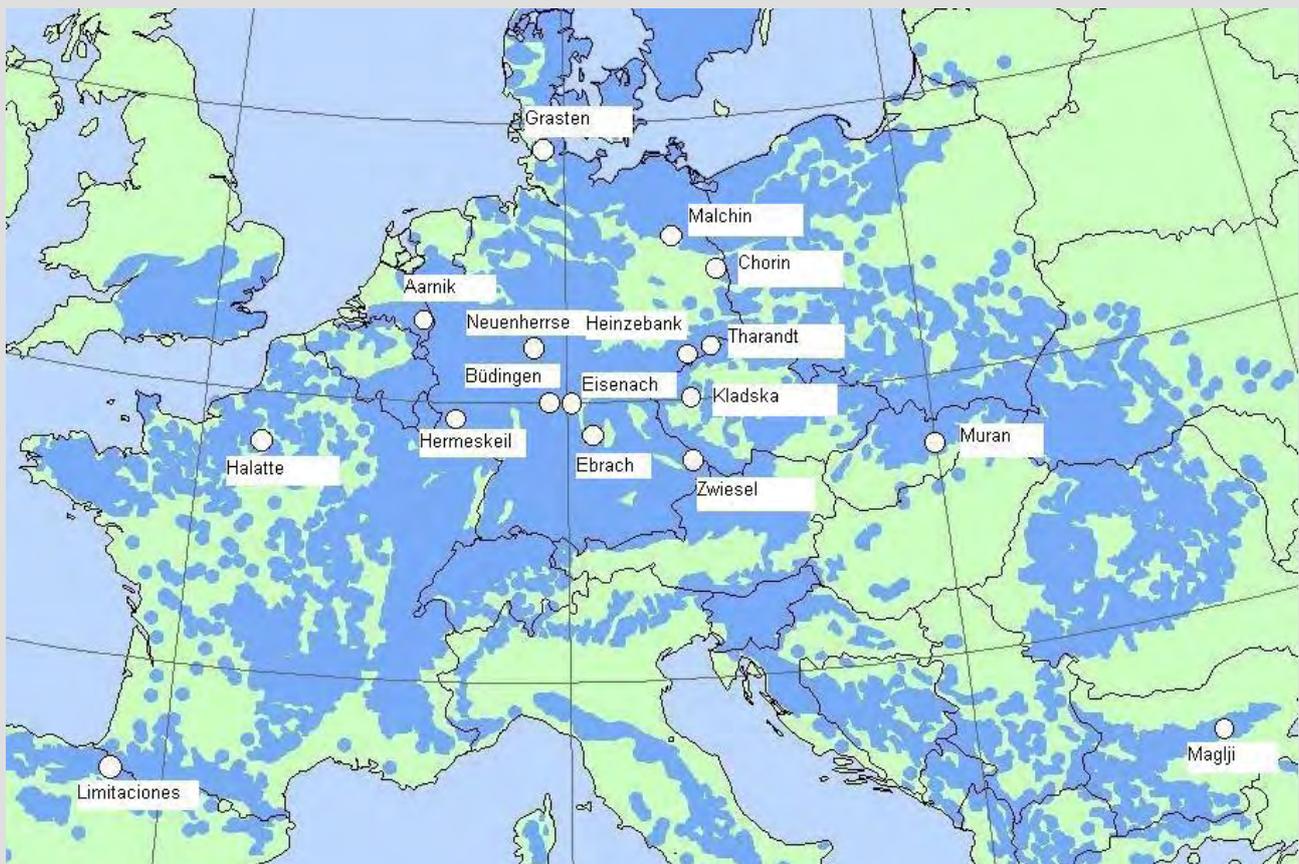
die Signifikanz von Unterschieden und Zusammenhängen betrug $p \leq 0.05$.

Die Ergebnisse werden nachfolgend exemplarisch an Hand einer Auswahl von Herkünften vorgestellt (Abbildung 1).

Abbildung 1 / Figure 1

Lage der für die Darstellung der Ergebnisse ausgewählter Rotbuchen-Herkünfte

Locations of the Common beech provenances selected for the presentation of the results



3 ERGEBNISSE

3.1 Reaktion des Austriebs von Herkünften auf variierende Witterungsbedingungen

Die drei Beobachtungsjahre 1997 bis 1999 waren durch sehr unterschiedliche Witterungsverläufe gekennzeichnet. Die Vegetationsruhe 1996/97 war durch einen sehr kalten Dezember und Januar gekennzeichnet, die von einer milden Periode bis Mitte März abgelöst wurden. Von Mitte März bis zum 24. April 1997 führte kühle Witterung dazu, dass die zu beobachtende phänologische Verfrühung verlangsamt wurde. Der danach folgende starke Temperaturanstieg führte zu einem sehr raschen Austriebsverlauf. Bei den gewählten Aufnahmetermen konnte daher nur noch ein sehr fortgeschrittenes Austriebsstadium festgestellt werden. Eine Einschätzung der für den Knospenaufbruch erforderlichen Temperatursumme war somit

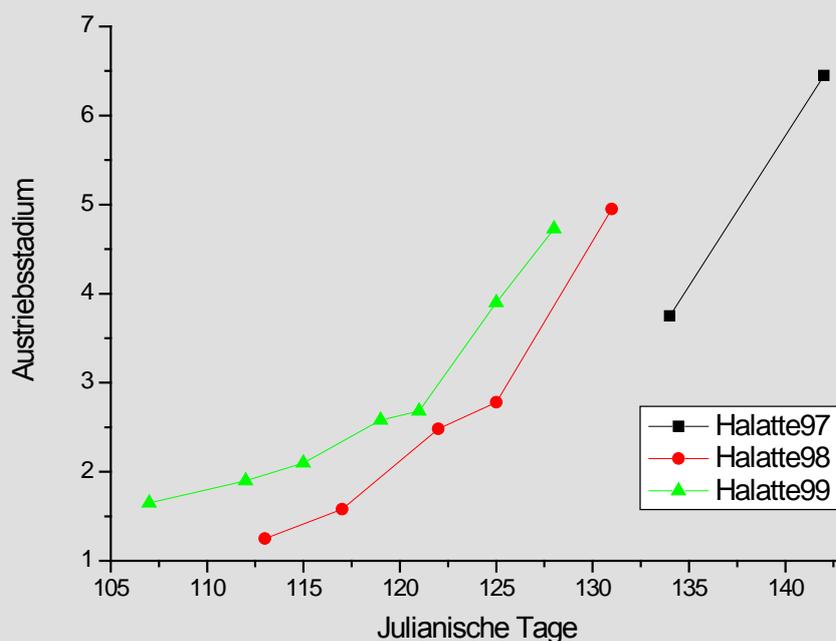
nicht mehr möglich. In den beiden darauf folgenden Winterhalbjahren traten keine nennenswerten Bodenfrostperioden auf. Im Jahr 1998 folgten der milden Januar-/Februarperiode im März und April Temperaturen, die dem langjährigen Mittel entsprachen. Im Jahr 1999 war der Februar dagegen vergleichsweise kalt, diesem folgten die Monate März und April mit Temperaturen leicht über dem langjährigen Mittel.

In allen drei Beobachtungsjahren waren auf der Versuchsfläche Malter zwischen den untersuchten Herkünften erhebliche Unterschiede im Austrieb festzustellen. Im Vergleich der einzelnen Jahre behielten die Herkünfte ihr herkunftsspezifisches Austriebsverhalten bei. Im Jahr 1999 trieben die Herkünfte geringfügig früher aus als im Jahr 1998, wie das Beispiel der spät treibenden Herkunft Halatte (F) zeigt (Abbildung 2).

Abbildung 2 / Figure 2

Austrieb der spät austreibenden Rotbuchen-Herkunft Halatte (F) auf der Versuchsfläche Malter in den Jahren 1997 bis 1999

Flushing of the late flushing Common beech provenance Halatte (F) on the experimental trial plot of Malter in the years 1997 to 1999



Der Vergleich der für den Knospenaufbruch erforderlichen Temperatursummen zeigte, dass im Frühjahr 1999 nach einer größeren Anzahl von

kühlen Tagen während der Vegetationsruhe eine deutlich geringere Temperatursumme notwendig war als im Frühjahr 1998 (Tabelle 4).

Tabelle 4 / Figure 4

Erfassung des Austriebs von Rotbuchen-Herkünften: für Austriebsbeginn erfasste Temperatursummen in Abhängigkeit vom Beobachtungsjahr auf der Versuchsfläche Malter am Beispiel einer früh und einer spät austreibenden Herkunft

Assessment of the flushing of Common beech provenances: temperature sums assessed in relation to the year of observation on the trial plot Malter as exemplified by an early and a late flushing provenance

Beobachtungsjahr	Anzahl kühler Tage	Tag des Austriebsbeginns		Anzahl Gradstunden	
		Muran (SK)	Halatte (F)	Muran (SK)	Halatte (F)
1998	110	118	125	6.020	7.250
1999	124	115	122	3.040	4.540

Im Frühjahr 1999 baute sich die Temperatursumme auf der in den Hochlagen des Erzgebirges liegenden Fläche Olbernhau im Vergleich zu den im Tiefland angesiedelten Flächen in Colditz, Laußnitz und Graupa-Topfplatz relativ spät und auf einem deutlich niedrigeren Niveau auf. Auf den einzelnen

Flächen variierte der Austrieb erwartungsgemäß zwischen früh und spät austreibenden Herkünften, die jedoch auf allen Flächen gleichermaßen festzustellen war. So trieb auf allen Flächen immer die Herkunft Maglji (BG) sehr früh, die Herkunft Aarnik (NL) sehr spät aus (Abbildung 3).

Abbildung 3 / Figure 3

Variation des Austriebs zwischen den untersuchten Rotbuchen-Herkünften auf der Versuchsfläche Laußnitz im Frühjahr 1999

Variation of flushing among the Common beech provenances investigated on the experimental trial plot Laußnitz in spring 1999

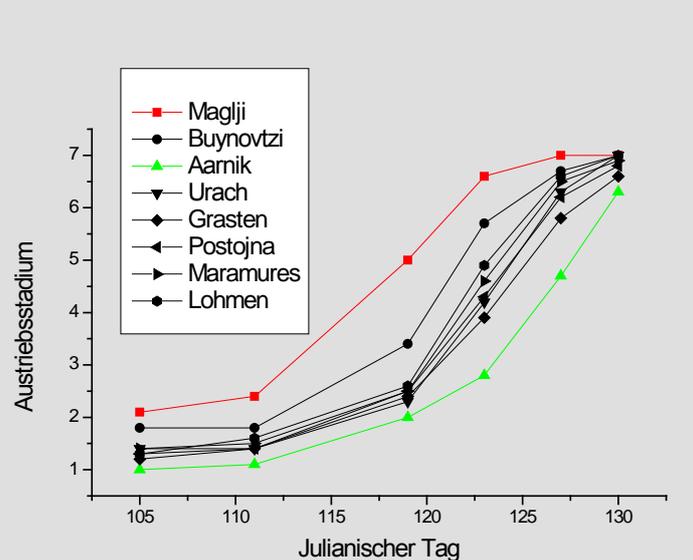
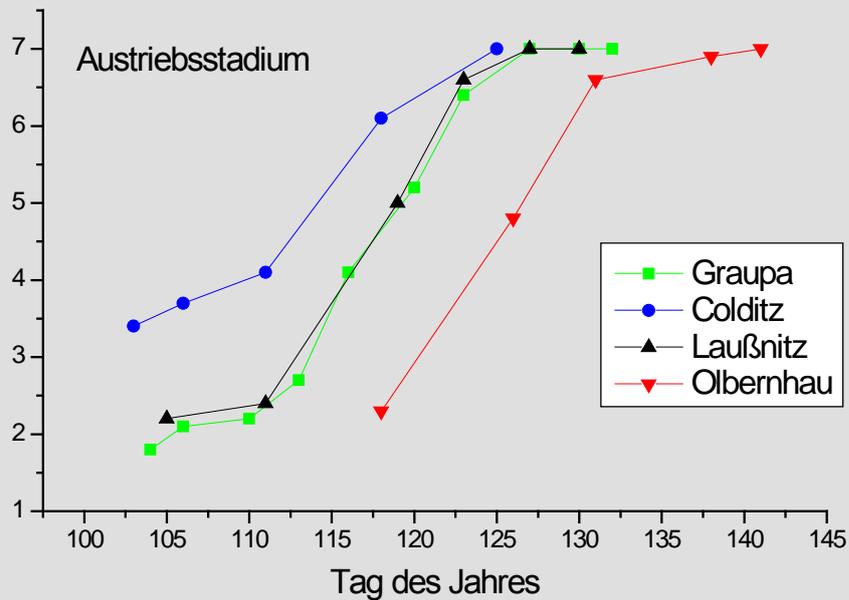


Abbildung 4 / Figure 4

Austrieb der früh austreibenden Rotbuchen-Herkunft Maglji (BG) auf verschiedenen Versuchsflächen im Frühjahr 1999

Flushing of the early flushing Common beech provenance Maglji (BG) on different experimental trial plots in spring 1999



Wird der Austrieb ein- und derselben Herkunft auf den verschiedenen Standorten betrachtet, zeigten sich erhebliche Unterschiede (Abbildung 4).

summen ergab sich, dass dafür auf den Flächen Colditz, Laußnitz und Graupa-Topfplatz erheblich größere Temperatursummen erforderlich waren als in Olbernhau (Tabelle 5).

Bei der Gegenüberstellung der für den Knospenaufbruch einer Herkunft erforderlichen Temperatur-

Tabelle 5 / Table 5

Erfassung des Austriebs von Rotbuchen-Herkünften: für Austriebsbeginn erfasste Temperatursummen in Abhängigkeit vom Standort im Frühjahr 1999 am Beispiel einer früh und einer spät austreibenden Herkunft

Assessment of the flushing of Common beech provenances: temperature sums assessed in relation to the experimental site in spring 1999 as exemplified by an early and a late flushing provenance

Standort	Höhe ü. NN in m	Tag des Austriebsbeginns		Anzahl Gradstunden	
		Maglji (BG)	Aarnik (NL)	Maglji (BG)	Aarnik (NL)
Olbernhau	710	121	131	5.600	7.800
Graupa	170	114	121	7.800	9.500
Laußnitz	170	113	128	9.300	12.100
Colditz	185	100	118	8.400	12.300

3.2 Reaktion von Rotbuchen-Herkünften auf Trockenheit

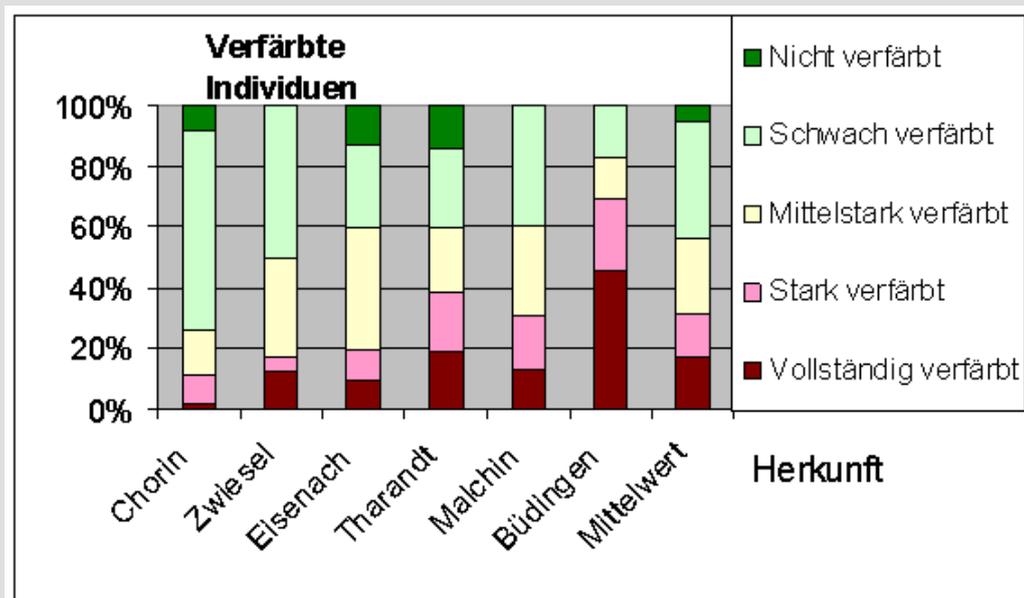
Das Jahr 2003 war durch zwei lang anhaltende warm-heiße, strahlungsreiche und trockene Witterungsabschnitte von April bis Juni und im August geprägt, in denen nur 30-50 % bzw. 10-25 % des langjährigen Monatsmittelwertes an Niederschlag fielen. Infolgedessen konnten ab Mitte August auf der Versuchsfläche Graupa-Kirchschnaise an den 64 Herkünften des Sächsischen Herkunftsversuches

1993 zum Teil erhebliche Trockenschäden in Form von Schiffchenbildung und Verfärbung des Laubes beobachtet werden. Über alle Herkünfte wiesen 35 % der Pflanzen stark bzw. vollständig verfärbtes Laub, 42 % keine oder nur schwache Laubverfärbungen auf. Zwischen den Herkünften konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden, wie zum Beispiel zwischen den Herkünften Chorin (D-BB) und Büdingen (D-HE) (Abbildung 5).

Abbildung 5 / Figure 5

Laubverfärbung an ausgewählten Rotbuchen-Herkünften nach der Sommertrockenheit 2003 auf der Versuchsfläche Graupa-Kirchschnaise

Discoloration of leaves of selected Common beech provenances on the experimental trial plot Graupa-Kirchschnaise following the drought in summer 2003



Die Rückmessung der Triebblängen für die Wuchsjahre 2002 bis 2004 auf der Versuchsfläche Graupa-Kirchschnaise ergab über alle Herkünfte keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Höhenzuwachs des Jahres 2002 und dem Trockenjahr 2003.

Dagegen war der Zuwachs über alle Herkünfte des Jahres 2004 gegenüber den beiden Vorjahren signifikant geringer. Die einzelnen Herkünfte reagierten zum Teil sehr unterschiedlich auf die Trockenheit des Jahres 2003. So konnten sowohl ein leichter Anstieg des Zuwachses als auch ein leichter Rückgang im Jahr 2003 im Vergleich zum Vorjahr

festgestellt werden, die jedoch in keinem Fall signifikant waren (Tabelle 6).

Dagegen zeigten Herkünfte, die 2003 überdurchschnittlich hohe Trockenschäden aufwiesen, im Jahr 2004 einen signifikant geringeren Zuwachs als im Trockenjahr 2003, wie zum Beispiel die Herkunft Büdingen (D-HE). Die Herkunft Eisenach (D-TH) zeigte trotz eines leicht überdurchschnittlichen Schädigungsgrades sowohl im Jahr des Trockenstresses als auch im auf den Trockenstress folgenden Jahr einen leicht erhöhten Zuwachs (Tabelle 6).

Tabelle 6 / Table 6

Durchschnittlicher Höhenzuwachs ausgewählter Rotbuchen-Herkünfte von 2002 bis 2004 auf der Versuchsfläche Graupa-Kirchschnaise

Average height increment of selected Common beech provenances from 2002 to 2004 on the experimental trial plot Graupa-Kirchschnaise

Herkunft	Durchschnittlicher Höhenzuwachs				
	2002	2003		2004	
	in m	in m	in % von 2002	in m	in % von 2002
Chorin (D-BB)	0,57	0,48	84	0,27	47
Büdingen (D-HE)	0,47	0,40	85	0,21	45
Eisenach (D-TH)	0,40	0,44	110	0,44	110
Malchin (D-MV)	0,57	0,45	79	0,38	67
Tharandt (D-SN)	0,43	0,37	86	0,47	109
Zwiesel (D-BY)	0,54	0,49	91	0,38	70

In Folge der ausgeprägten Trockenheit von April bis Juli 2006, in der nur bis zu 40 % des normal üblichen Niederschlages beobachtet werden konnte, traten bei den untersuchten Herkünften auf der

Versuchsfläche Malter trockenheitsbedingte Verformungen der Blätter (Schiffchenbildung) in unterschiedlichem Ausmaß auf (Tabelle 7).

Tabelle 7 / Table 7

Trockenheitsbedingte Variation von morphologischen und physiologischen Merkmalen ausgewählter Herkünfte auf der Versuchsfläche Malter im Jahr 2006

Drought related variation of morphological and physiological characters of selected Common beech provenances on the experimental trial plot Malter in the year 2006

Herkunft	Anteil stark und vollständig geschädigter Individuen		Veränderung Dämmerungswasserpotenzial bei Trockenstress		Leitfähigkeitsverlust (PLC 30) [Labormessung]	
	in %	Rang	in %	Rang	in %	Rang
Ebrach (D-BY)	50	5	144,9	7	45,5	6
Heinzebank (D-SN)	57	8	267,7	8	51,2	8
Hermeskeil (D-RP)	22	2	19,6	3	34,3	1
Neuenherrsche (D-NW)	35	4	15,6	2	34,9	2
Grasten (DK)	50	5	71,9	6	45,3	5
Halatte (F)	45	7	8,4	1	44,1	4
Kladzka (CZ)	32	3	43,8	5	49,9	7
Limitaciones (E)	15	1	26,1	4	35,9	3
Mittelwert	39		74,7		42,6	

Die Spannweite reichte von einem Anteil von 15 % geschädigter Individuen je Herkunft (Limitaciones [E]) zu einem Anteil von 57 % geschädigter Individuen (Heinzbank [D-SN]). Das gegen Ende der Trockenperiode gemessene Dämmerungswasserpotenzial an 20 Herkünften unterschied sich zum Teil erheblich von den bei ausreichender Wasserversorgung ermittelten Werten. So zeigen die Herkünfte Heinzbank (D-SN) und Ebrach (D-BY) eine sehr deutliche Veränderung des Dämmerungswasserpotenzials gegen Ende der längeren Trockenperiode auf. Dagegen reagierten die Herkünfte Halatte (F), Neuenherrse (D-NW) und Hermeskeil (D-RP) deutlich schwächer (Tabelle 7). Bei der experimentellen Herstellung eines Leitfähigkeitsverlustes ergaben sich zwischen den genannten Herkünften wiederum Unterschiede, wobei die Herkünfte Hermeskeil (D-RP) und Neuenherrse (D-NW) durch geringere Leitfähigkeitsverlustprozente auffielen als zum Beispiel die Herkunft Heinzbank (D-SN) (Tabelle 7). Zwischen dem Ausmaß am Auftreten

von morphologischen Trockenstresssymptomen (Schiffchenbildung) und der Veränderung des Dämmerungswasserpotenzials der vorgestellten Herkünfte konnte mit einem Korrelationskoeffizienten von $r_s = 0,59$ keine signifikante Rangkorrelation nach SPEARMAN festgestellt werden. Dagegen bestanden zwischen den Parametern Leitfähigkeitsverlust auf der einen Seite und Veränderung des Dämmerungswasserpotenzials sowie Ausmaß des Auftretens von morphologischen Trockenstresssymptomen auf der anderen Seite signifikante Rangkorrelationen nach SPEARMAN ($r_s = 0,76$ bzw. $0,66$). Zwischen den geschilderten morphologischen bzw. physiologischen Parametern einerseits und ertragskundlichen Parametern oder Ausfallraten andererseits konnten keinerlei signifikante Rangkorrelationen festgestellt werden. In keinem Fall erhöhte sich die Mortalität der Herkünfte, die auf den vom Staatsbetrieb Sachsenforst betriebenen Versuchsflächen geprüft werden, signifikant nach den Trockenheiten 2003 und 2006.

4 DISKUSSION

4.1 Reaktion des Austriebs von Herkünften auf variierende Witterungsbedingungen

Mit den vorgestellten Ergebnissen können die bereits bei anderen Herkunftsversuchen beschriebenen Unterschiede im Austriebszeitpunkt bestätigt werden. Der Austriebszeitpunkt variiert in Abhängigkeit vom jeweiligen Witterungsverlauf von Jahr zu Jahr sowie in einem gegebenen Jahr von Standort zu Standort, ohne dass die herkunftstypischen Eigenschaften aufgegeben werden. Die Temperatursummen, die zur Erreichung ein- und desselben Austriebstadiums erforderlich sind, variieren in Abhängigkeit von der Anzahl kühler Tage während der Ruhephase ebenfalls von Jahr zu Jahr und von Standort zu Standort.

Die festgestellten Unterschiede in den Temperatursummen, die von einer Herkunft zum Erreichen ein und desselben Austriebsstadiums in Abhängigkeit von Wuchsort und -jahr benötigt werden, werden durch komplexe Interaktionen zwischen unterschiedlichen Klimafaktoren und der Photoperiode

verursacht. Diese beeinflussen den Beginn der Ruhephase, deren Aufhebung und den Beginn des Austriebs in Bäumen. Die Winterruhe von Knospen der Baumarten der nördlichen Hemisphäre wird durch die abnehmenden Tageslängen und Temperaturen nach der Vegetationsperiode hervorgerufen (MENZEL, 1997). Um die Winterruhe in Buchenknospen wieder aufzuheben, sind kühle Tage und Langtage erforderlich (MURRAY et al., 1989; HEIDE, 1993b). Wenn Knospen nicht ausreichend kalten Temperaturen ausgesetzt waren, verbleiben sie teilweise in ruhendem Zustand und benötigen eine hohe Temperatursumme, um aufzubrechen (CANNELL & SMITH, 1983; MURRAY et al., 1989; HEIDE 1993a). Wenn die Ruhephase einmal aufgehoben ist, reduzieren kühle Tage die Temperatursummen, die für den Knospenaustrieb erforderlich sind (MURRAY et al., 1989; CHUINE & COUR, 1999).

Eine Ursache für die beobachteten Unterschiede in den Temperatursummen könnten nach HEIDE (1993b) Unterschiede in den Tageslängen sein. Die Untersuchungen erfolgten auf Standorten, die in einem geografisch eng begrenzten Raum liegen, sowie zur mehr oder weniger gleichen Früh-

jahresperiode in den unterschiedlichen Beobachtungsjahren. Schwerwiegende Unterschiede in der Tageslänge können somit als Ursache für die beobachteten Unterschiede ausgeschlossen werden.

Grundsätzlich waren die für das Erreichen eines bestimmten Austriebsstadiums erforderlichen Temperatursummen in Abhängigkeit von Beobachtungsjahr oder Versuchsfläche dann am größten, wenn die Anzahl von kühlen Tagen, d. h. von Tagen mit einer Mitteltemperatur unter +5 °C, niedriger war als in einem anderen Jahr bzw. auf anderen Flächen (CANNELL & SMITH, 1983). Weitere Unterschiede in den Temperatursummen vor allem zwischen in der Höhenlage vergleichbaren Flächen ergaben sich aus standörtlichen Gegebenheiten wie Freilandbedingungen in Graupa und Überschildung in Laußnitz.

Für eine mögliche Gefährdung der Rotbuche durch Spätfröste in Folge der Klimaerwärmung bedeuten die vorgestellten Ergebnisse, dass

- mildere Witterungsbedingungen im Winter und im Frühjahr nicht notwendigerweise zu einem verfrühten Austriebsbeginn und damit zu einer erhöhten Spätfrostgefährdung führen werden und
- der herkunftsspezifische Austriebszeitpunkt weiterhin beachtet werden sollte.

4.2 Reaktion von Rotbuchen-Herkünften auf Trockenheit

Die vorgestellten Ergebnisse zu den Auswirkungen von Trockenheit auf verschiedene Herkünfte der Rotbuche weisen auf signifikante Unterschiede bei dem Auftreten von Trockenschäden, bei dem Zuwachs im Folgejahr nach einem Trockenereignis sowie bei der physiologischen Reaktion auf Wassermangel hin.

Verschiedene Herkünfte reagieren sehr empfindlich in den beobachteten Merkmalen auf Trockenheit wie beispielsweise die Herkünfte Büdingen (D-HE) und Heinzebank (DE-SN). Andererseits zeigen Herkünfte wie Chorin (DE-BB) und Hermeskeil (DE-RP) bei einer Reihe von Merkmalen ein hohes Ausmaß an Trockentoleranz, was sich allerdings

nicht immer in besseren Wuchsleistungen niederschlägt. Grundsätzlich können bisher bei den beobachteten Herkünften keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Wachstumsmerkmalen und Trockentoleranzmerkmalen festgestellt werden. Dies bestätigt die Ergebnisse von anderen Untersuchungen zum Thema Trockenstress, die ebenfalls keine Zusammenhänge zwischen verschiedenen Parametern der Photosynthese und dem Höhenwachstum oder der Biomasseverteilung in Pflanzen feststellen können (WAGNER, 1990; TOGNETTI et al., 1995). Andererseits konnte weder bei den empfindlichen noch bei den toleranten Herkünften bis zu einem Pflanzenalter von 15 Jahren eine signifikante Erhöhung der Mortalität als Folge der Trockenperioden in den Jahren 2003 und 2006 nachgewiesen werden.

Die vorliegenden Ergebnisse zur Reaktion von Rotbuchen-Herkünften auf Trockenheit weisen möglicherweise auf unterschiedliche Strategien im Umgang mit Trockenheit hin. Inwieweit die vorgestellten Ergebnisse ein Hinweis auf die Gültigkeit der so genannten „Wachstums oder Verteidigungs“-These (HERMS & MATTSON, 1998; KÄTZEL, 2001) sind, bleibt ebenso weiteren Untersuchungen vorbehalten wie die Klärung der Fragen, wodurch die zum Teil sehr deutlichen Unterschiede in der Reaktion auf Trockenheit verursacht werden und ob die genannten Beobachtungen reproduzierbar sind. Einen Hinweis auf mögliche Ursachen für die unterschiedlichen Reaktionen der Herkünfte auf Trockenheit bieten Ergebnisse zu geografischen Variationsmustern von Blattmerkmalen, die bereits an Buche und anderen Arten beschrieben wurden (NI & PALLADRY, 1991; AAS et al., 1994; LARSEN & BUCH, 1995; TOGNETTI et al., 1995).

Einschränkend sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Anbauempfehlungen, die sich ausschließlich auf Eigenschaften des Wasserhaushaltes stützen, nicht sinnvoll sind. Im landwirtschaftlichen Bereich können häufig negative Korrelationen zwischen der Wassernutzungseffizienz und dem Ertrag einer Sorte beobachtet werden (RUST & SOLGER, 2005). Bei Herkünften, die sich hinsichtlich Wachstum, Qualität und allgemeiner Widerstandskraft gleichermaßen für einen Anbau eignen, sollten in Zukunft unter dem Eindruck des Klimawandels vor allem diejenigen Herkünfte verwendet werden,

die eine höhere Toleranz gegenüber Trockenperioden aufweisen. Ein geeigneter Indikator dafür könnte eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Embolien sein, die durch einen geringen Leit-

fähigkeitsverlust einer Herkunft ausgedrückt wird (RUST & SOLGER, 2005).

5 LITERATUR

- AAS, G., KIRCHER, F. & MAIER, J. (1994): Untersuchungen zur geographischen Variation morphologischer Merkmale von *Abies alba* Mill. In: WOLFF, H. (Hrsg.): Weißtannen-Herkünfte – Neue Resultate zur Provenienzforschung bei *Abies alba* Mill.. *Contributions Biologiae Arborum* 5, Ecomed-Verlag, Landsberg am Lech, S.11-31.
- ANONYMUS (1997, 1998, 1999): Waldschadens-/Waldzustandsberichte 1997, 1998, 1999. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden.
- ANONYMUS (2001): Lufttemperaturwerte 01.01.1997 bis 31.12.1999 der Wetterstation 04404, Dippoldiswalde-Reinberg, (365 m ü. NN). Deutscher Wetterdienst, GF Klima- und Umweltberatung, Radebeul.
- ANONYMUS (2003, 2004b): Waldzustandsberichte 2003, 2004. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden.
- ANONYMUS (2004a): Die zweite Bundeswaldinventur – BWI². Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Berlin, 87 Seiten.
- ANONYMUS (2009): Hauptergebnisse der Forsteinrichtung im Landeswald des Freistaates Sachsen (Stand 2008). Staatsbetrieb Sachsenforst Pirna, unveröffentlicht.
- BÖHNISCH, B. (2004): Erfassung der Trockenstressresistenz von Rotbuchen-Herkünften. Bericht, unveröffentlicht, 7 Seiten.
- BRAUN, H. (1995): Strategien des Waldumbaus in Sachsen. *Der Wald*, 45 Jg., S.46-50.
- CANNELL, M.G.R. & SMITH, R.I. (1983): Thermal time, chill days and prediction of budburst in *Picea sitchensis*. *Journal of Applied Ecology*, 20 Jg.: 951-963.
- CHUINE, I. & COUR, P. (1999): Climatic determinants of budburst seasonality in four temperate-zone tree species. *New Phytology*, 143 Jg.: 339-349.
- EISENHAEUER, D.-R., ROCH, T., IRRGANG, S., SONNEMANN, S. & GEMBALLA, R. (2005): Bestandeszieltypen - Richtlinie für den Staatswald des Freistaates Sachsen. Landesforstpräsidium, Pirna, 69 Seiten.
- HÄNNINEN, H. (1991): Does climatic warming increase the risk of frost damage in northern trees? *Plant, Cell and Environment*, 14 Jg.: 449-454.
- HEIDE, O.M. (1993a): Day length and thermal time responses of budburst during dormancy release in some northern deciduous trees. *Physiologia Plantarum* 88 Jg.: 531-540.
- HEIDE, O.M. 1993b: Dormancy release in beech buds (*Fagus sylvatica*) requires both chilling and long days. *Physiologia Plantarum* 89 Jg.: 187-191.
- HERMS, D.A. & MATTSON, W.J. (1992): The dilemma of plants: to grow or defend. *Quarterly Review of Biology* 67 Jg.: 283-335.
- HESSE, M. (2008): Reaktionen von ausgewählten Rotbuchen- (*Fagus sylvatica* L.) Herkünften auf Trockenheit. Diplomarbeit Fachrichtung Forstwissenschaften, TU Dresden, unveröffentlicht, 95 Seiten.
- KÄTZEL, R. (2001): Physiologische Reaktionen von Waldbäumen auf sich ändernde Umweltbedingungen. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie* 35 Jg.: 218-222.
- LARSEN, J.B. & BUCH, T. (1995): The Influence of Light, Lime, and NPK-Fertilizer on Leaf Morphology and Early Growth of Different Beech Provenances (*Fagus sylvatica* L.). *Forest and Landscape Research* 1 Jg.: 227-240.
- MATYAS, C. (1996): Climatic adaptation of trees: rediscovering provenance tests. *Euphytica* 92 Jg.: 45-54.
- MENZEL, A. (1997): Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen – Auswertung der Beobachtungen in den Internationalen Phänologischen Gärten und Möglichkeiten von Phänodaten. Forstliche Forschungsberichte. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 164 Seiten.
- MURRAY, M.B., CANNELL, M.G.R. & SMITH, R.I. (1989): Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climatic warming. *Journal of Applied Ecology* 26 Jg.: 693-700.
- NI, B.-R. & PALLARDY, S. G. (1991): Response of gas exchange to water stress in seedlings of woody angiosperms. *Tree Physiology* 8 Jg.: 1-9.
- RUST, ST. & SOLGER, A. (2005): Reihenuntersuchungen zur Trockenstresstoleranz von Rotbuchen-Herkünften. Forschungsbericht, Dendro-Institut Tharandt, unveröffentlicht, 28 Seiten.
- SCHLUTOW, A. & GEMBALLA, R. (2008): Sachsens Leitwaldgesellschaften – Anpassung in Bezug auf den prognostizierten Klimawechsel. *Allgemeine Forst Zeitschrift - Der Wald* 60 Jg.: 28-31.
- SOLGER, A. (2006): Freilandmessung des Dämmungswasserpotentials an 20 Buchen-Herkünften auf der Versuchsfläche Malter. Ergebnisbericht, unveröffentlicht, 12 Seiten.

SPEKAT, A., ENKE, W. & KREIENKAMP, F. (2007): Neuentwicklung von regional hoch auflösenden Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Publikationen des Bundesumweltamtes.

TOGNETTI, R., JOHNSON, D. & BORGHETTI, M. (1995): The response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) seedlings from two Italian populations to drought and recovery. *Trees* 9 Jg.: 348-354.

VON WÜHLISCH, G., KRUSCHE, D. & MUHS, H.J. (1995): Variation in Temperature Sum Requirement for Flushing of Beech Provenances. *Silvae Genetica* 44 Jg.: 343-346.

WAGNER, I. (1990): Ökologische Untersuchungen an verschiedenen Klonen der Baumart Fichte (*Picea abies* L. Karst.) mit dem Schwerpunkt Trockenresistenz unter Prüfung von Jugend-Alters-Korrelationen. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A*, Bd. 68, 259 Seiten.

Danksagung

Die vorgestellten Untersuchungen wurden dankenswerter durch die Europäischen Union im Projekt „Common Beech for Forestation and Diversification (FAIR3-CT96-1464)“ sowie durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft und den Staatsbetrieb Sachsenforst gefördert. Für die gute und unkomplizierte Zusammenarbeit sei stellvertretend Frau Dipl. Forstwirtin Hesse, Herrn Dipl. Forstwirt Solger und Herrn Prof. Dr. Rust gedankt.

KLIMA-WACHSTUMS- BEZIEHUNGEN VON ROTBUCHEN-HERKÜNFTE (*FAGUS SYLVATICA* L.) IM VERGLEICH

COMPARISON OF CLIMATE-GROWTH RELATIONS IN BEECH (*FAGUS SYLVATICA* L.) PROVENANCES

M. Liesebach¹, S. Schüler² & H. Wolf³

¹ Johann Heinrich von Thünen-Institut vTI-Institut für Forstgenetik, D-22927 Großhansdorf

² Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Genetik, A-1131 Wien

³ Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft, Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS), Referat Forstgenetik / Forstpflanzenzüchtung, D-01796 Pirna

ABSTRACT

European beech (*Fagus sylvatica* L.) covers a large geographical area of Europe and is a strong competitor with other tree species in Central Europe. Seed lots were sown for the establishment of an International Beech Provenance Experiment at the Institute of Forest Genetics in Grosshansdorf (Germany, DE) in 1993, and subsequently 23 field trials were established in spring 1995.

This presentation will concentrate on three sites with 47 to 49 common provenances, where survival and height growth were monitored: plot Schaedtbek (DE, Schleswig-Holstein), plot Malter (DE, Saxony) and plot Gablitz (AT, Lower Austria). Climate data are available for these trial sites and the sites of provenance origin. Many of the tested provenances originate from western or south-

western parts of the natural distribution range of beech in a cooler, damper habitat than the trials. Hence, this translocation of provenances in an eastern/north-eastern direction can be considered as anticipation of the predicted climate change for this region.

In addition to climate, growth rate could be influenced by the previous use of the sites. Beech is growing much better on the two sites established on agricultural soils than on forest land. Overall survival is similar among the sites or likewise affected by management.

Height growth of the provenances from the centre of the distribution area was rather insensitive to climate, but provenances from the eastern part exhibited a climate response. On the three trial sites, some provenances from the eastern

distribution area show a constant growth pattern on all three sites, irrespective of the different climate conditions. Some provenances were sensitive to transfer to different sites, *i.e.* they show the tendency of growing better on some sites than on others.

Keywords: European beech, *Fagus sylvatica* L., provenance experiment, height growth, survival, analysis-of-variance, multiple regression, climate change

ZUSAMMENFASSUNG

Die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) ist von Natur aus die in Mitteleuropa am weitesten verbreitete und konkurrenzstärkste Laubbaumart. 1993 wurde am Institut für Forstgenetik in Großhansdorf (Deutschland, DE) Saatgut für die Anlage eines Internationalen Buchen-Herkunftsversuchs ausgesät und im Frühjahr 1995 ein Feldversuch an 23 Standorten angelegt.

In der vorliegenden Arbeit werden drei Flächen, Schädtkbek (DE, Schleswig-Holstein), Malter (DE, Sachsen) und Gablitz (AT, Niederösterreich) mit 47 bzw. 49 gemeinsamen Herkünften behandelt, für die Überlebensraten und Höhenwachstum aufgenommen wurden. Sowohl für die Versuchsorte als auch für die Herkunftsorte liegen außerdem Klimaangaben vor. Von vielen der im Versuch

angebauten Herkünften liegen deren Einsammlungsorte westlich bzw. südwestlich der Versuchsorte, so dass der Transfer nach Osten bzw. Nordosten den prognostizierten Klimaänderungen entspricht.

Zusätzlich zu den Klimaparametern beeinflusst die vorherige Flächennutzung das Wachstum. Die Rotbuche wächst auf den beiden zuvor landwirtschaftlich genutzten Standorten besser als auf dem Waldstandort. Die Überlebensraten auf den Flächen sind vergleichbar und werden bestenfalls durch unterschiedliche Pflegemaßnahmen beeinflusst.

Das Höhenwachstum der Herkünften aus dem Kern des Buchen-Verbreitungsgebiets ist klimastabil, während insbesondere Herkünften aus dem östlichen Teil des Verbreitungsgebiets auf das Klima an den Versuchsorten unterschiedlich reagieren. Bei einigen Herkünften aus dem östlichen Verbreitungsgebiet deutet sich ein konstantes Höhenwachstum an den drei Versuchsorten an, während andere sensitiv auf die Verfrachtung reagieren.

Schlagwörter: Rotbuche, *Fagus sylvatica* L., Herkunftsversuch, Höhenwachstum, Überlebensrate, Varianzanalyse, multiple Regression, Klimawandel

1 EINLEITUNG

Für das Wachstum der Wälder ist von ausschlagender Bedeutung, inwieweit die derzeit vorherrschenden Populationen auch an die künftigen Klimabedingungen angepasst sind bzw. diese in der Lage sind, sich anzupassen. Die klimatischen Bedingungen in den Verbreitungsgebieten der meisten Baumarten sind sehr unterschiedlich, so dass sich in der Vergangenheit regional und lokal angepasste Populationen entwickeln konnten. Aus der lokalen Angepasstheit von Populationen kann jedoch nicht auf Anpassungsfähigkeit geschlossen werden.

Herkunftsversuche, bei denen Saatgut an verschiedenen Orten des Verbreitungsgebiets gesammelt und unter unterschiedlichen Klimabedingungen in Feldversuchen angepflanzt wird, können hierzu wertvolle Hinweise geben.

In den 1990er Jahren wurden zwei umfangreiche Versuchsserien mit Rotbuche angelegt. Die Versuchsfelder sind über nahezu ganz Europa verteilt.

Für die vorliegende Untersuchung wurden drei Versuchsfelder aus dem Internationalen Buchenherkunftsversuch 1993/95 (VON WÜHLISCH et al., 1998) ausgewählt, die auf einem Nord-Süd-Gradienten liegen und eine hohe Anzahl gemeinsamer Herkünften aufweisen.

2 MATERIAL UND METHODEN

Die drei Flächen Schädtkbek, Malter und Gablitz des Internationalen Buchen-Herkunftsversuchs von 1993/95 unterscheiden sich hinsichtlich ihrer klimatischen Parameter (Tabelle 1) und haben 47 gemeinsame Herkünfte auf alle drei Flächen. Alle 49 Herkünfte (Tabelle 2), die in Gablitz getestet werden, sind auch im Versuch in Schädtkbek enthalten.

Bei den Klimaparametern der Versuchsflächen zeigt sich eine Zunahme der Temperaturspanne zwischen kältestem und wärmstem Monat von Nord nach Süd (vgl. Tabelle 1). Hinsichtlich der mittleren Niederschlagsmenge im Jahr und in der Vegetationsperiode unterscheiden sich die drei Flächen nur geringfügig. Aus den vorliegenden Klimawerten wurden folgende Indizes abgeleitet:

- Ariditätsindex = $\frac{\text{Niederschlag}_{\text{Jahr}}}{(\text{Temperatur}_{\text{Jahr}} + 10)}$;
- Kontinentalitätsindex = $\frac{\text{Höhe ü.NN}}{\text{Niederschlag}_{\text{Jahr}}}$;
- Klimafaktor nach AMANN = $\frac{\text{Niederschlag}_{\text{Jahr}} * \text{Temperatur}_{\text{Jahr}}}{\text{Temp.-Spanne}}$
und
- ELLENBERG-Quotient = $\frac{\text{Temperatur}_{\text{Juli}} * 1.000}{\text{Niederschlag}_{\text{Jahr}}}$.

Der Kontinentalitäts-Index für Schädtkbek ist nahe Null, der Klimaindex nimmt von Schädtkbek nach Süden zu.

Die 49 bzw. 47 mit der Fläche Gablitz gemeinsamen Herkünfte stammen überwiegend aus Erntebeständen, die westlich der Versuchsflächen liegen. Die Herkünfte wurden in Spanien (2 Einsammlungen), Frankreich (2 bzw. 1), Dänemark (3), Deutschland [33, davon in Niedersachsen (6), Brandenburg (2), Nordrhein-Westfalen (1), Hessen (6), Thüringen (2), Sachsen (2), Rheinland-Pfalz (6), Baden-Württemberg (3) und Bayern (5)], Österreich (1 bzw. keine), Tschechien (2), der Slowakei (5) und Rumänien (1) eingesammelt (Tabelle 2). Für die meisten Herkunftsorte der Provenienzen liegen ebenfalls die zuvor genannten Klimaparameter vor.

Für die Herkünfte wurden die 2 Merkmale „Höhen- und Durchmesserwachstum“ aufgenommen. Dabei wird auch erfasst, welche Bäume seit der letzten Messung abgestorben sind. Auf der Fläche

Schädtkbek sind Messungen im Alter von 3, 6, 10, 11, 12, 13 und 15 Jahren erfolgt, in Malter im Alter von 6, 10 und 15 Jahren sowie in Gablitz im Alter von 3, 7 und 10 Jahren. Im Alter von 10 Jahren liegen Höhenmessungen von den drei Flächen vor, die im Vordergrund der folgenden Analyse stehen.

Der Versuch ist für eine Beobachtungszeit von 60 Jahren angelegt. Im Alter 60 stehen noch etwa 360 Bäume/ha (I. Ekl., mäßige Durchforstung, SCHÖBER, 1971) bis 2.000 Bäume/ha (III. Ekl., mäßige Durchforstung, SCHÖBER, 1971), das entspricht 10 bzw. 20 Bäumen / Parzelle.

In der vorliegenden Untersuchung werden die mittleren Höhen

- aller noch lebenden Bäume,
- die der 20 höchsten Bäume je Parzelle und
- die der 5 höchsten Bäume je Parzelle

berechnet.

Mit der Varianzanalyse wird getestet, ob die Faktoren Herkunft und Versuchsort einen Einfluss auf die Ausprägung des Merkmals „Höhe“ haben.

Mittels Korrelationsanalyse wird der Einfluss von Klimaparametern auf das Wachstum quantifiziert.

Tabelle 1 / Table 1

Charakteristik der Versuchsflächen und der Anzahl der getesteten Herkünfte

Characteristics of the test sites and number of the studied provenances

Versuchsfläche	Schädtbek	Malter	Gablitz
Flächennummer	Bu19-01	Bu19-03	Bu19-07
Land	DE, Schleswig-Holstein	DE, Sachsen	AT, Niederösterreich
Geografische Breite	54° 18'N	50° 56'N	48° 15'N
Geografische Länge	10° 18'O	13° 40'O	16° 07'O
Höhe ü.NN	40 m	360 m	350 m
Vornutzung	Acker	Acker	Fichtenwald
Anzahl Herkünfte (gemeinsam)	100 (49)	100 (47)	49
durchschnittliche Jahresmitteltemperatur	8,3 °C	7,8 °C	8,9 °C
durchschnittliche Temperatur in der Vegetationszeit (V-IX)	14,6 °C	14,7 °C	16,6 °C
Mittlere Temperatur Januar (I)	0,1 °C	-1,4 °C	-2,2 °C
Mittlere Temperatur Juli (VII)	16,8 °C	16,8 °C	19,0 °C
Temperaturspanne	16,7 °C	18,2 °C	21,2 °C
Mittlerer Jahresniederschlag	729 mm	787 mm	729 mm
Niederschlag in der Vegetationszeit	354 mm	397 mm	395 mm

Tabelle 2 / Table 2

Liste der 49 getesteten Herkünfte (* Herkunft ist nicht auf der Fläche Malter angepflanzt)

List of the 49 tested provenances (* Provenance is not planted on site Malter)

Nr.	Herkunft	Abk. (Land)	geogr. Breite	geogr. Länge	Höhe ü.NN
2	Limitaciones	ES (Spanien)	42° 49'N	02° 15'W	950 m
5	Anguiano	ES (Spanien)	42° 15'N	02° 45'W	950 m
9	F.D. de Fougères	FR (Frankreich)	48° 23'N	01° 10'W	180 m
12*	F.D. des Coettes	FR (Frankreich)	46° 11'N	02° 57'O	575 m
24	Fyn	DK (Dänemark)	55° 08'N	10° 53'O	20 m
25	Grasten	DK (Dänemark)	54° 55'N	09° 35'O	50 m
26	Glorup	DK (Dänemark)	55° 11'N	10° 41'O	70 m
36	Osterholz-Scharmbeck	DEni (Niedersachsen)	53° 14'N	08° 48'O	25 m
37	Deister	DEni (Niedersachsen)	52° 15'N	09° 30'O	275 m
38	Harsefeld	DEni (Niedersachsen)	53° 18'N	09° 32'O	43 m
40	Bovenden	DEni (Niedersachsen)	51° 30'N	09° 50'O	375 m
43	Busschewald	DEni (Niedersachsen)	53° 17'N	10° 28'O	28 m
44	Oderhaus	DEni (Niedersachsen)	51° 40'N	10° 50'O	710 m
46	Gransee, Abt. 3082a1	DEbb (Brandenburg)	53° 00'N	13° 10'O	70 m
161	Chorin	DEbb (Brandenburg)	52° 08'N	12° 35'O	135 m
58	Wünnenberg	DEnw (Nordrhein-Westfalen)	51° 32'N	08° 42'O	440 m
66	Dillenburg	DEhe (Hessen)	50° 44'N	08° 16'O	500 m
67	Hadamar	DEhe (Hessen)	50° 27'N	08° 04'O	218 m
69	Büdingen, Abt. 762	DEhe (Hessen)	50° 17'N	09° 07'O	198 m
70	Büdingen, Abt. 763	DEhe (Hessen)	50° 17'N	09° 07'O	225 m
72	Sinntal, Abt. 411	DEhe (Hessen)	50° 19'N	09° 38'O	430 m
76	Bad Salzungen	DEhe (Hessen)	50° 44'N	10° 05'O	555 m
77	Eisenach	DEth (Thüringen)	50° 05'N	10° 05'O	615 m
80	Ebeleben	DEth (Thüringen)	51° 20'N	10° 30'O	315 m
83	Heinzebank	DEsn (Sachsen)	50° 40'N	13° 12'O	540 m
84	Tharandt	DEsn Sachsen)	50° 57'N	13° 34'O	365 m
87	Osburg, Abt. 54a	DErp (Rheinland-Pfalz)	49° 41'N	06° 49'O	540 m
88	Morbach	DErp (Rheinland-Pfalz)	50° 45'N	07° 00'O	660 m
89	Hermeskeil	DErp (Rheinland-Pfalz)	50° 00'N	07° 00'O	650 m
90	Kirchheimbolanden	DErp (Rheinland-Pfalz)	48° 38'N	07° 14'O	400 m
92	Elmstein-Süd XIV 1a	DErp (Rheinland-Pfalz)	49° 50'N	08° 00'O	405 m
93	Elmstein-Süd XIV 5b,c	DErp (Rheinland-Pfalz)	49° 50'N	08° 00'O	313 m
94	Ettenheim	DEbw (Baden-Württemberg)	48° 12'N	07° 55'O	445 m
97	Herrenberg	DEbw (Baden-Württemberg)	48° 40'N	09° 00'O	500 m
99	Ehingen	DEbw (Baden-Württemberg)	48° 24'N	09° 30'O	620 m

Nr.	Herkunft	Abk. (Land)	geogr. Breite	geogr. Länge	Höhe ü.NN
100	Ebrach	DEby (Bayern)	49° 52'N	10° 33'O	390 m
101	Kaufbeuren	DEby (Bayern)	47°55 'N	10° 35'O	700 m
102	Vohenstrauß I 2b0	DEby (Bayern)	49° 37'N	12° 21'O	680 m
103	Vohenstrauß I 1a0	DEby (Bayern)	49° 40'N	12° 30'O	638 m
104	Zwiesel	DEby (Bayern)	49° 01'N	13° 14'O	755 m
109*	Neuberg-Mürzsteg	AT (Österreich)	47° 45'N	15° 28'O	1050 m
110	Kladzka	CZ (Tschechien)	50° 02'N	12° 37'O	690 m
111	Cesky Krumlov	CZ (Tschechien)	48° 51'N	14° 15'O	750 m
124	Zamutov	SK (Slowakei)	-	-	-
129	Smolenice	SK (Slowakei)	48° 28'N	17° 22'O	420 m
130	Trec In	SK (Slowakei)	48° 58'N	18° 01'O	510 m
132	Muran	SK (Slowakei)	48° 45'N	20°04 'O	600 m
135	Medzilanborce-Koš Kovce	SK (Slowakei)	49° 17'N	21° 50'O	-
146	Beius-Bihor	RO (Rumänien)	46° 41'N	22° 16'O	265 m

3 ERGEBNISSE

3.1 Entwicklung der Pflanzenanzahlen

Auf den drei Versuchsflächen tritt nach der Pflanzung im Frühjahr 1995 eine außergewöhnlich lange Trockenperiode auf, die aber nur geringe Ausfälle bis zum folgenden Herbst verursacht hat (Abbildung 1).

In Schädtkbek/Schleswig-Holstein liegt nach einem Jahr im Feld die Überlebensrate über alle Herkünfte bei 99 %. Bei den folgenden Erhebungen sinkt die Rate kontinuierlich bis auf etwa 70 % im Alter von 15 Jahren.

Von der Fläche Gablitz (AT) liegen Angaben zu den Pflanzenzahlen bis zum Alter von 10 Jahren vor. Nach einer Vegetationsperiode ist die mittlere Überlebensrate um 16 Prozentpunkte geringer als

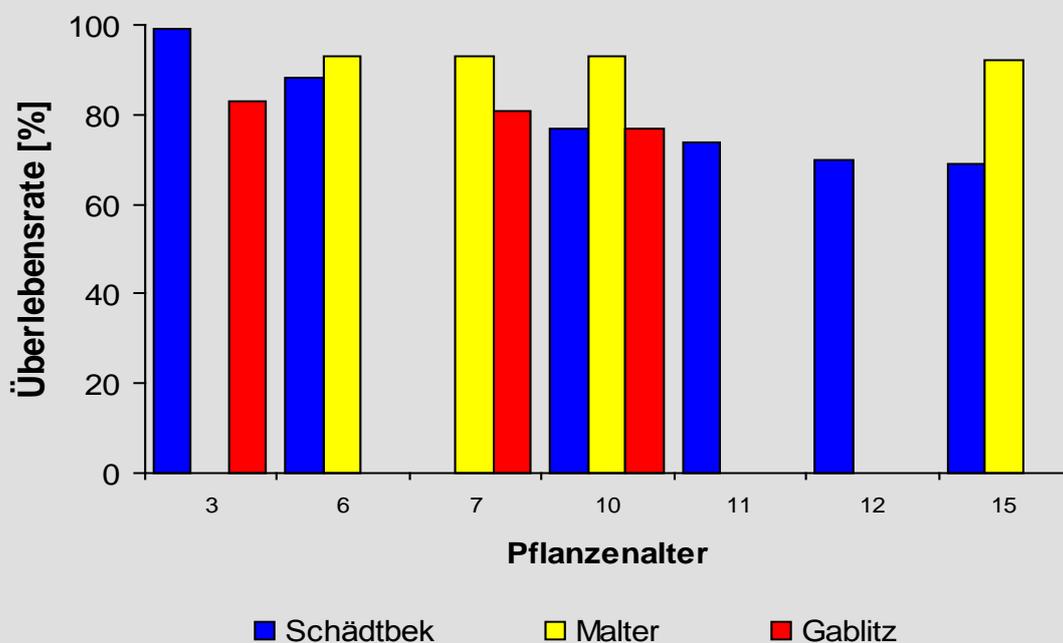
auf der Fläche Schädtkbek. Im Alter von 10 Jahren ist die Überlebensrate auf gleichem Niveau wie auf der Fläche in Schleswig-Holstein.

Anders sieht die Entwicklung auf der Fläche Malter in Sachsen aus. Zwischen den Erhebungen im Alter von 6, 7, 10 und 15 Jahren gibt es keine Unterschiede, die Überlebensrate liegt über der der beiden anderen Flächen. Dieses wird auf Pflegemaßnahmen zurückgeführt, die zu einem für die jungen Buchen günstigen Zeitpunkt erfolgt sind.

Zwischen den Herkünften auf den drei Versuchsflächen gibt es im Alter von 10 Jahren Unterschiede in der Anzahl der lebenden Pflanzen (Abbildung 2). Die geringsten Unterschiede (22 Prozentpunkte) zwischen den gemeinsamen Herkünften treten auf der Fläche Malter auf und die höchsten (40 Prozentpunkte) auf der Fläche Gablitz. In Schädtkbek

Entwicklung der Pflanzenanzahlen auf den drei Flächen in den Jahren der Messungen

Development of the plant numbers present on the three test sites in the years of carrying out measurements



beträgt der Unterschied 28 Prozentpunkte.

Auf der Fläche in Schädtebek haben die Herkünfte Eisenach/Thüringen (Nr. 77) und Beius-Bihor/Rumänien (Nr. 146) die geringsten Ausfälle (11 %); die höchsten Ausfälle (39 %) werden für die Herkunft Cesky Krumlov/Tschechien (Nr. 111) beobachtet. In Malter sind ebenfalls in der Herkunft Eisenach/Thüringen (Nr. 77) die wenigsten Bäume (1 %) abgestorben; dieses gilt auch für die Herkunft Kaufbeuren/Bayern (Nr. 101). Mit 23 % sind die meisten Bäume in der Herkunft Osterholz-Scharmbeck/Niedersachsen (Nr. 36) ausgefallen. Auf der Fläche in Gablitz/Österreich hat die Herkunft Wünnenberg/Nordrhein-Westfalen (Nr. 58) die geringsten Ausfällen (5 %) und die Herkunft Grasten/Dänemark (Nr. 25) die höchsten mit 45 %.

Der Versuchsfläche Schädtebek am nächsten gelegen ist der Einsammlungsort der Herkunft Farchau, die nicht in den gemeinsamen Herkünften vertreten ist. Sie hat geringere Ausfälle (9 %) als die beste der 49

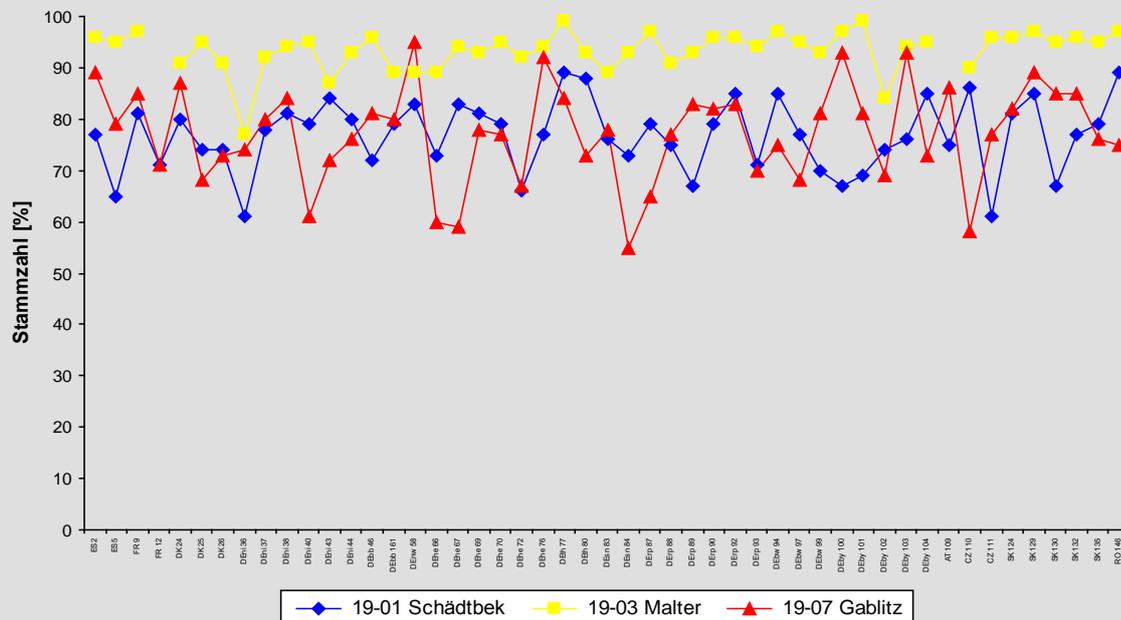
gemeinsamen Herkünfte und ist als „lokale“ Herkunft gut angepasst.

Zwei der Fläche Malter nahe gelegenen Herkünfte, Heinzebank / Sachsen (Nr. 83) und Tharandt / Sachsen (Nr. 84), haben 11 % bzw. 7 % Ausfall und nehmen Rang 42 bzw. 31 der gemeinsamen Herkünfte ein. Dieses schlecht anmutende Ergebnis darf nicht überbewertet werden, da die absoluten Unterschiede zwischen den einzelnen Herkünften auf der Fläche Malter sehr gering sind.

Die österreichische Herkunft Neuberg-Mürztieg liegt am dichtesten an der Versuchsfläche Gablitz. Sie nimmt unter den gemeinsamen Herkünften den 8. Rang ein und hat 14 % Ausfall. Obwohl sie aus einer deutlich höheren Lage (1.050 m ü.NN) stammt, ist sie an die Verhältnisse am Versuchsort bezüglich des Merkmals Überlebensrate gut angepasst.

Überlebensraten im Alter 10 der gemeinsamen Herkünfte auf den 3 Flächen (Abk. siehe Tabelle 2)

Survival rates of the provenances together on the three test sites at age 10 (for abbrev. cf. Table 2)



3.2 Höhenwachstum

3.2.1 Höhenwachstum auf den einzelnen Versuchsflächen

Im Alter von 10 Jahren haben die gemeinsamen Herkünfte auf der Fläche Schädtbek eine mittlere Höhe von 2,86 m. Einen etwas besseren Wuchs (2,97 m) weisen die Buchen auf der Fläche in Malter auf. Signifikant geringer fällt die mittlere Baumhöhe aller lebenden Buchen (1,97 m) auf der Fläche Gablitz aus.

Auf der Fläche Schädtbek zeichnen sich die west- und südwestlichen Herkünfte durch einen geringeren Höhenwuchs aus (Abbildung 3 a). Auffallend ist das gute Höhenwachstum der Herkunft Eisenach/Thüringen (Nr. 77). Diese Herkunft hatte auch die geringsten Ausfälle auf dieser Versuchsfläche. An zweiter Stelle folgt die Herkunft Neuberg/Österreich (Nr. 109) aus einer Höhenlage von 1.050 m ü. NN. Auf der Fläche in Malter (Abbildung 3 b) finden

sich keine derart ausgeprägten Unterschiede zwischen den Herkünften. Den besten Höhenwuchs zeigt die Herkunft Vohenstrauß/Bayern (Nr. 103), gefolgt von Wünnenberg/Nordrhein-Westfalen (Nr. 58). Auffallend ist auf der Fläche Malter die große Variation von matt- und gutwüchsigen Herkünften aus Bayern. Die große Variation der bayerischen Herkünfte ist auf der Fläche Gablitz (Abbildung 3 c) noch stärker ausgeprägt. Hier stammen sowohl die Herkunft mit der größten mittleren Höhe (Vohenstrauß / Bayern; Nr. 103) als auch die mit der geringsten (Kaufbeuren / Bayern; Nr. 101) aus Bayern. Anders als auf der Fläche Schädtbek lässt sich auf den anderen beiden Versuchsfläche keine geographische Region erkennen, die durch geringeren Höhenwuchs charakterisiert wird. Werden nur die 20 bzw. 5 höchsten Bäume einer Parzelle berücksichtigt, ändert sich das Ergebnis nicht.

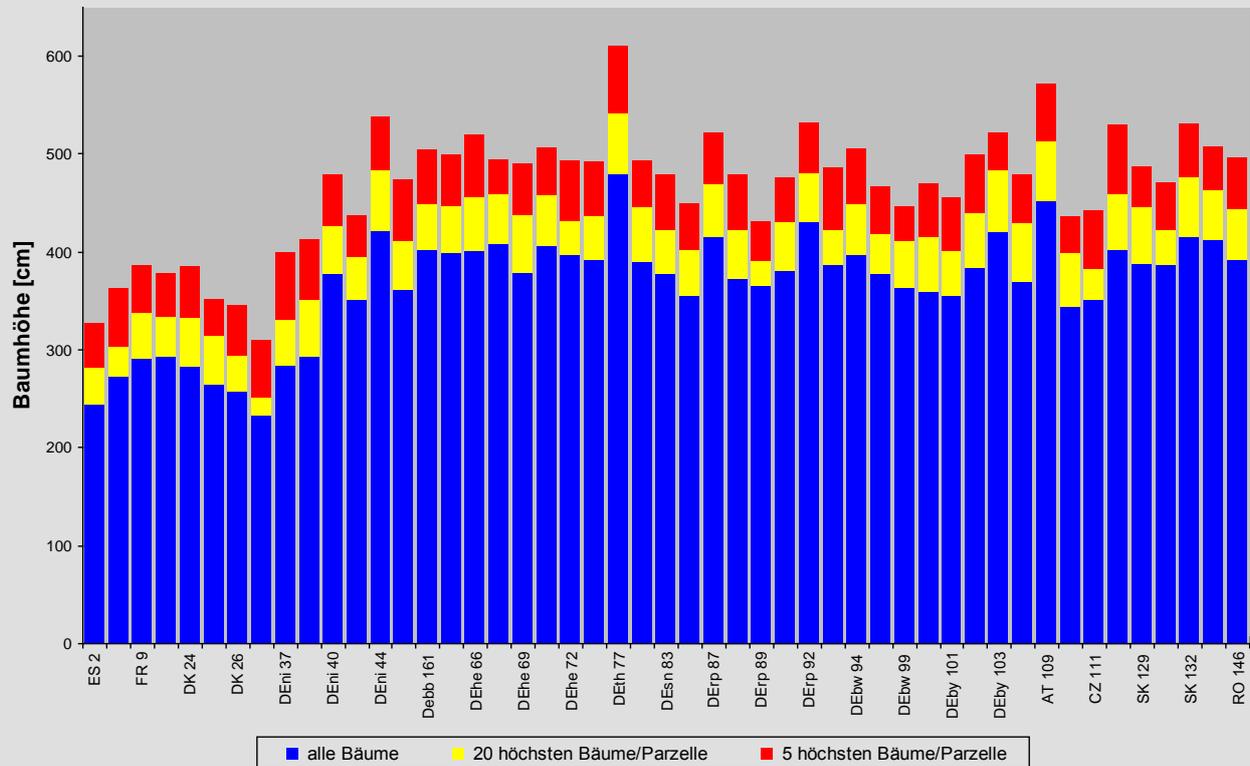
Abbildung 3 / Figure 3

Mittlere Baumhöhen aller lebenden Bäume, der 20 höchsten Bäume/Parzelle und der 5 höchsten Bäume/Parzelle auf der Fläche Schädtkbek (a), Malter (b) und Gablitz (c) im Alter von 10 Jahren (Abk. siehe Tabelle 2)

Mean height of all living trees, of the 20 highest trees/plot and of the 5 highest trees/plot at Schädtkbek (a), Malter (b) and Gablitz (c) at the age of 10 years (for abbrev. cf. Table 2)

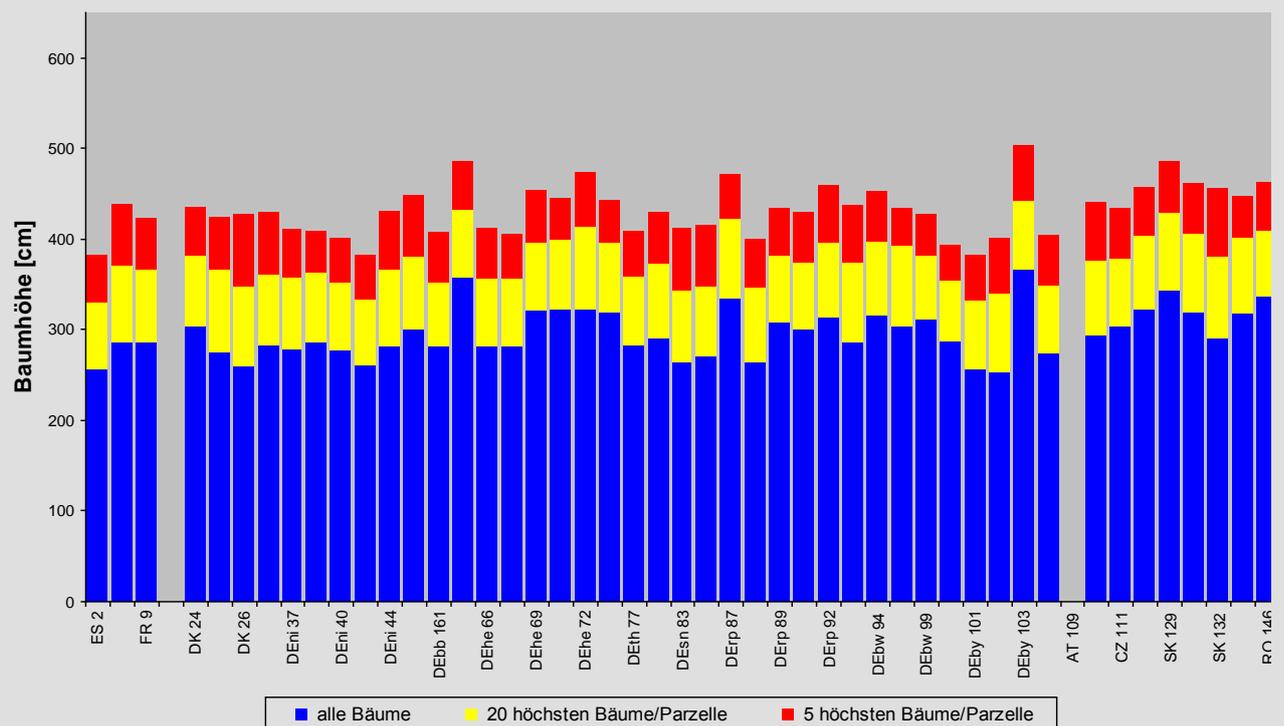
(a)

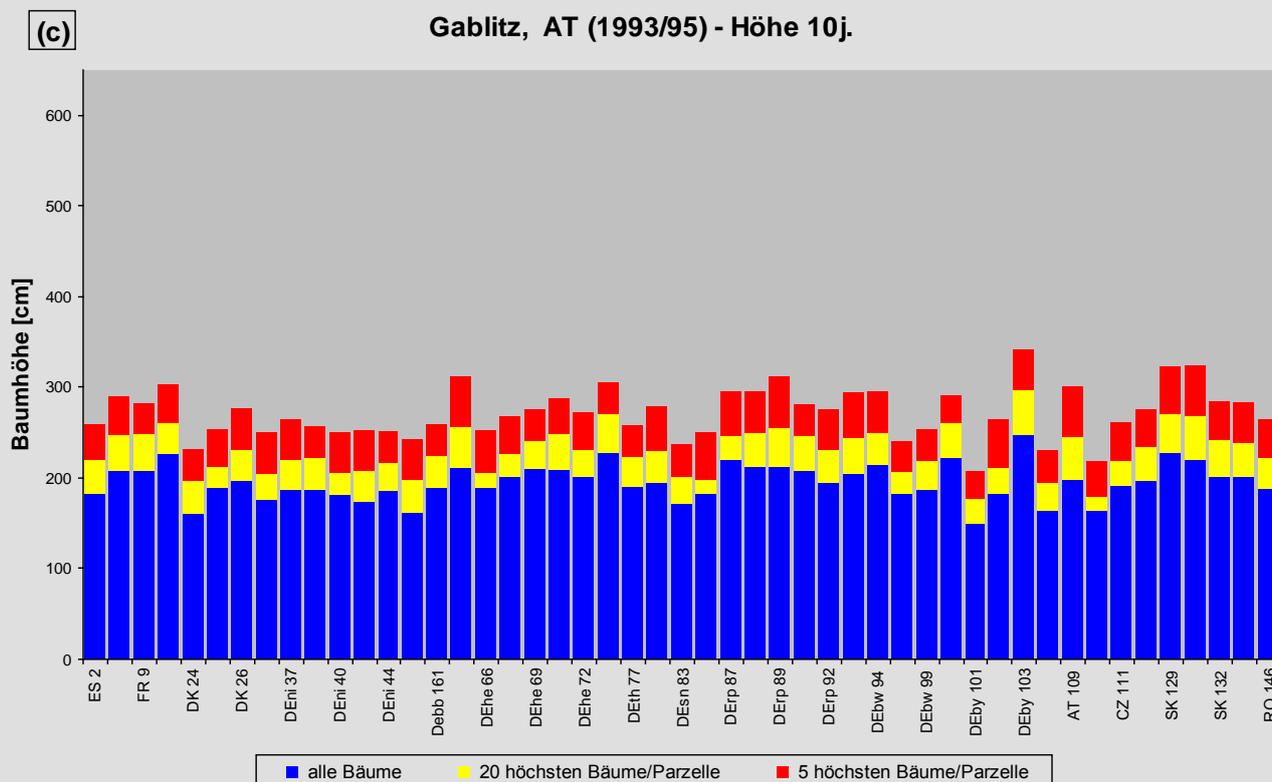
Schädtkbek (1993/95) - Höhe 10j.



(b)

Malter (1993/95) - Höhe 10j.





3.2.2 Vergleich des Höhenwachstums der drei Versuchsorte

Die varianzanalytische Auswertung (Tabelle 3) zeigt, dass sowohl die Herkünfte als auch die Versuchsorte eine statistisch signifikante Wirkung ($\alpha = 0,05$) auf die Ausprägung des Merkmals Höhenwachstum im Alter 10 haben. Eine Wechselwirkung zwischen den Herkünften und den Versuchsorten liegt nicht vor.

Der Tukey-Test weist statistisch signifikante Unterschiede ($\alpha = 0,05$) im Höhenwachstum im Alter 10 zwischen der mattwüchsigsten Herkunft Kaufbeuren / Bayern (Nr. 101) und den vier wüchsigsten Herkünften Wünnenberg / Nordrhein-Westfalen (Nr. 58); Herrenberg/Baden-Württemberg (Nr. 97); Vohenstrauß / Bayern (Nr. 103) und Zamutov / Slowakei (Nr. 124) aus. Statistisch sichern lässt sich auch der Unterschied zwischen der wüchsigsten Herkunft Vohenstrauß / Bayern (Nr. 103) und zehn gering wüchsigen Herkünften Limitaciones / Spanien (Nr. 2); Grasten / Dänemark (Nr. 25); Osterholz-Scharmbeck / Niedersachsen (Nr. 36); Bovenden / Niedersachsen (Nr. 40); Busschewald /

Niedersachsen (Nr. 43); Heinzebank / Sachsen (Nr. 83); Tharandt / Sachsen (Nr. 84); Kaufbeuren / Bayern (Nr. 101); Zwiesel / Bayern (Nr. 104) und Kladska / Tschechien (Nr. 110).

Die Verwendung relativer Höhen (d.h. die Höhenwerte einer Versuchsfläche sind jeweils ins Verhältnis zum jeweiligen Versuchsflächenmittel gesetzt und so standardisiert) verdeutlicht unterschiedliche Streuung im Wachstum zwischen den Flächen.

In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass es Bereiche gibt, in denen die relativen Höhen stärker streuen als in anderen. Die Streuung ist in der Abbildung 4 als Spanne zwischen höchstem und geringstem relativen Höhenwert einer Herkunft auf den Versuchsflächen im unteren Bereich der Abbildung abgetragen. In dieser Abbildung ist eine Region blau hervorgehoben, in der die Herkünfte einen ähnlichen Höhenwuchs auf den drei Versuchsflächen zeigen. Es handelt sich um die Herkünfte aus Hessen und um eine Herkunft aus Nordrhein-Westfalen. Außerdem sind vier Regionen rot hervorgehoben.

Tabelle 3 / Table 3

Varianztabelle für das Merkmal „Höhenwachstum“ im Alter 10

Analysis-of-variance table for the dependent variable height growth at age 10

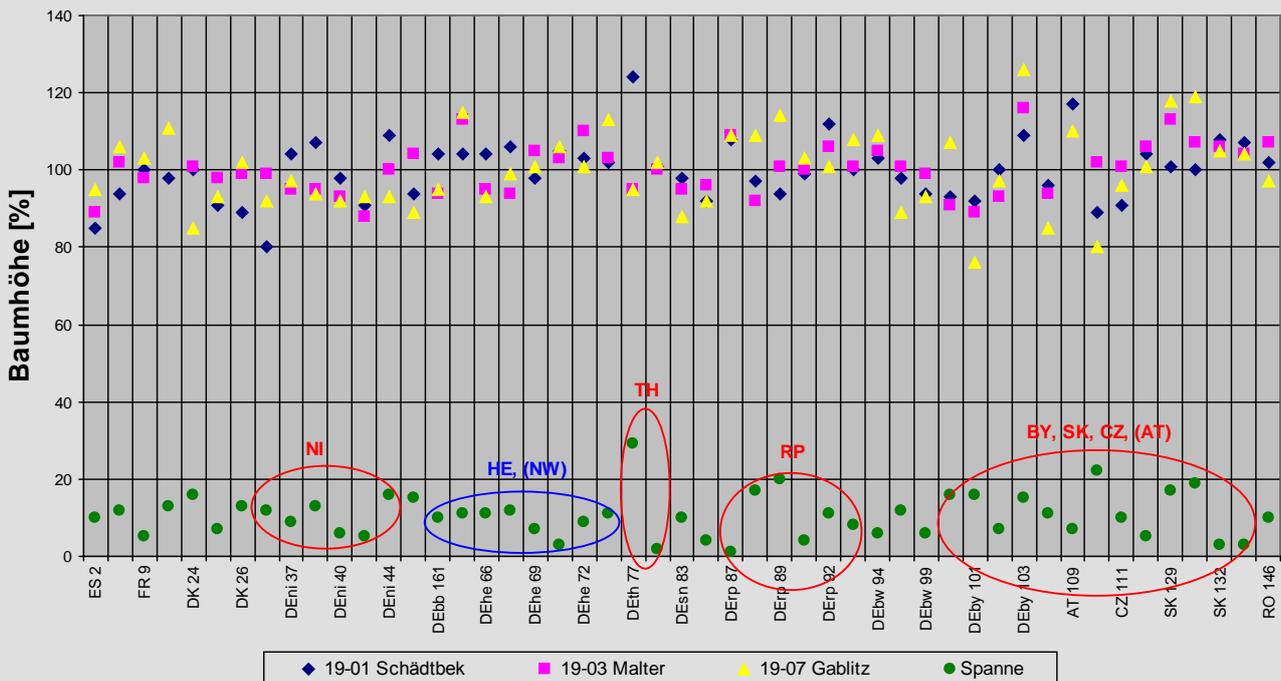
Quelle	Freiheitsgrade	Quadratsumme	mittlere quadratische Abweichung	F-Wert	Pr>F
Herkunft	46	202.680,793	4.406,104	2,59	<0,0001
Ort	2	1.932.502,765	966.251,383	568,83	<0,0001
Herkunft * Ort	92	130.992,786	1.423,835	0,84	0,8397
Fehler	282	479.025,517	1.698,672		
Total	422	2.745.201,861			

Abbildung 4 / Figure 4

Relativer Höhenwuchs der gemeinsamen Herkünfte und Spannweite auf den drei Versuchsflächen im Alter 10 (Abk. siehe Tabelle 2)

Relative height growth of the provenances together on the three test sites and range at age 10 (for abbrev. cf. Tab. 2)

Relativer Höhenwuchs - Alter 10



Dies sind Gebiete, in denen zwischen benachbarten Herkünften ein unterschiedliches Höhenwuchsverhalten beobachtet wird. So treten neben Herkünften, die ein ähnliches Wuchsverhalten zeigen, solche mit sehr standortabhängigem Verhalten auf. Bei den geografischen Regionen handelt es sich um Niedersachsen, Thüringen, Rheinland-Pfalz sowie Bayern, die Slowakei und Tschechien mit Österreich, wobei letzteres nur durch eine Herkunft im Versuch repräsentiert ist.

3.2.3 Höhenwachstum und Klima

Für die Variablen Überlebensrate, Baumhöhe (Alter 10), Durchmesser (BHD im Alter 15) sowie einem Index aus Überlebensrate und Baumhöhe wird mit Hilfe der Regressionsanalyse geprüft, ob sich ein Einfluss der einzelnen Umweltparameter, überwiegend Klimaparameter, beschreiben lässt.

14 Umweltvariablen wurden hierbei berücksichtigt:

- geografische Länge und Breite
- Höhe ü.NN
- mittlere Jahresdurchschnittstemperatur
- mittlere Durchschnittstemperatur in der Vegetationsperiode
- mittlere Januar-Temperatur
- mittlere Juli-Temperatur
- Temperaturspanne
- mittlerer Jahresniederschlag
- mittlerer Niederschlag in der Vegetationsperiode
- der Ariditäts-Index
- der Kontinentalitäts-Index
- der Klima-Faktor nach AMANN und
- der ELLENBERG-Quotient.

Die Wachstumsparameter lassen sich in einigen Fällen durch die Klimavariablen erklären, z.B. auf der Fläche Schädtkbek das Höhenwachstum im Alter 10 durch den ELLENBERG-Quotienten ($R^2 = 0,0938$) und den Ariditätsindex ($R^2 = 0,1118$).

Auf der Fläche Malter wird der Index aus Überlebensrate und Baumhöhe durch die geografische Breite ($R^2 = 0,1523$) bzw. die Temperaturspanne ($R^2 = 0,0964$) erklärt. Die Bestimmtheitsmaße sind jedoch sehr gering und die Ergebnisse gelten jeweils nur für eine Fläche.

Mit Hilfe der multiplen Regression mit schrittweiser Selektion wurde der Einfluss dieser Umweltparameter auf die mittleren Baumhöhen im Alter 10 für die Fläche Schädtkbek analysiert. Werden alle lebenden Bäume berücksichtigt, haben die vier Variablen mittlere Juli-Temperatur; mittlere Temperatur in der Vegetationsperiode; Klimafaktor und Höhe ü.NN einen Einfluss ($R^2 = 0,1461$). Das Bestimmtheitsmaß erhöht sich auf $R^2 = 0,1875$, wenn nur die 20 höchsten Bäume berücksichtigt werden. Fünf Merkmale haben hierbei einen Einfluss auf das Höhenwachstum. Zu den drei Faktoren, d.h. mittlere Juli-Temperatur; mittlere Temperatur in der Vegetationsperiode und Klimafaktor, die auch bei der Berücksichtigung aller lebenden Buchen erkannt werden, kommen zwei weitere, nämlich Ariditätsindex und mittlerer Niederschlag in der Vegetationsperiode hinzu.

Werden nur die höchsten fünf Bäume einer Parzelle berücksichtigt, steigt das Bestimmtheitsmaß auf $R^2 = 0,2188$ an. Die beeinflussenden Variablen sind dieselben wie bei der Berücksichtigung der 20 höchsten Bäume (Tabelle 4).

Tabelle 4 / Table 4

Bestimmtheitsmaß R^2 der multiplen Regression mit schrittweiser Selektion ($\alpha = 0,15$). Versuchsfläche Schädtkbek, 100 Herkünfte, Merkmal Höhenwachstum im Alter 10

Coefficient of determination R^2 of multiple regression analysis with stepwise selection ($\alpha = 0.15$). Experimental site Schädtkbek, 100 provenances, trait variable: height growth at age 10

Beeinflussende Umweltparameter ($\alpha = 0,15$)	Höhenwachstum im Alter 10		
	alle Bäume	20 höchste Bäume	5 höchste Bäume
mittlere Juli-Temperatur	0,028	0,047	0,056
mittlere Temperatur (Mai-September)	0,040	0,036	0,033
Klimafaktor	0,049	0,048	0,069
Höhe über NN	0,029	-	-
Ariditätsindex	-	0,025	0,033
Niederschlag (Mai-September)	-	0,031	0,029
Gesamt- R^2	0,1461	0,1875	0,2188

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Wie bei zahlreichen anderen Versuchen gibt es Unterschiede zwischen den Versuchsflächen an unterschiedlichen Standorten.
- Auch tritt Variation zwischen den Buchen-Herkünften auf, die jedoch geringer ausfällt als bei den meisten anderen Baumarten.
- Im Höhenwachstum (Alter 10) zeichnen sich geografische Regionen mit überwiegend klimastabilen Herkünften und solchen mit klimastabilen und klimasensitiven Herkünften ab.
- Für die Fläche Schädtkbek lässt sich das Höhenwachstum zu 22 % mit 5 Klimaparametern erklären. Dieses Ergebnis ist jedoch nicht auf die beiden anderen Flächen übertragbar. Es ist zudem stark von der Anzahl der Herkünfte abhängig.
- Nicht auszuschließen ist, dass größere Unterschiede im höheren Alter auftreten, da Wachstumsgrößen bei der Buche später als bei anderen Baumarten kulminieren.

5 LITERATUR

SCHÖBER, R. (1971): Die Rotbuche. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a.M., 333 Seiten.

VON WÜHLISCH, G. VON, LIESEBACH, M., MUHS, H.-J. & STEPHAN, R. (1998): A network of international beech provenance trials. In: J. Turok, A. Kremer & S. de Vries

(eds.): First EUFORGEN Meeting on Social Broadleaves. Bordeaux, France, 23-25 October 1997. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 1998, pp.164-172.

LEISTUNGEN UND QUALITÄTSEIGENSCHAFTEN VON NORDWESTDEUTSCHEN KIEFERNBESTÄNDEN (*PINUS SILVESTRIS* L.)

GROWTH AND QUALITY PERFORMANCE OF NORTHWEST GERMAN STANDS OF SCOTS PINE (*PINUS SILVESTRIS* L.)

H.-M. Rau

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Abt. Waldgenressourcen, D-34346 Hann. Münden

ABSTRACT

In 1986/87 a series of six trials was established for a progeny test of 58 pine stands from Lower Saxony. All the stands and sites are located in the lowlands of North Germany. At the same time, immediately next to most of these trials the international provenances of the IUFRO *Pinus sylvestris* trial were established, which are also present in other German Federal States. Both experiments were measured and assessed in 2007/08 at age 24 of plants according to survival, diameter, height, stem straightness, branchiness, forking, and damages.

As the site conditions of the trials are quite similar there are only little differences between the trial means of the different sites. Regarding the distinct sites, heights differ between 11,1 m and 12,6 m and volume per hectare between 198 m³ and 286 m³. As far as stem straightness is concerned, variation ranges from 10 % to 49 %. Damages were very seldom.

Differences between the progenies in survival,

height, volume per hectare, and stem straightness are sufficiently large and partly significant as compared with the respective trial means. Thus, recommendations are made possible for some of the stands to be registered under the tested category for forest reproductive material. On the other hand, it turns out that for the stands tested here, height growth potential and good stem form quality are not always found for the same progenies. In order to valuate the progenies an index was calculated for each by grading stem straightness superior to growth.

As far as the author assesses the situation, at least five, at most 12 stands meet the requirements to be registered under the tested category. The final decision will be made by the appropriate state authority in Hannover, which will take into consideration the recommendation of the expert witnesses for the registration of tested forest reproductive material.

On the other hand, four stands should no longer be registered for seed collection under the selected

category because their progenies have proven to be significantly inferior when compared with the other stands.

Finally the danger of damages by root rot (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) is envisaged briefly that is also important for pines and consequently relevant for the trial series.

Keywords: Scots pine, *Pinus sylvestris* L., progeny test, growth, quality, tested reproductive material

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird über eine 1986/87 angelegte, aus sechs Flächen bestehende Versuchsserie zur Prüfung von 58 niedersächsischen Kiefernbeständen berichtet. Alle Bestände und Versuchsflächen liegen in der Norddeutschen Tiefebene. In ihrer unmittelbaren Nachbarschaft stehen zudem internationale Herkünfte eines IUFRO Kiefernherkunftsversuchs, der auch in anderen Bundesländern begründet wurde. Beide Versuchsserien wurden 2007/08 im Pflanzenalter 24 nach den Merkmalen Vorhandensein, BHD, Höhe, Geradschäftigkeit, Ästigkeit, Verzweiselung und Schäden nach einheitlichen Kriterien aufgenommen.

Da sich die Standortbedingungen der Versuchsflächen ziemlich ähnlich sind, bestehen auch bei den meisten Flächenmittelwerten zwischen den Versuchsflächen eher geringe Unterschiede. Je nach Fläche schwankten die Höhen zwischen 11,1 m und 12,6 m, die Volumina pro Hektar zwischen 198 m³ und 286 m³. Bei der Geradschäftigkeit reichte die Bandbreite an ausreichend geraden Pflanzen immerhin von 10 % bis 49 %. Schäden traten nur in geringem Umfang auf.

Die Unterschiede vor allem bei den Merkmalen Vorhandensein, Höhe, Volumen pro Hektar und Geradschäftigkeit zwischen den einzelnen Bestandesnachkommenschaften sind hingegen groß genug und teilweise gegenüber den Versuchsflächenmitteln signifikant, um einige Bestände zur Zulassung als Ausgangsmaterial für geprüftes Vermehrungsgut empfehlen zu können. Es zeigte sich aber auch, dass man bei den hier geprüften Kiefernbeständen nicht ohne weiteres Wüchsigkeit und Geradschäftigkeit bei ein und demselben Prüfglied finden kann. Zur Bewertung wurden Indices für jedes Prüfglied errechnet, bei denen die Geradschäftigkeit stärker gewichtet wurde als die Wuchsleistung.

Nach Meinung des Verfassers kommen mindestens fünf, maximal 12 Bestände für eine Zulassung in der Kategorie „geprüft“ in Frage. Die letzte Entscheidung darüber trifft die zuständige Stelle beim Ministerium in Hannover, die sich an einer Empfehlung des Sachverständigenbeirates für geprüftes Vermehrungsgut orientieren wird.

Andererseits sollte vier Beständen, wenn sie noch zugelassen sein sollten, aufgrund signifikanter Unterlegenheit die Zulassung in der Kategorie „ausgewählt“ entzogen werden.

Abschließend wird noch kurz auf die Gefahr des Wurzelschwammbefalls (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) eingegangen, die auch Kiefern droht und damit auch für die Versuchsserie ein Problem darstellt.

Schlagwörter: Kiefer, *Pinus sylvestris* L., Bestandesprüfung, Leistung, Qualität, geprüftes Vermehrungsgut

1 ANLAGE UND AUFBAU DER VERSUCHE, VERSUCHSMATERIAL

Im Frühjahr 1986/87 hat die damalige Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt 1+1- bzw. 1+2-jährige Pflanzen von 58 Nachkommenschaften niedersächsischer Kiefernbestände auf sechs Versuchsflächen in der Norddeutschen Tiefebene ausgebracht (vgl. Abbildung 1 und Tabelle 1).

Es handelt sich um ein 9x9- und fünf 8x8 Dreisatzgitter mit dreifacher Wiederholung. Zwei Bestände und der Versuch Neuenburg sind dem Herkunftsbereich Nordseeküstenraum zuzuordnen. Die anderen Bestände gehören weit überwiegend zum heutigen

niedersächsischen Forstamt Gohrde und zu der in der gleichen Region liegenden Gräflich Bernstorffschen Forstverwaltung in Gartow. Sie sind damit mehr kontinental beeinflusst. Von den beiden Standards Knesebeck und Gartow fehlt letzterer lediglich auf dem Standort Neuenburg. Die Versuchsfläche Ahlhorn enthält als einzige zusätzlich 17 ausländische Herkünfte sowie zwei weitere niedersächsische und eine hessische Herkunft aus einem IUFRO-Herkunftsversuch, der auf den Parallelfleichen zur Ahlhorner Fläche jeweils benachbart und zeitgleich angelegt wurde.

Abbildung 1 / Figure 1

Lage der Versuchsflächen

Location of the trial sites



Tabelle 1 / Table 1

Beschreibung der Versuchsflächen

Description of the trial sites

Merkmal	Ahlhorn	Emsland	Fuhrberg	Göhrde	Neuenburg	Unterlüss
Pflanzen pro Parzelle	36	25	36	49	49	49
Verband (m)	1,2 x 1,2	1,2 x 1,2	1 x 1; 1,2 x 1	1 x 1; 1,2 x 1	1,2 x 1	1 x 1
Wuchsgebiet	Mittel- u. Westnieders. Tiefland	Mittel- u. Westnieders. Tiefland	Ostnieders. Tiefland	Ostnieders. Tiefland	Nieders. Küstenraum	Ostnieders. Tiefland
Wuchsbezirk	Geestmitte	Ems-Haase-Hunte-Geest	Südheide	Ostheide	Ostfries. Oldenburger Geest	Ostheide
Seehöhe (m)	41	30	55	95	20	75
Besonderheiten		Vollumbruch			Oberboden mit Bagger durchmischt	tiefgepflügt
Niederschlag (mm) - im Jahr - Mai - September	699 329	759 349	702 342	662 306	730 340	645 299
Temperatur (°C) - Jahr - Mai - September	8,5 14,6	9,2 15,4	8,7 15,5	8,0 15,0	8,2 14,3	8,1 14,6
Ausgangsmaterial der Bodenbildung	Sand	Geschiebedecksand über Schmelzwassersand	Talsand überlagert mit holoz. Flugsand	Geschiebedecksand über Schmelzwassersand	Talsand	Höhenpleistozän
Bodentyp	–	Podsol	Eisenpodsol	Stark podsolige Parabraunerde	Grundwasser-Humus-Podsol	Braunerde
Wasserhaushalt	frisch – vorratsfrisch	mäßig frisch – mäßig trocken	mäßig frisch	mäßig frisch	grundfrisch	mäßig frisch
Nährstoffversorgung	mäßig	schwach	schwach	mäßig	arm	mäßig-schwach

2 AUFNAHME DER VERSUCHE

Aufnahmeschema für Kiefern-Versuche - Aufnahme 2007

1 **Vorhandensein**

- 1 = Baum vorhanden und voll lebensfähig
- 2 = vorhanden, aber Überleben fraglich
- 3 = Baum tot oder fehlend
- 4 = Baum abgesägt

2 **BHD (mm) alle lebenden Bäume**

3 **Höhe (dm) Messung aller zumindest mitherrschenden Bäume** in den Reihen 2-4 (bei 25 Pfl./Parz.), Reihen 2-5 (36 Pfl./Parz.) und Reihen 2-6 (49 Pfl./Parz.)

4 **Geradschäftigkeit in 5 Stufen, alle Bäume**

- 1 = ganz gerade, waldbaulich sehr gut geeignet
- 2 = geringe Bögen, waldbaulich gut geeignet
- 3 = geringe bis mittlere Bögen, waldbaulich geeignet
- 4 = mittlere bis starke Bögen, waldbaulich kaum geeignet
- 5 = sehr starke Bögen, stark knickig, waldbaulich ungeeignet

5 **Ästigkeit in drei Stufen bei allen Bäumen**

- 1 = fein
- 2 = mittel
- 3 = grob

6 **Verzwieselung nur bei höhengemessenen Bäumen (ohne Zwiesel in der äußersten Spitze, Steiläste führen zu Abschlagen bei der Stammform):**

- 1 = vom Boden weg
- 2 = bis zur Stammmitte
- 3 = oberhalb der Stammmitte

7 **Schäden (nur falls häufiger vorkommend, z. B. Besatz mit Schlinggewächsen) sind zu verschlüsseln und nach Schadensgrad abzustufen**

- 1 = leicht
- 2 = mäßig
- 3 = stark

8 **Schadensschlüssel**

- 1 = Schütte
- 2 = Posthorn
- 3 = mechanischer Kronenschaden (bzw. Kronenschaden, dessen Ursache nicht klar erkennbar ist)
- 4 = Baum umgebogen (vermutlich Nassschnee)
- 5 = Eichhörnchen-Rindenfraßschäden
- 6 = Schälsschaden

Um den Aufwand in Grenzen zu halten, sind BHD, Geradschäftigkeit und Ästigkeit bei allen lebenden Kiefern erhoben worden. Zeitraubende Höhenmessungen beschränkten sich je nach Parzellengröße auf die drei, vier bzw. fünf mittleren Reihen der Parzellen. Von den Schäden erreichten nur die vom Kiefernknospentriebwickler (*Rhyacionia buoliana* Schiff.) verursachten Triebkrümmungen (Posthorn) einen wesentlichen Umfang.

3 VERGLEICH DER VERSUCHSFLÄCHEN

Die Versuchsflächenbeschreibung in Tabelle 1 zeigt, dass sich die Standorte ähneln. Alle Flächen liegen in Höhenlagen zwischen 20 m und 95 m über Meereshöhe der Norddeutschen Tiefebene, wenn auch verteilt auf drei Wuchsgebiete. Lediglich die Parzellengrößen schwanken stark. Entsprechend gering sind auch die Unterschiede zwischen den Versuchsflächen in den meisten Mittelwerten für

verschiedene Merkmale (Tabelle 2). Deshalb wird darauf verzichtet, sie verschiedenen Regionen zuzuordnen. Am stärksten unterscheiden sich die sechs Versuchsflächen in der Geradschäftigkeit. In Unterlüss gibt es fünfmal so viele ausreichend gerade Stämme wie auf der Fläche Emsland. Zum Vergleich der Schaftformen wurden die Boniturstufen „ganz gerade“ und „geringe Bögen“ zu

„ausreichend gerade“ zusammengefasst, da die Anteile der ganz geraden Kiefern alleine mit Werten zwischen 1,5 % und 6,3 % zu gering waren, um Unterschiede zwischen den Flächen zu verdeutlichen. Der geringe Anteil gerader Kiefern kann damit zusammenhängen, dass Steiläste nicht gesondert erfasst wurden. Wenn Steiläste vorhanden waren, führte das zu einer Herabsetzung der Geradschäftigkeit um eine Stufe. Im Flächenvergleich fallen ferner Unterschiede zwischen den Standorten

Ahlhorn und Unterlüss auf. Im stammzahlärmsten Ahlhorn konzentriert sich die Volumenleistung auf die vergleichsweise wenigen verbliebenen Kiefern, die dort viel seltener ausreichend gerade und auch am häufigsten grobästig sind. In Unterlüss dagegen haben die einzelnen Bäume deutlich weniger Volumen bei doppelt so hoher Überlebensrate und mehr als dreimal so vielen ausreichend geraden Stämmen.

Tabelle 2 / Table 2

Flächenmittelwerte und Streuungen für die wichtigsten Merkmale

Trial means and variation of the most important traits

Merkmal	Ahlhorn		Emsland		Fuhrberg		Göhrde		Neuenburg		Unterlüss	
	Ø	s	Ø	s	Ø	s	Ø	s	Ø	s	Ø	s
voll lebende Pflanzen (%)	28	11	42	12	54	12	43	10	41	9	56	10
BHD (cm)	12,9	1,7	10,6	0,9	9,2	0,7	10,3	1,0	10,9	1,0	8,7	1,3
Höhe (m)	12,6	0,8	11,4	0,7	11,7	0,5	11,9	0,5	11,9	0,7	11,1	0,7
Volumen/Stamm (dm ³)	0,1	0,03	0,06	0,02	0,05	0,01	0,06	0,01	0,07	0,02	0,05	0,01
Volumen/ha (m ³)	245	93	198	76	262	53	222	57	251	64	286	79
ausreichend gerade (%)	15	17	10	12	33	14	25	13	15	13	49	21
ohne Zwiesel (%)	94	11	94	12	97	5	97	6	95	7	96	6
nicht grobästig (%)	87	14	92	9	96	5	96	6	94	7	90	12
feinästig (%)	2	-	6	-	3	-	1	-	5	-	2	-
ohne Posthorn (%)	80	16	73	17	92	7	88	10	74	12	95	7

4 BEWERTUNG DER NIEDERSÄCHSISCHEN BESTÄNDE

Da die Besetzung der Flächen mit Prüfgliedern fast orthogonal ist, werden die Bestandesnachkommenchaften zunächst über ihre jeweiligen Flächenmittelwerte beurteilt. In den Abbildungen 2 bis 6 sind die Nachkommenschaft in absteigender Reihen-

folge von den besten hin zu den schlechtesten angeordnet. Größere Unterschiede gibt es vor allem bei den Merkmalen Vorhandensein (Abbildung 2), Volumen pro Hektar (Abbildung 4) und bei der Schaftform (Abbildung 5).

Abbildung 2 / Figure 2

Anteil lebender Bäume (%) und Extremwerte über die 6 Anbauorte; Abszisse: Prüfglieder; vlg. hierzu auch Tabelle 3

Percentage of living trees (%) and variation range across all 6 trial sites; abscissa: treatments; for names cf. Table 3

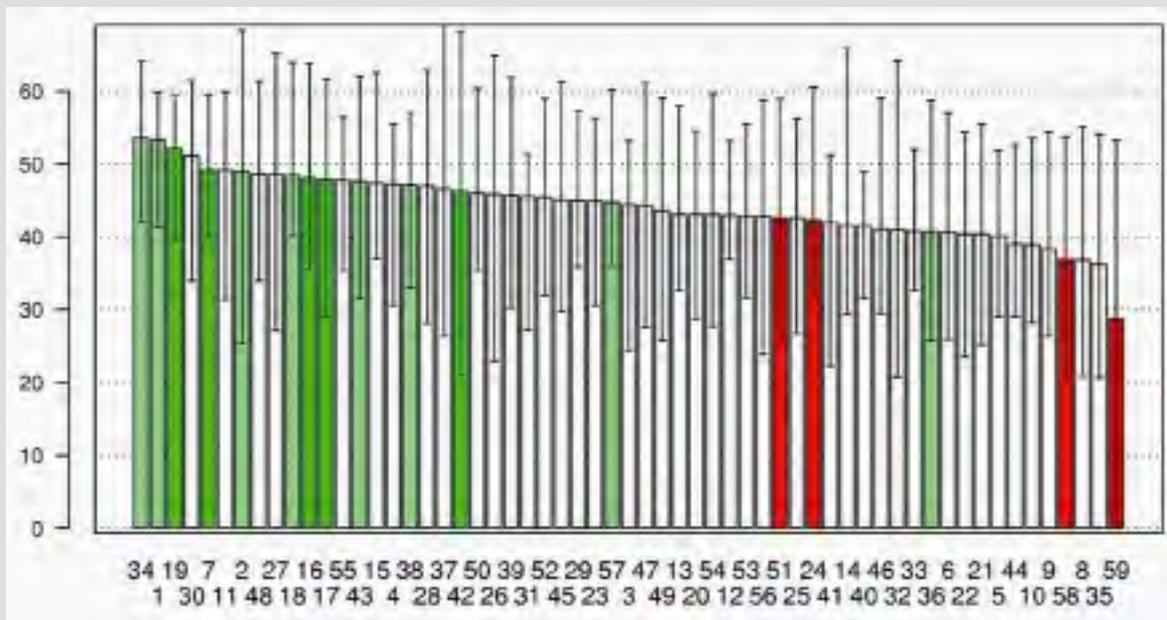


Abbildung 3 / Figure 3

Mittelhöhe (m) und Extremwerte der Prüfglieder über alle 6 Anbauorte

Mean heights (m) and variation range of the treatments across all 6 trial sites

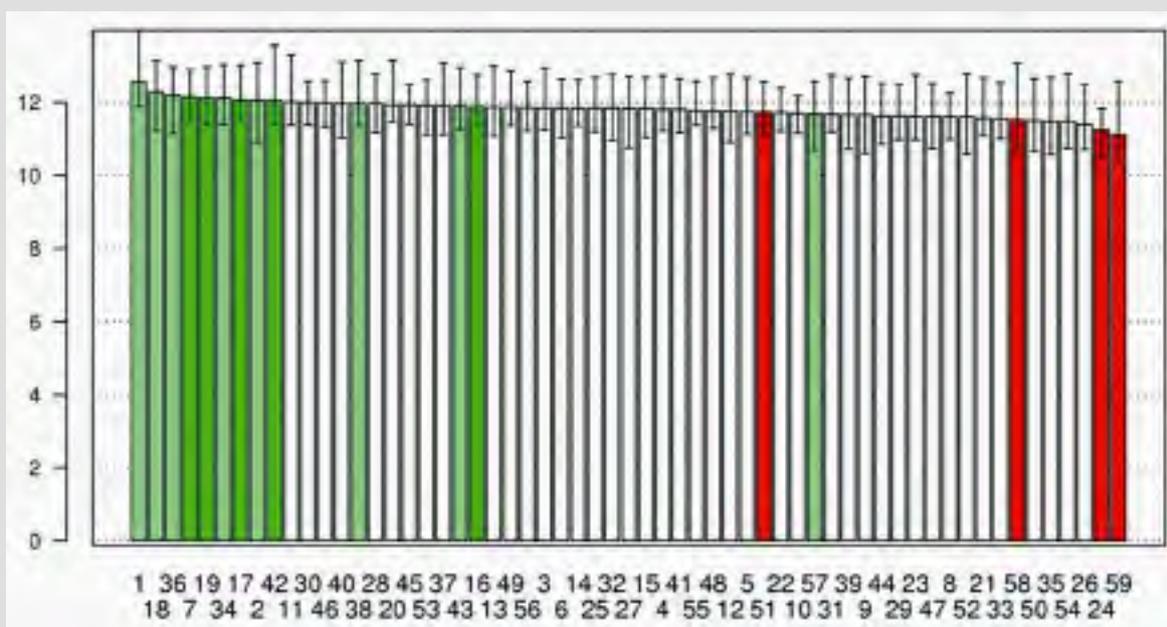


Abbildung 4 / Figure 4

Mittleres Volumen pro Hektar (m³/ha) und Extremwerte über alle 6 Anbauorte
 Mean volume per hectare (m³/ha) and variation range across all 6 trial sites

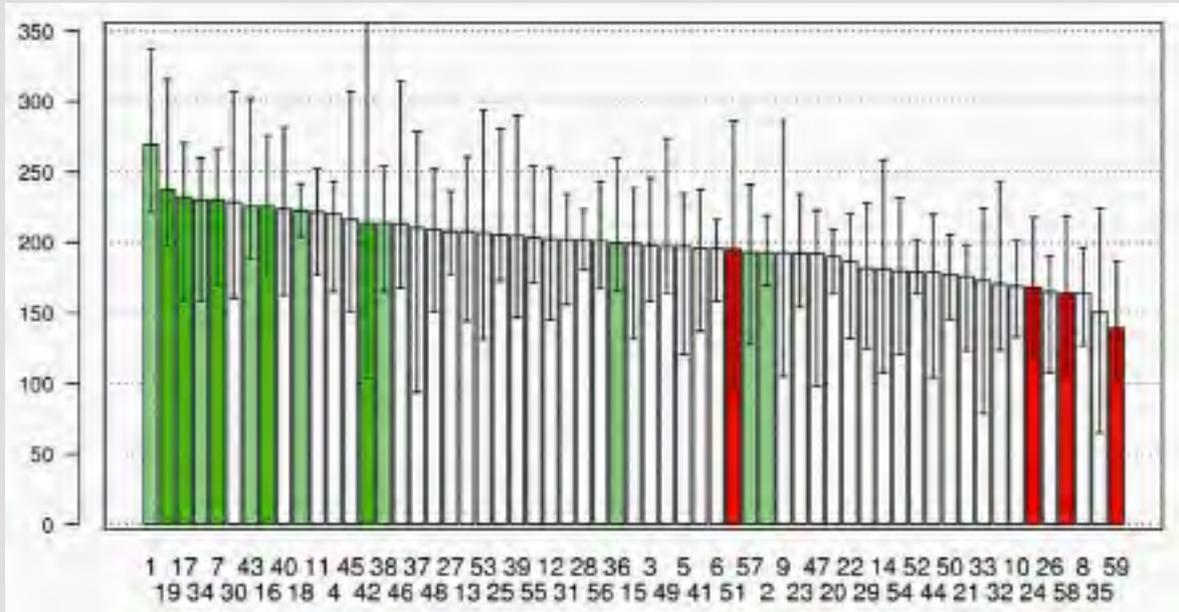
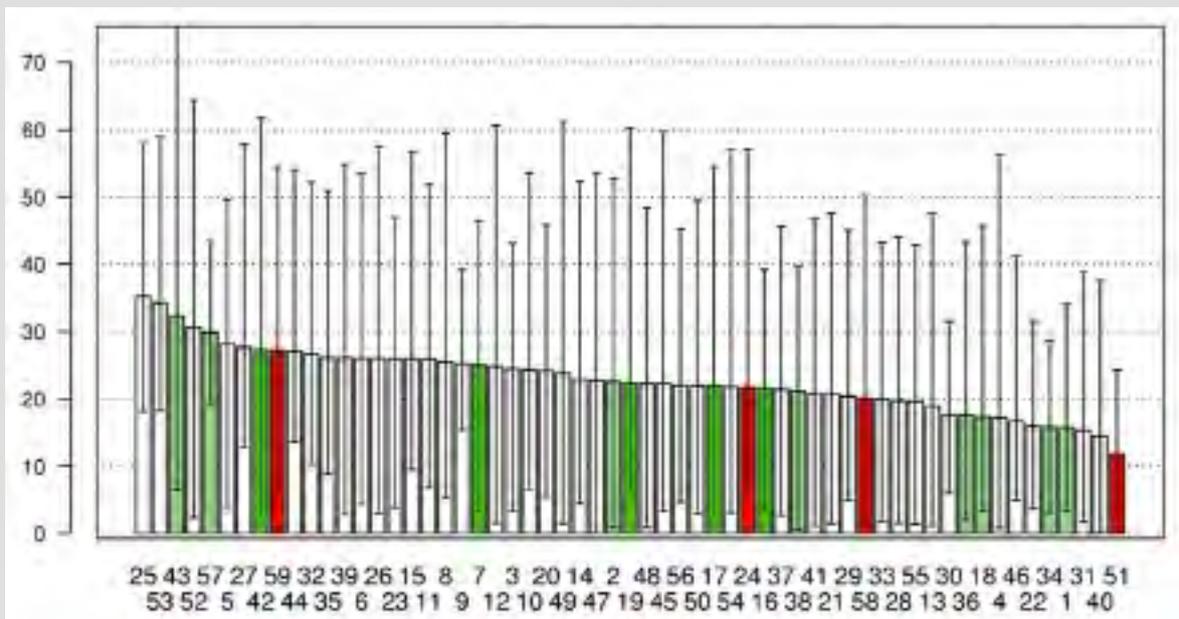


Abbildung 5 / Figure 5

Mittlerer Anteil gerader oder leicht gebogener Bäume (%) und Extremwerte über alle 6 Anbauorte
 Mean percentage and variation range of straight or slightly crooked stems across all 6 trial sites



Es fällt auf, dass die bei den Leistungsmerkmalen führenden Prüfglieder wie Nummern 1, 17, 19 und 34 sich bei der Geradschäftigkeit eher auf einem mittleren bis hinteren Platz finden. Weniger wüchsige Prüfglieder dagegen erwiesen sich als eher gerade. Das gilt auch für die Standards, besonders für Nr. 59 Gartow, der beim Volumen pro Hektar das Schlusslicht bildet, bei der Geradschäftigkeit hingegen Rang 9 erreicht. Das bedeutet, dass man bei den hier geprüften Kiefern nicht ohne weiteres Wüchsigkeit und Schaftformqualität bei ein und derselben Nachkommenschaft finden kann.

Schäden traten bisher in den Versuchsflächen kaum auf. Deformationen durch den Kiefernknospentriebwicker [*Rhyacionia buoliana* (Schiff.)] erreichten auf manchen Flächen ein durchaus größeres Ausmaß (Abbildung 6).

Da der Geradschäftigkeit ein größeres Gewicht beigemessen wird als der Volumenleistung pro Hektar, wurden für jedes Prüfglied Indices aus den Prozentwerten im Vergleich zum Gesamtmittel bzw. zum Mittelwert der beiden Standards (Kontrollgruppe) berechnet, wobei das Volumen einfach, der Anteil gerader Kiefern aber doppelt gewertet wurde (Abbildung 7). Dadurch ergibt sich eine merkmalsübergreifende Bewertung der Bestände, die zu einer neuen Rangfolge führt. Da die Standards sehr unterschiedlich, insgesamt aber eher schlechter abschneiden, werden die Prüfglieder nachfolgend im Vergleich zu dem neutraleren Gesamtmittel bewertet.

Ob eine Nachkommenschaft eine Zulassung des Ausgangsbestandes möglich als „geprüft“ erscheinen lässt oder nicht, hängt davon ab, inwieweit sie sich bei einzelnen Merkmalen an bestimmten Prüforten als dem Gesamtmittel statistisch signifikant überlegen erwiesen hat. In Tabelle 3 sind sämtliche Bestände in der Reihenfolge ihres Indexwertes aufgelistet. Zusätzlich ist angegeben, bei welchen Merkmalen an welchen Orten (bezeichnet durch ihre Anfangsbuchstaben) signifikant abweichende Werte ermittelt wurden. Signifikante Überlegenheit ist durch schwarze, Unterlegenheit durch rote Farbe hervorgehoben. Die meisten signifikanten Abweichungen erscheinen bei den Merkmalen Vorhandensein, Höhe und Volumen pro Hektar. Für die Geradschäftigkeit ließen sich nur für acht Bestände auf zwei Flächen meist negative signifikante Abweichungen nachweisen.

Wegen signifikanter Überlegenheit bei mindestens einem wichtigen Merkmal auf mindestens einer Fläche können vorrangig die folgenden fünf Bestände zur Zulassung als Ausgangsmaterial für geprüftes Vermehrungsgut empfohlen werden (in Tabelle 3 und in den Abbildungen dunkelgrün unterlegt):

- Prüfglied (Pg.) 16 Bleckede 492 b1
- Pg. 7 Bleckede 9 a1
- Pg. 42 Lüchow 18 a1
- Pg. 19 Gohrde 129
- Pg. 17 Bleckede 494 b

Die Prüfglieder 43 (Lüchow 18 a2), 57 (Lüss 166), 1 (Bremervörde 44), 2 (Bremervörde 46), 34 (Medingen 675 a), 18 (Gohrde 38) und 36 (Gartow 65) kommen auch noch für eine Zulassung als „geprüft“ in Frage (in Tabelle 3 und in den Abbildungen hellgrün unterlegt). Sie sind nur auf einer Fläche überlegen oder haben an einem Ort eine signifikante Unterlegenheit bei einem Merkmal, oder/und sie haben einen relativ schlechten Indexwert. Das Gegenstück zu den vorgenannten Beständen bilden folgende vier Prüfglieder, die sich auf mehreren Standorten und bei mehreren Merkmalen als signifikant unterlegen erwiesen haben (in Tabelle 3 und in den Abbildungen dunkelrot unterlegt):

- Pg. 51 Lüchow 242 a 1 (auch bei den nicht abgebildeten Merkmalen Zwiesel und Ästigkeit signifikant unterlegen)
- Pg. 58 Knesebeck interner Standard
- Pg. 24 Medingen 410 c
- Pg. 59 Gartow offizieller Standard

Diesen Beständen sollte die Zulassung entzogen werden, falls sie noch als „ausgewählt“ zugelassen sein sollten.

Da der Geradschäftigkeit ein größeres Gewicht beigemessen wird als der Volumenleistung pro Hektar, wurden für jedes Prüfglied Indices aus den Prozentwerten im Vergleich zum Gesamtmittel bzw. zum Mittelwert der beiden Standards (Kontrollgruppe) berechnet, wobei das Volumen einfach, der Anteil gerader Kiefern aber doppelt gewertet wurde (Abbildung 7). Dadurch ergibt sich eine merkmalsübergreifende Bewertung der Bestände, die zu einer neuen Rangfolge führt. Da die Standards sehr unterschiedlich, insgesamt aber eher schlechter abschneiden, werden die Prüfglieder nachfolgend im Vergleich zu dem neutraleren Gesamtmittel bewertet.

Abbildung 6 / Figure 6

Mittlerer Anteil an Kiefern mit Posthornbildung durch den Kiefernknospentriebwickler (*Rhyacionia buoliana* Schiff.) (%) und Extremwerte über alle 6 Anbauorte

Mean percentage of trees damaged by *Rhyacionia buoliana* Schiff. and variation range across all 6 trials sites

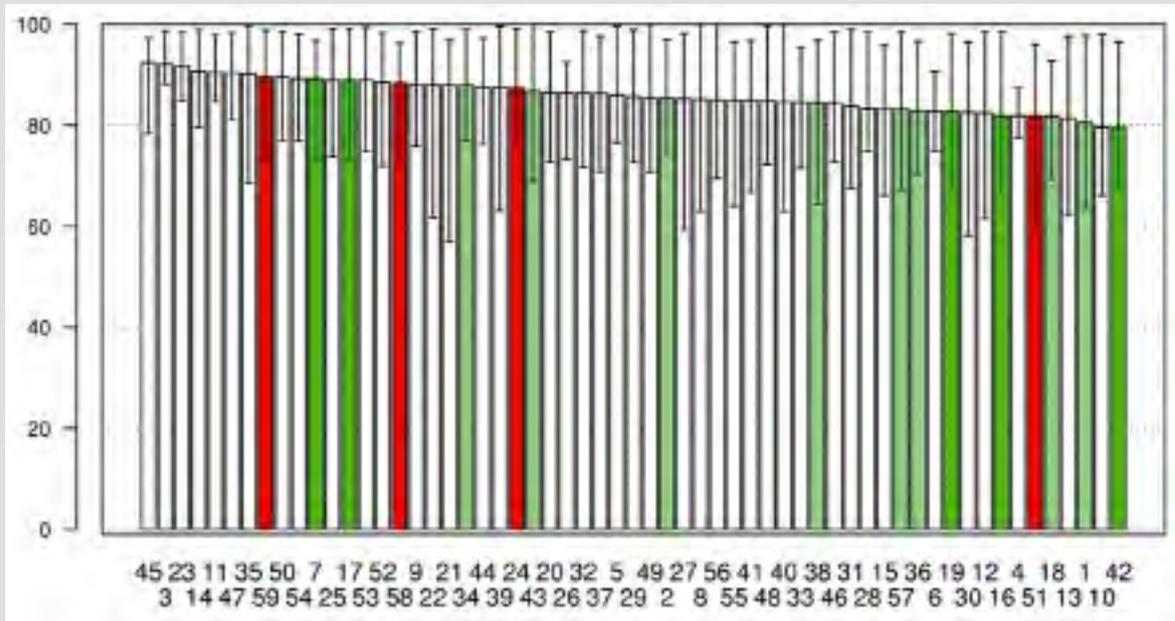


Abbildung 7 / Figure 7

Mittlerer Index und Extremwerte aus Prozentwerten im Vergleich zum Gesamtmittel

Mean index and variation range calculated from the percentages in relation to trial mean

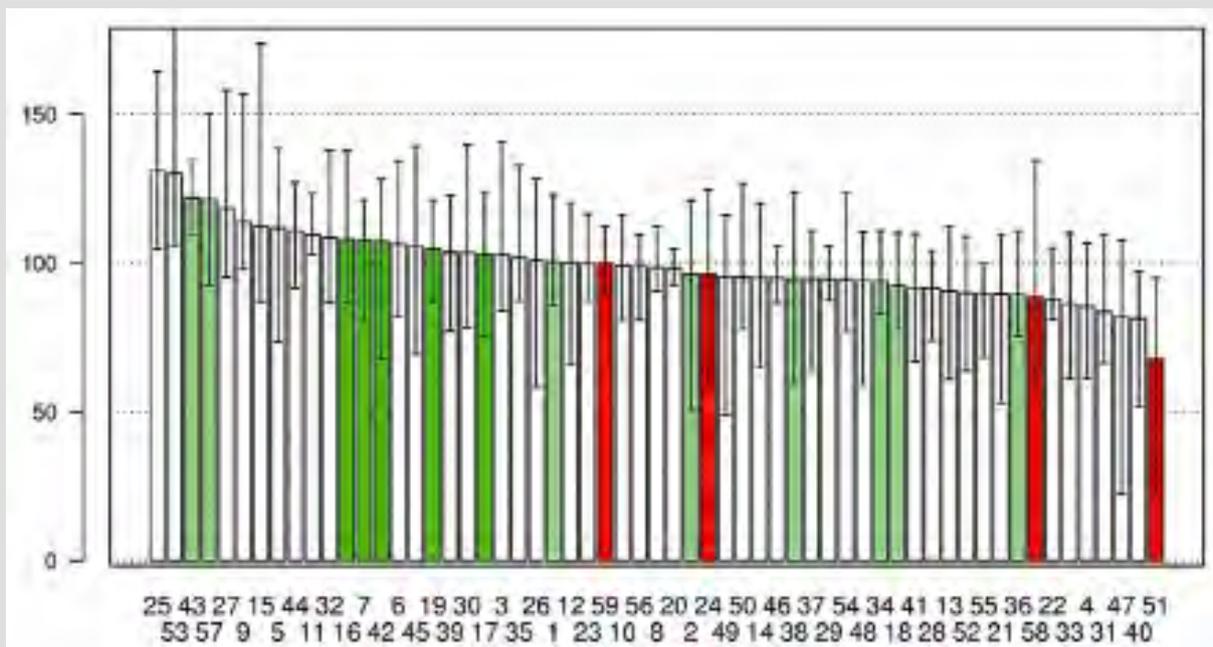


Tabelle 3 / Table 3

Übersicht über statistisch signifikante Überlegenheiten (schwarzer Druck) und Unterlegenheiten (roter Druck) der Prüfglieder bei verschiedenen Merkmalen auf den Versuchsflächen A = Ahlhorn, E = Emsland, F = Fuhrberg, G = Gohrde, N = Neuenburg und U = Unterlüss

Overall view of statistically significant superiorities (black letters) or inferiorities (red letters) of the progenies in different traits on the trial sites A = Ahlhorn, E = Emsland, F = Fuhrberg, G = Gohrde, N = Neuenburg and U = Unterlüss

PG	Name	Überleben	BHD	Höhe	Vol./ha	ausreichend gerade	ohne Zwiesel	nicht grobästig	Index
25	Medingen 422			G N					130
53	Lüchow 242 a 3								130
43	Lüchow 18 a 2			U	U	U			122
57	Lüss 166	A			A	A			121
27	Medingen 427 b 1	F		G					118
9	Bleckede 30 a	E							114
15	Bleckede 331 a	A G							112
5	Bleckede 7	U							112
44	Lüchow 51 d								111
11	Bleckede 248	G		A			A		109
32	Medingen 594 b 1	G		G					108
16	Bleckede 492 b 1	A F		F	A F				108
7	Bleckede 9 a 1	A G		F N	N				107
42	Lüchow 18 a 1	F U		A	U				107
6	Bleckede 8 a								106
45	Lüchow 159 a 1	F			U				106
19	Gohrde 129	A E G			A U				105
39	Gartow 163 a	G		U	U				103
30	Medingen 556	G			N	U			103
17	Bleckede 494 b	E		U N	G N				103
3	Rosengarten 33	G							103
35	Medingen 682 b	E			G				102
26	Medingen 426 a 2	F		F	A				101
1	Bremervörde 44	A E N	F	A F U N	A U N	U			100
12	Bleckede 287				N				100
23	Medingen 134 d 2			F					100
59	Gartow Standard	G F		G U	G				100
10	Bleckede 152 a	U N			G				99
56	Lüss 147 a 1								99
8	Bleckede 29 a	E U			N				98
20	Gohrde 191 b 1				F				98
2	Bremervörde 46	F U N		N					96
24	Medingen 410 c	G N	F	A G U N	G U N				96

Tabelle 3 / Table 3 (Fortsetzung / continued)

PG	Name	Über- leben	BHD	Höhe	Vol./ha	ausreichend gerade	ohne Zwiesel	nicht robästig	Index
49	Lüchow 177 a 3			U					95
50	Lüchow 178			F N	F				95
14	Bleckede 328	F		U	N				95
46	Lüchow 146 b			F	F				95
38	Gartow 149	G			A				95
37	Gartow 66	A F E			A				95
29	Medingen 429 a								95
54	Rotenburg 1				F				95
48	Lüchow 177 a 2				N				94
34	Medingen 675 a	A E N	F	G F	A	U			94
18	Göhrde 38 b	A		N					92
41	Gartow 275 a 2								92
28	Medingen 427 b 1	U							91
13	Bleckede 319 c				A				91
55	Rotenburg 213	E			A				90
21	Göhrde 237 a	U	F	N					89
36	Gartow 65			F N	F				89
58	Knesebeck Standard	E G	F	F	F				89
22	Medingen 134 c 1					U			87
33	Medingen 594 d 1								86
31	Medingen 561	N							84
47	Lüchow 162 a	E	F						82
40	Gartow 274				A	A			81
51	Lüchow 242 a 1		F			U A	A	F	67

5 VERGLEICH MIT ANDEREN HERKÜNFTEN AM STANDORT AHLHORN

Von den 17 ausländischen Herkünften auf der Fläche Ahlhorn stammen fünf aus Polen, drei aus Russland und je eine aus Belgien, Bosnien Herzegowina, Frankreich, Montenegro, Schweden, Tschechien, der Türkei, der Ukraine und Ungarn. Auch bei diesen Herkünften deutet sich ein eher gegenläufiger Zusammenhang zwischen der Wüchsigkeit und der Schaftformqualität an. So sind beispielsweise die Kiefern aus den Ardennen besonders wüchsig, fallen aber beim Anteil gerader Bäume deutlich

zurück. Umgekehrt ist es beispielsweise bei den Herkünften aus Russland und der Türkei. Besser abgesicherte Ergebnisse für nicht heimische Kiefernvorkommen sind von der Auswertung des parallel aufgenommenen IUFRO-Herkunftsversuchs zu erwarten, die das projektkoordinierende vTI-Institut für Forstgenetik, Außenstelle Waldsieversdorf, des Johann Heinrich von Thünen-Instituts übernehmen wird.

6 DAS PROBLEM WURZELSCHWAMM

Der Wurzelschwamm *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. hat sich in Teilen von Niedersachsen, insbesondere der Lüneburger Heide als zunehmend bedrohlich nicht nur für Kiefernbestände erwiesen. Die

braun-weißen Fruchtkörper des Pilzes finden sich oft verdeckt vom Humus an der Stammbasis (Abbildung 8).

Abbildung 8 / Figure 8

Fruchtkörper des Wurzelschwamms an Kiefernstubben, Foto: NW-FVA, Abt. Waldschutz
Fruiting body of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. at a pine stump



Durch sich ausbreitende Ausfälle werden die Bestände durchlöchert und verlieren ihre Stabilität (Abbildung 9), die Wurzeln der betroffenen Bäume werden rotfaul. Besonders betroffen sind Erstaufforstungen ehemaliger Weideflächen, Flächen mit angespannter Wasserversorgung und pH-Werten von über 5,5. Da die oben beschriebenen Versuchsfelder zumindest teilweise in der betroffenen Region liegen sowie erschlossen und aufgelichtet werden müssen, stellte sich die Frage, wie verhindert werden kann, dass sie dem Pilz zum Opfer fallen und mit ihnen das Versuchsziel nicht mehr erreicht werden kann.

Eine Möglichkeit besteht darin, durch Beimischung der Stubben unmittelbar nach dem Fällen mit dem aus forstwirtschaftlicher Sicht harmlosen antagonistischen Pilz *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) Jül. zu verhindern, dass der Wurzelschwamm sich einnisten kann (METZLER, 2005; KNOCH & ERTLE, 2007). Das Mittel mit dem Handelsnamen ROTEX kann manuell auf die frischen Stubben aufgespritzt werden. Es gibt aber auch Vorrichtungen für Harvester, die eine maschinelle Ausbringung unmittelbar bei der Fällung ermöglichen. Da ein solcher Harvester nicht verfügbar war, haben wir bei der Durchforstung der Fläche Neuenburg im September/Oktober 2009 ROTEX manuell ausbringen lassen.



Abbildung 9 / Figure 9

Sterbelücke durch Wurzelschwammbefall in einem jungen Kiefernbestand, Foto: NW-FVA. Abt. Waldschutz

Disease gap caused by *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. within a young pine stand

7 DISKUSSION

Mit den vorgestellten Ergebnissen können erstmalig für Niedersachsen Saatguterntebestände in der Kategorie „geprüft“ zugelassen werden. Sollten alle oben genannten und von dem dafür zuständigen Sachverständigenbeirat für geprüftes Vermehrungsgut zur Zulassung vorgeschlagenen Bestände noch existieren und tatsächlich zugelassen werden, dann würde sich die Zahl der „geprüften“ Kiefernbestände für Hessen und Niedersachsen verdoppeln. In Hessen sind schon seit über 20 Jahren acht Hügelland- und vier Tieflandbestände als „geprüft“ zugelassen.

Über ein erstes Kontingent von 11 hessischen Beständen und zehn ebenfalls „geprüfte“ Samenplantagen aus fünf Bundesländern hat SCHNECK

(2001) berichtet. Die Gruppe der „geprüften“ Bestände und Samenplantagen wurde später noch einmal erweitert und aufgrund neuerer Prüfergebnisse angepasst. Sowohl damals bei den hessischen als auch jetzt bei den niedersächsischen Beständen stand die überlegene Wuchsleistung als Begründung für die Zulassung im Vordergrund. Bei den Qualitätseigenschaften wie Geradschäftigkeit und Ästigkeit ließen sich signifikante Unterschiede nur selten nachweisen. Ergebnisse aus Hessen deuten darauf hin, dass bei Vermehrungsgut aus Samenplantagen eher mit einer deutlichen Überlegenheit bei den Qualitätsmerkmalen gerechnet werden kann (GROTEHUSMANN, 1988; RAU, 1998, 2002). Das kann darauf zurückgeführt werden, dass

Samenplantagen zumeist durch Pflanzung von einzeln ausgewählten vitalen, vor allem auch besonders geraden Kiefern aufgebaut werden.

Deutlich größere und damit häufiger signifikante Unterschiede sind von Herkunftsversuchen auf nationaler Ebene oder der IUFRO zu erwarten, deren Material viel weiter gestreut eingesammelt wurde (SCHNECK, 2007). Sie zeigen vom nordostdeutschen Tiefland bis nach Polen einen Trend zunehmender Qualität, dafür jedoch eher abnehmender Vitalität. Das bestätigt die schon für die geprüften niedersächsischen Bestände getroffene Aussage, dass Kiefernorkommen selten optimale Wuchsleistung und hohe Qualität in ihren Erbanlagen mitbringen, wie es ähnlich zum Beispiel auch für die Europäische Lärche gilt (RAU, 2004). Dieses Phänomen war der Anlass für zahlreiche züchterische Aktivitäten in den 70er und 80er Jahren des 20. Jahrhunderts. Mit gelenkten Kreuzungen

versuchte man, verschiedene erwünschte Eigenschaften von Kiefern zu kombinieren. Wegen des großen damit verbundenen Aufwands sind diese Bemühungen in Nordwestdeutschland nach und nach eingestellt worden. Ganz anders dagegen geht man in Skandinavien vor (ERIKSSON, 2008).

Wie gezeigt werden konnte, hat der offiziell vom Gemeinsamen Gutachterausschuss für forstliches Vermehrungsgut ausgewiesene Standardbestand Gartow Abt. 213 Nachkommen hervorgebracht, die bei den meisten Merkmalen eher schlecht abgeschnitten haben. Es sollte geprüft werden, ob nicht aus dem hier behandelten Versuch ein anderer, mehr dem Mittelfeld zuzuordnender Kiefernbestand als Ersatz zum offiziellen Standard erklärt werden sollte. Aus Sicht des Verfassers kämen dafür die Bestände Lüss 147 a1, Medingen 134 d2 oder Rosengarten 33 in Betracht.

8 LITERATUR

ERIKSSON, G. (2008): *Pinus sylvestris*. Recent Genetic Research. Department of Plant Biology and Forest Genetics, Uppsala, 110 pages.

GROTTEHUSMANN, H. (1998): Geprüftes Vermehrungsgut aus Kiefern- und Erlen Samenplantagen. *AFZ/Der Wald* 53: 240-242.

KNOCH, D. & ERTL, C. (2007): Zum Auftreten des Kiefernwurzelchwammes (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) in der Bergbaufolgelandschaft des Lausitzer Braunkohlereviere. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 32: 270-275.

METZLER, B. (2005): Integrierte Maßnahmen gegen die Rotfäule der Fichte (*Heterobasidion annosum* s.l.). Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Hrsg.), *Waldschutz-Info* 4, 4 Seiten.

RAU, H.-M. (1998): Vermehrungsgut von Samenplantagen im Vergleich zu handelsüblichem Material. *AFZ/Der Wald* 53: 236-239.

RAU, H.-M. (2002): Quantitative and qualitative Traits of Hessian pine stands (*Pinus sylvestris* L.) in comparison to material of higher selection degree. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, 134: 133-138.

RAU, H.-M. (2004): Der Gahrenberger Lärchen-Provenienzversuch – ein forstliches Denkmal wurde 70. *Forst und Holz* 59: 574-576.

SCHNECK, V. (2001): Bestände und Samenplantagen von Gemeiner Kiefer. *AFZ/Der Wald* 56: 232-233.

SCHNECK, V. (2007): Wachstum von Kiefern unterschiedlicher Herkunft – Auswertung der Kiefern-Herkunftsversuche im nordostdeutschen Tiefland. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 32: 374-382.

ZÜCHTUNG SCHNELLWACHSENDER BAUMARTEN FÜR DIE PRODUKTION VON BIOMASSE AUF KURZUMTRIEBSPLANTAGEN

BREEDING OF FAST GROWING TREE SPECIES FOR BIOMASS PRODUCTION IN SHORT ROTATION COPPICES

A. Janßen & C. Fey-Wagner

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Abt. Waldgenressourcen, D-34346 Hann. Münden

ABSTRACT

The European Union demands for upgrading ambitiously renewable energy. At least 20 percent of the whole energy consumption should come from regrowing energy sources until 2020. Indeed, only part of the whole energy production can be derived from renewable raw material because the available arable land is limited. Hence, the German policy should concentrate upon such energy lines which show a clearly more efficient energy conversion rate than the already predominantly used sources maize, cereals or rape.

In order to achieve this purpose a joint research project was initiated in 2008 entitled „Breeding of fast growing tree species for biomass production in short rotation coppices (FastWOOD)“. This project is intended to develop the fundamentals of suitable, forestally generated material (wood) for the energetic use in short rotation systems. Black and balm poplar species (sections *Aigeiros* and *Tacamahaca*) and poplar species of the section *Leuce* as well as willow species (*Salix sp.*) and false acacia (*Robinia pseudoacacia*) provide the cultivars of interest in the project.

Existing clones have to be evaluated. New clones will be crossbred. These materials have to show high yield and resistance to the suitability for effectively managing new short rotation plantations. For the authentication of these new fast growing forestal resources species identification as well as clone identification and a descent analysis is carried out via genetic characterization. Thus the base should be created to use the advantages of sustainable materials and to contribute to the preservation of biological diversity and the enrichment of the cultivated landscape. The use of products on the basis of renewable materials offers various advantages and allows the realization of an effective circular flow economy with renewable energy, even in environmentally sensitive areas. So the demanding purpose of the European Union is forwarded in accessible nearness.

Keywords: poplar, *Populus spec.*, willow, *Salix spec.*, false acacia, *Robinia pseudoacacia*, fast growing tree species, breeding, short rotation coppice, FastWOOD

ZUSAMMENFASSUNG

Durch die anspruchsvollen Ausbauziele der Europäischen Union für erneuerbare Energien sollen bis 2020 mindestens 20 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs aus nachwachsenden Energiequellen stammen. Allerdings kann durch die begrenzt zur Verfügung stehende Fläche nur ein Teil der Energieerzeugung durch Biomasse erfolgen. Daher sollte sich die deutsche Politik auf solche Energielinien konzentrieren, die eine deutlich effizientere Energieumwandlungsrate aufweisen als die bereits großräumig eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe Mais, Getreide oder Raps.

Zur Umsetzung dieses Zieles wurde 2008 ein Verbundvorhaben mit dem Titel „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD)“ begonnen. Dieses Projekt wird durch die enge Zusammenarbeit von acht verschiedenen Projektpartnern aus dem ganzen Bundesgebiet die Basis an für die energetische Nutzung im Kurzumtrieb bestens geeignetem, forstlich erzeugtem Material (Holz) ausbauen. Hierfür forschen die Projektpartner von FastWOOD an Sorten der Schwarz- und Balsampappel (Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca*) und Weiß- und Zitterpappeln der Sektion *Leuce*

sowie an Weiden (*Salix spec.*) und der Robinie (*Robinia pseudoacacia*). Es werden vorhandene Klone evaluiert. Neue Klone werden gezielt gezüchtet. Diese Klone werden einer Klonprüfung auf Leistung und Resistenzeigenschaften unterzogen, um ihre Eignung zum Anbau auf Kurzumtriebsplantagen nachzuweisen. Die genetische Charakterisierung ermöglicht die Authentifizierung dieser neuen forstlichen Ressourcen, die Klon- und die Artidentifizierung sowie eine Abstammungsanalyse.

Damit soll die Basis geschaffen werden, um die Vorteile nachwachsender Rohstoffe effektiv zu nutzen und gleichermaßen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt und der Bereicherung der Kulturlandschaft beizutragen. Die Nutzung von Produkten auf der Basis nachwachsender Rohstoffe bietet vielfältige Vorteile und ermöglichen die Verwirklichung einer effektiven Kreislaufwirtschaft mit erneuerbaren Energien, sogar in umweltsensiblen Bereichen, so dass das anspruchsvolle Ziel in erreichbare Nähe gerückt wird.

Schlagwörter: Pappeln, *Populus spec.*, Weiden, *Salix spec.*, Robinie, *Robinia pseudoacacia*, schnellwachsende Baumarten, Züchtung, Kurzumtriebsplantagen, FastWOOD

1 EINLEITUNG

Die Europäische Union hat anspruchsvolle Ausbauziele für erneuerbare Energien formuliert: Beim Gesamtenergieverbrauch sollen bis 2020 mindestens 20 Prozent aus erneuerbaren Energiequellen stammen. In Deutschland soll bis 2050 mehr als die Hälfte des Primärenergieverbrauchs aus regenerativen Quellen kommen.

Die Vorteile nachwachsender Rohstoffe gegenüber fossilen Energieträgern sind dabei vielfältiger Art. So sind nachwachsende Rohstoffe weitgehend CO₂-neutral und verschärfen bei ihrer Nutzung nicht den Treibhauseffekt. Der Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen kann sogar durch die erhöhte Bindung von CO₂ im Boden bzw. in der Dendromasse einen erheblichen Beitrag zur Entlastung der Umwelt leisten. Der Schutz und die Ausweitung von Senken, die Förderung nachhaltiger Landwirtschaft und die Sequestrierung von CO₂ sind unter anderem als zu ergreifende Maßnahmen im Kyoto-Protokoll festgeschrieben. Nachwachsende Rohstoffe

eröffnen Möglichkeiten zur Verwirklichung einer Kreislaufwirtschaft. Die Nutzung von Produkten auf der Basis von nachwachsenden Rohstoffen in umweltsensiblen Bereichen bietet vielfältige Vorteile. Zudem können nachwachsende Rohstoffe zur Erhaltung der biologischen Vielfalt beitragen und die Kulturlandschaft bereichern. Allerdings kann durch die begrenzt zur Verfügung stehende Fläche nur ein Teil der Energieerzeugung durch Biomasse erfolgen.

Nicht alle nachwachsenden Rohstoffe sind umweltpolitisch gleich zu bewerten. Nach einem Gutachten des wissenschaftlichen Beirates beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) weisen die bisher im Fokus der Bioenergie-Politik stehenden Bioenergie-Linien (Biokraftstoffe; Biogas auf Maisbasis) relativ hohe CO₂-Vermeidungskosten in einer Größenordnung von 150 bis weit über 300 €/t CO₂ auf. Die deutsche Politik sollte sich auf solche Energielinien konzentrieren, bei denen sich CO₂-Vermeidungs-

kosten von unter 50 €/t CO₂ erreichen lassen. Das sind die

- Biogaserzeugung ausschließlich auf Güllebasis, möglichst mit Kraftwärmekopplung (KWK);
- die kombinierte Strom- und Wärmeerzeugung auf Basis von Hackschnitzeln aus Waldrestholz,
- die Nutzung von Holz aus Kurzumtriebsplantagen und
- die Co-Verbrennung von Hackschnitzeln bzw. in gewissem Umfang von Stroh in bestehenden Großkraftwerken.

Die Erzeugung von Biodiesel und Bioethanol in Deutschland ermöglicht nur eine sehr geringe CO₂-Vermeidungsleistung in einer Größenordnung von weniger als 3 t CO₂/ha, während sich mit anderen Bioenergie-Linien (z.B. Hackschnitzel-Blockheizkraftwerk auf der Basis von Kurzumtriebsplantagen) mehr als 12 t CO₂/ha erreichen ließen (ANONYMUS, 2007). Auch aus Sicht des Naturschutzes sind Kurzumtriebsplantagen wesentlich positiver zu bewerten als Ackerflächen mit intensiver Nutzung (ANONYMUS, 2008).

Im Gegensatz zu landwirtschaftlich erzeugten nachwachsenden Rohstoffen wie Mais, Getreide oder Raps, die für die Energieumwandlung bereits großräumig eingesetzt werden, weisen forstlich erzeugte nachwachsende Rohstoffe (Holz) auf Kurzumtriebsflächen eine deutlich effizientere Energieumwandlungsrate auf. Daher stellen schnell wachsende Bäume eine sinnvolle Alternative bzw. Ergänzung dar. Auf ihrer letzten Konferenz im September 2009 in Eisleben (ANONYMUS, 2009) haben die Agrarminister des Bundes und der Länder

unter TOP 28, Punkt 5, festgestellt, dass "...die nationalen Ziele für die energetische Biomassenutzung nur mit einem nennenswerten Anbau von Kurzumtriebsplantagen erreicht werden können. Um ein wesentliches Hemmnis für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen zu beseitigen, fordern die Ministerinnen und Minister, die Senatorin und Senatoren der Agrarressorts der Länder, den § 2 des Bundeswaldgesetzes (BWaldG) dahingehend zu ändern, dass Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsysteme vom Waldbegriff ausgenommen werden. Zudem bitten die Ministerinnen und Minister, die Senatorin und Senatoren der Agrarressorts der Länder die Bundesregierung zu prüfen, ob die Förderbedingungen in der GAK verbessert werden können sowie bei Verkauf und Verpachtung bundeseigener Flächen den besonderen Anforderungen von Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsystemen Rechnung getragen werden kann."

Leider steht bei Pappel, der neben Weide wichtigsten Gattung für den Kurzumtrieb, bisher nur eine sehr begrenzte Anzahl von geeigneten Klonen zur Verfügung. Dieser Umstand macht die Deckung der entstandenen Nachfrage schwierig und könnte dazu führen, dass auch ungeprüftes Vermehrungsgut aus dem Ausland oder Sorten unsicherer Identität verwendet werden. Da Pappeln dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) unterliegen und als Klone vegetativ vermehrt werden, ist eine Zulassung als geprüftes Vermehrungsgut vorgeschrieben.

2 VERBUNDVORHABEN FASTWOOD UND SEINE TEILPROJEKTE

Vor diesem Hintergrund wurde am 1. Oktober 2008 ein Verbundvorhaben mit dem Titel „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD)" begonnen. Die Förderung dieses Verbundvorhabens erfolgt durch finanzielle Unterstützung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) für das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe" unter dem Förderkennzeichen 22011007

(JANSSEN & WYPUKOL, 2009).

Im Rahmen dieses Verbundprojektes werden acht Teilvorhaben von Institutionen aus dem ganzen Bundesgebiet gefördert. Die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA, Abteilung Waldgenressourcen, DR. ALWIN JANSSEN) ist für die Koordination des gesamten Verbundvorhabens verantwortlich. Die Evaluierung bereits vorhandener Versuchsergebnisse sowie bestehender Bestände und Versuchsflächen und die Zulassung

von Schwarz- und Balsampappelklonen (Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca*) und Weiden aus diesen Ergebnissen gehören ebenso zu den Aufgaben dieses Teilprojektes (TP) wie die Aussaat noch vorhandenen Saatguts und das Screening der Sämlinge auf Eignung für den Kurzumtrieb. Des Weiteren sollen nach Aufstellung eines neuen Züchtungsprogramms intra- und interspezifische Kreuzungen durchgeführt werden. Mit dem neu gezüchteten Material wird eine Sortenprüfung auf Leistung und Resistenzeigenschaften z.B. gegen pflanzenpathogene Pilze wie dem Pappelblattrost angelegt. Die bereits vorhandenen, genauso wie die neu gezüchteten Pappeln und Weiden sollen genetisch charakterisiert werden. Für diese genetische Charakterisierung wurden Mikrosatelliten-Marker und cp-DNA-Marker optimiert. Mit diesen DNA-Markern soll sowohl die Sorten- als auch die Artidentifizierung und eine Abstammungsanalyse ermöglicht werden.

Das Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI-Institut für Forstgenetik, DR. MIRKO LIESEBACH) mit den Standorten Großhansdorf bei Hamburg und Waldsiedersdorf nahe Berlin ist ein weiterer Partner (TP2) im Verbundprojekt FastWOOD. Im Fokus dieses Teilprojekts 2 stehen Arbeiten an den Pappelarten der Sektion *Leuce* und der Robinie. Auch bei diesen Arten soll durch weiterführende Züchtung die bestehende genetische Basis vergrößert werden. Zusätzlich steht die Potenzial- und Risikoabschätzung (Sortenprüfung) im Hinblick auf die Eignung der bestehenden und neu gezüchteten Sorten für Kurzumtriebsplantagen bei diesem Teilprojekt im Vordergrund der Untersuchungen. Durch genetische Charakterisierung mit Hilfe von Mikrosatelliten-Markern und der Untersuchung von Einzel-Nukleotid-Polymorphismen (SNP-Markern) soll durch dieses Teilprojekt auch für die Pappelarten der Sektion *Leuce* und der Robinie die Sortenidentifizierung und Artidentifikation gewährleistet werden.

Als Teilprojekt 3 arbeitet der Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS, Referat Forstgenetik / Forstpflanzenzüchtung, DR. HEINO WOLF) an der Evaluierung bestehender Bestände und Versuchsflächen von Pappeln der Sektion *Leuce* und den Weiden. Bei diesem Teilprojekt steht die besondere Berücksichtigung abiotischer Faktoren, wie beispielsweise Reaktionen auf Trockenstress, bei der Züchtung und Charakterisierung dieser Arten im Vordergrund.

Im Süden des Bundesgebietes arbeitet das Bayerische Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP, RANDOLF SCHIRMER, TP 4) an der Anlage von Versuchsflächen zur Frage der energetischen Nutzung im Kurzumtrieb geeigneter Sorten von Schwarz- und Balsampappeln (Sortenprüfung). Ferner werden wichtige Fragen zur Anbaueignung wie beispielsweise Untersuchungen zu den Pflanzabständen und der Länge der Umtriebszeit von vorhandenen und neu gezüchteten Klonen der Schwarz- und Balsampappeln von diesem Projektpartner erarbeitet.

Weitere Partner im Verbundprojekt FastWOOD sind die Technische Universität Dresden (TUD, Institut für Forstbotanik und -zoologie, PROF. DR. DORIS KRABEL, TP5) und die Philipps-Universität Marburg (PUM, Fachbereich Biologie, Naturschutzbiologie, DR. RONALD BIALOZYT, TP6). An der TUD werden Untersuchungen zur effizienten Erschließung und Erhaltung genetischer Ressourcen von Baumarten für den landwirtschaftlichen Anbau durchgeführt. Daneben wird die Charakterisierung aller im Verbundprojekt beinhalteten Arten auf der Basis physiologischer und anatomischer Merkmale des Holzes sowie die Entwicklung einer Informationsplattform für Pappeln weiterentwickelt. Hingegen steht bei der PUM die Identifizierung und genaue Kartierung von natürlichen Schwarzpappelvorkommen in der Landschaft im Zentrum der Untersuchungen. Zusätzlich werden hier Analysen zur molekulargenetischen Charakterisierung dieser natürlichen Schwarzpappelbestände durchgeführt.

Die Landesforstanstalt Eberswalde (LFE, DR. HABIL. RALF KÄTZEL) und das Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB, DR. DR. DIRK KNOCHE) sind die Teilprojektpartner 7 bzw. 8. Der Focus dieser beiden Institute liegt auf Untersuchungen und Versuchen zur Entwicklung eines Modellprojekts zu Begründungsverfahren der Robinie (*Robinia pseudoacacia*) zur vordringlichen energetischen Nutzung.

Durch diese verzahnte und enge Zusammenarbeit aller acht Projektpartner soll die Basis an für die energetische Nutzung im Kurzumtrieb bestens geeignetem Material ausgedehnt werden. Hierfür werden u. a. Klon- und Züchtungsmaterial zwischen den Projektpartnern ausgetauscht und mit Hilfe eines initiierten Ringversuchs der beteiligten forstgenetischen Labore die Verfahren und

Ergebnisse zu den verschiedenen genetischen Charakterisierungsmethoden abgeglichen. Damit soll durch die Zulassung geeigneter Sorten und die Anlage von Mutterquartieren zur Vermehrung in

privaten oder staatlichen Baumschulen die Bandbreite an verfügbarem geprüftem Vermehrungsgut dieser schnellwachsenden Baumarten vergrößert werden.

3 TEILVORHABEN DER NW-FVA (TEILPROJEKT 1)

Nach dieser Übersicht der einzelnen Projektpartner des Verbundvorhabens FastWOOD werden im Folgenden die an der NW-FVA bisher durchgeführten Arbeiten vorgestellt.

3.1 Beerntung von Elternbäumen und Behandlung der Blühreiser

Im ersten Jahr des Verbundprojektes wurde nach Evaluierung der zur Verfügung stehenden potenziellen Elternbäume (männliche und weibliche Altbäume) in bestehenden Beständen und Populeten ein Kreuzungsplan erstellt. Dieser beinhaltete 86 kontrollierte Kreuzungen innerhalb und zwischen Balsam- und Schwarzpappel. Von diesen auf Grund

ihrer Eigenschaften, wie z.B. der Wuchsleistung oder Resistenz gegenüber dem Pappelblattrost ausgesuchten Eltern wurden mit Hilfe einer Hebebühne oder durch Herunterschließen mit dem bei JANSSEN et al. (1992) beschriebenen Verfahren bei den teilweise über 40 m hohen Pappeln Blühreiser geerntet. Nach der eindeutigen Geschlechtsbestimmung durch Blühknospenquerschnitte (vgl. Abbildung 1) wurden die Blühreiser der beiden Geschlechter mit unterschiedlichen Verfahren weiter behandelt.

Abbildung 1 / Figure 1

Querschnitte von Blütenknospen: oben männlich, unten weiblich

Cross-sections of flower buds: at the top a male, below a female specimen



So konnten die männlichen Reiser durch das Einstellen in Wasser bei Zimmertemperatur zur Blüte gebracht und der zur Kreuzung benötigte Pollen durch tägliches Absammeln erhalten werden. Da es sich in der Vergangenheit erwies, dass bei Schwarz- und Balsampappeln das vollständige Ausreifen der Früchte durch lediglich in Wasser kultivierte weibliche Blühreiser nur selten erfolgreich ist, wurde eine alternative Methode angewandt. Hierbei wurden die weiblichen Reiser nach der Ernte zunächst bewurzelt. Dies geschah durch das Abstecken der Blühreiser in Pflanztöpfe, die sich in einer 4 °C kalten Kühlzelle in einem 20 °C warmen Wasserbad befanden. Zum Austreiben wurden die bewurzelten Blühreiser ins Gewächshaus verbracht.

3.2 Kreuzungsverfahren

Die geplanten 86 kontrollierten Kreuzungen wurden in eigens dafür konstruierten Kabinen aus pollenundurchlässigem Vlies durch die Bestäubung jeder einzelnen Blütenrispe mit Hilfe eines Pinsels durchgeführt. Bei 40 dieser Kreuzungen konnten Sämlinge erzeugt werden. Aus Kapazitätsgründen wurde die Anzucht auf maximal 300 Sämlinge pro Kreuzung beschränkt, welche nach vier bis sieben Wochen nach der Keimlingsphase im Gewächshaus in Frühbeetkästen weiter kultiviert wurden. Trotz Bewurzelung der weiblichen Blühreiser kam es vereinzelt zu frühzeitigem Absterben der Samenkapseln bzw. zur unzureichenden Ausreifung der Samen. Bei diesen Kreuzungen wurden die Samen mit Hilfe von „embryo rescue“ zur Keimung gebracht. Bei dieser Methode werden die unreifen Samen unter dem Binokular aus der Samenkapsel herauspräpariert. Nach der Entfernung des Pappus werden die Samen oberflächensterilisiert. Diese sterilisierten Samen werden je nach Reifegrad auf speziellen Nährmedien oder sterilem Quarzsand in einer Phytokammer kultiviert (GEBHARDT, 1996). Durch diese Vorgehensweise konnten Sämlinge von Kreuzungen erhalten werden, die sonst nicht ausgereift wären.

3.3 Genetische und morphologische Bestimmungen

Von allen Absaaten wurden Blattproben zur genetischen und morphologischen Bestimmung genommen. Signifikante Unterschiede in der Wuchslleistung zeigten sich schon in dieser frühen Wachstumsphase sowohl zwischen als auch innerhalb der einzelnen Absaaten. Darüber hinaus konnten aus den Kreuzungen des Jahres 2007 etwa 500 Sämlinge nach den Kriterien Wurzelhalsdurchmesser, Höhe und Pappelblattrostresistenz vorselektiert und für eine Sortenvorprüfung verklont (bis zu 15 Pflanzen pro Klon) werden. Des Weiteren wurden verschiedene Parameter wie beispielsweise Höhe, Brusthöhendurchmesser, Triebanzahl und Blattrostbefall in älteren Versuchsflächen aufgenommen. So konnten aus Kurzumtriebsversuchen, die in den Jahren 2006 und 2007 angelegt worden waren, die besten 36 Klone ausgewählt werden.

Abbildung 2 / Figure 2

Kurzumtriebsversuch „Haferfeld“: Stöcke mit zweijährigem Aufwuchs nach 15maligem Rückschnitt seit 1976

Short rotation coppice „Haferfeld“: rootstocks with two-year-old shoots after pruning 15 times since 1976



Mit diesen Klonen werden im nächsten Jahr (2010) sechs, über ganz Deutschland verteilte Versuchsflächen angelegt. Ebenso wurden mehrere Parameter im ältesten deutschen Kurzumtriebsversuch „Haferfeld“, der 1976 als Sortenprüfung angelegt worden war, in der Nähe von Hann. Münden aufgenommen. Auch nach 16maligem Rückschnitt sind bei den geeigneten Sorten keine Gesundheitsprobleme an den Stöcken bei nach wie vor gutem Zuwachs festzustellen (Abbildung 2). Leider ist in diesem Versuch aufgrund der Ausfälle und der nur zweimaligen Wiederholung eine Hochrechnung auf Hektarwerte nicht statthaft, so dass nur eine gruppenmäßige Einteilung sinnvoll erscheint. In der Gruppe der wüchsigsten Klone sind demnach enthalten: 'Max 3', 'Weser 4', 'Max 1', 'Weser 6', 'Max 4', '127/66', 'Brühl 7', '120/66' und '613/52'.

Ein besonderes Augenmerk wurde neben dem Zuwachskriterium auch auf die Pappelblattrost-Resistenzeigenschaften der zu selektierenden Klone gelegt. So wurde eine Bonitur des Pappelblattrostbefalls bei allen Pflanzen durchgeführt, deren Bewertung in die Selektionsgewichtung mit einfluss. Bei Weiden ist es bereits gelungen, einen genetischen Marker (Mikrosatellit) zu identifizieren, der Auskunft über die Blattrostresistenz geben kann (SHIELD et al., 2007). Die Übertragbarkeit dieses

Markers innerhalb der Familie *Salicaceae* von den Weiden auf die Arten der Gattung *Populus* ist zur Zeit ein Gegenstand der vielfältigen Untersuchungen unseres genetischen Labors.

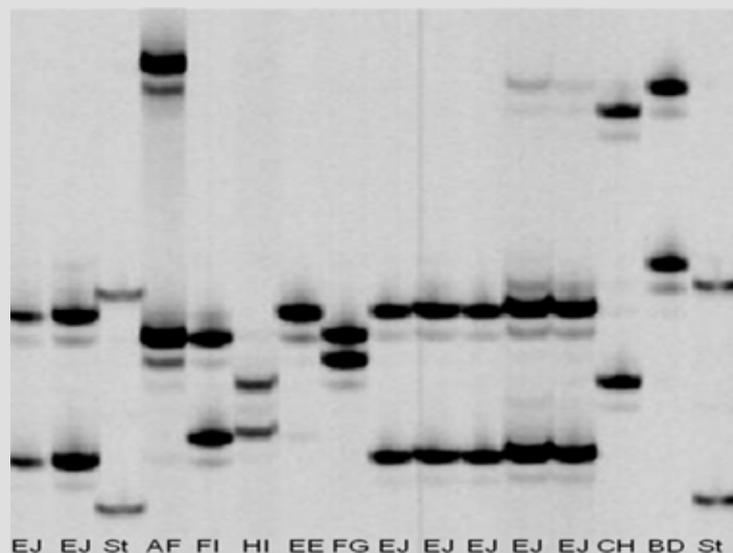
Weitere genetische Untersuchungen befassen sich mit der Artunterscheidung mit Hilfe von PCR-RFLP und der Genotypisierung mittels SSR-Markern. Der Vergleich von Proben des Standard-Klons 'Rochester' von verschiedenen Versuchsflächen und Populanten in Deutschland sowie von Einsendungen aus Belgien, Frankreich und Italien haben ergeben, dass allein am Mikrosatelliten-Genort WPMS_14 sieben unterschiedliche Genotypen nachgewiesen werden können (Abbildung 3). Untersuchungen zu anderen Klone zeigten ebenfalls, dass sich unter einer Bezeichnung teilweise mehrere Klone verbargen (GEBHARDT et al., 2007). Im Sinne des Verbraucherschutzes ist es unerlässlich, die Klonidentität sicherzustellen.

Im Teilprojekt 1 sollen daher nach der Optimierung von nunmehr 27 verschiedenen Mikrosatelliten-Markern alle bearbeiteten Klone genetisch charakterisiert werden, um von Anfang an eine differenzierte Authentifizierung und eine sichere Identifizierung der Klone zu gewährleisten.

Abbildung 3 / Figure 3

Pappelklon 'Rochester'; Bandenverteilung am Genort WPMS_14; unterschiedliche Buchstabenpaare bedeuten verschiedene Klone (BD = Positivkontrolle 'Max 1', St = Standard)

Poplar clone 'Rochester'; banding pattern at gene locus WPMS_14; different letter pairs represent different clones (BD = control clone 'Max 1', St = standard)



4 ZEITLICHE PLANUNG UND RESTRIKTIONEN

Das Verbundprojekt FastWOOD ist ein auf drei jeweils dreijährige Förderperioden angelegtes Vorhaben. Dass dieser Zeitraum für die Durchführung von Züchtungsarbeiten bis hin zur Zulassung geeigneter Sorten sehr knapp bemessen ist, soll die Zeitplanung für die Pappelzüchtung des Teilprojektes 1 verdeutlichen.

Zu Beginn des Verbundvorhabens werden gezielte Kreuzungen durchgeführt, das erhaltene Saatgut gereinigt und ausgesät. Im ersten Jahr erfolgen die Anzucht der Keimlinge und die erste Selektion dieser Absaaten nach Kriterien der Vitalität und des Durchmessers.

Die dadurch ausgesuchten Pflanzen werden am Ende des zweiten Jahres zur Anlage einer zweijährigen Vorprüfung verklont und im Freiland abgesteckt. Diese Klone werden bereits in diesem frühen Stadium künstlichen Resistenztests unterzogen und erneut auf Wuchsleistung sowie Feldresistenz selektiert.

Im fünften Jahr erfolgt die Anlage von Sortenprüfungen auf verschiedenen Versuchsflächen im gesamten Bundesgebiet. Diese Sortenprüfungen

werden auf dreijährigen Umtrieb angelegt und in den folgenden Jahren auf Mortalität hin überprüft.

Ende des siebten Jahres kann die Auswertung der ersten Umtriebszeit durch Aufnahme der Wuchsleistung dieser Klone sowie der Feldresistenz-eigenschaften und Mortalitätsrate erfolgen. Nach Beendigung der Vegetationsperiode werden diese Sortenprüffelder abgeerntet und im darauf folgenden Frühjahr kann die Bewertung der Ausschlagfähigkeit vorgenommen werden.

Die Zulassung der am besten geeigneten Klone kann allerdings erst nach Auswertung der zweiten Umtriebszeit sowie der dritten Selektion auf Leistung, Mortalität, Feldresistenz und Ausschlagfähigkeit, also nunmehr 10 Jahre nach der Kreuzung, erfolgen.

Mit diesen zugelassenen Klonen können ab dem elften Jahr nach der Kreuzung Mutterquartiere und, soweit notwendig, zusätzliche Anbauprüfungen angelegt werden. Also stehen dem Markt frühestens nach 12 Jahren neue Pappelklone zur Verfügung.

5 LITERATUR

ANONYMUS (2007): Nutzungen von Biomasse zur Energiegewinnung – Empfehlungen an die Politik, Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 242 Seiten, www.bmelv.de/cae/servlet/contentblob/382594/publicationFile/23017/GutachtenWBA.pdf.

ANONYMUS (2008): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft – Chancen und Risiken aus Sicht des Naturschutzes. Studie des Naturschutzbundes Deutschland, 70 Seiten, www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/nabu-studie_energieholz.pdf.

ANONYMUS (2009): Ergebnisniederschrift der Agrarministerkonferenz am 18. September 2009 in der Lutherstadt Eisleben, http://www.agrarministerkonferenz.de/uploads/AMK_Ergebnisprotokoll_a75.pdf.

GEBHARDT, K. (1996): Preservation of black poplar by means of embryo rescue. In: Proceedings of the 20th Session of the International Poplar Commission, Budapest, 1-4th October 1996, Ed. István Bach. Vol. II, p.909.

GEBHARDT, K.; KONNERT, M.; WYPUKOL, H. & RATHMACHER, G. (2007): Herkunft und Identifikation der Max-Klone. Posterbeitrag zur Fachtagung: "Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen", 2.-4-7.07, Univ. Freiburg Tagungsband, S.102-103.

JANSSEN, A.; BÖDEN, E. & WALTER, P. (1992): Untersuchungen zur genetischen Variation: Werbung von Buchenknospen für Isoenzymanalysen. AFZ 47: 639.

JANSSEN, A. & WYPUKOL, H. (2009): Neue Sorten braucht das Land! Moderner Niederwald – FastWOOD. AFZ/ Der Wald 64: 307.

SHIELD, I.F.; PEI, M., HANLEY, S.J.; MACALPINE, W.J.; HARRYMAN, R., TRYBUSH, S. & KARP, A. (2007): Genetic Improvement and Breeding of Biomass Willows for the UK. Proceedings Int. Energy-Farming-Congress 13.-15.3.07 in Papenburg / Germany.

KLONIDENTIFIZIERUNG IN DER GATTUNG *POPULUS* L. MIT NUKLEAREN MIKROSATELLITENMARKERN

CLONE IDENTIFICATION WITHIN THE GENUS *POPULUS* L. BY APPLYING NUCLEAR MICROSATELLITE MARKERS

H. Liesebach, V. Schneck & E. Ewald

Johann Heinrich von Thünen-Institut, vTI-Institut für Forstgenetik, D-15377 Waldsiedersdorf

ABSTRACT

The increasing interest in cultivating poplars as an energy crop for biomass production actually requires much effort in breeding programmes, especially for varieties suitable for growth in short rotation systems. Reliable methods for clone identification are desired to characterise and distinguish breeding products within the genus *Populus* L..

Nuclear microsatellite loci were applied on an extensive clone collection with several species and hybrids belonging to the sections *Tacamahaca* (balsam poplars), *Aigeiros* (black poplars, cottonwoods) and *Populus* (white poplars and aspens) as well as intersectional hybrids between black and balsam poplars. The set of loci should have a sufficient amount of variation for differentiating between clones, even they are full siblings originating from crossing experiments. The members of the different sections and species do not always share their

respective allelic ladders. Some shifts of one or two nucleotides in allele length were caused by nucleotide sequence differences in the flanking regions. Such shifts of allelic ladders result in irregular patterns in hybrids.

Keywords: *Populus* L., *Aigeiros*, *Tacamahaca*, clone identification, nuclear microsatellites, SSRs, exclusion probability, allelic dropout

ZUSAMMENFASSUNG

Das zunehmende Interesse am Pappelanbau als Biomasselieferant erfordert erneute Anstrengungen in der Pflanzenzüchtung, besonders für ertragreiche und widerstandsfähige Sorten, die sich im Gegensatz zu früheren Züchtungen für einen Anbau im Kurzumtrieb eignen. Zuverlässige Methoden zur Klonidentifizierung werden benötigt, um Zucht-

produkte innerhalb der Gattung *Populus* L. zu unterscheiden. Durch die Kombination von mehreren hochvariablen genetischen Markern können hohe Ausschlusswahrscheinlichkeiten auch zur Unterscheidung von Vollgeschwistern aus Kreuzungsfamilien erreicht werden. Zur individuellen genetischen Identifizierung haben sich kodominant vererbte, nukleare Mikrosatellitenmarker bewährt.

Diese Marker wurden auf umfangreiches Material einer Klonsammlung mit verschiedenen Arten und Hybriden der Sektionen *Tacamahaca* (Balsampappel), *Aigeiros* (Schwarzpappel) und *Populus* (Aspen und Weißpappel) angewendet. Zahlreiche mehrfach vorhandene Klone wurden dabei gefunden.

Außerdem konnten neben einer Auswertung zur Klonunterscheidung unter Berücksichtigung von art- und sektionsspezifischen Variationsmustern auch taxonomische Informationen gewonnen werden, die teilweise zu einer revidierten Einordnung führten.

Schlagwörter: *Populus* L., *Aigeiros*, *Tacamahaca*, Klonidentifizierung, nukleare Mikrosatelliten, SSRs, Ausschlusswahrscheinlichkeit, Allel-Dropout

1 EINLEITUNG

Für die Züchtung von Klonen für den Kurzumtrieb und die Biomasseproduktion spielen drei Sektionen der Gattung *Populus* sowie deren interspezifische und intersektionelle Hybriden eine große Rolle: *Tacamahaca* (Balsampappel, z. B. *P. trichocarpa*, *P. maximowiczii*), *Aigeiros* (Schwarzpappel, z. B. *P. nigra*, *P. deltoides*) und *Populus* (Aspen und Weißpappel, z. B. *P. tremula*, *P. tremuloides*, *P. alba*).

Es existieren umfangreiche Klonsammlungen und Versuchsflächen als Basis für die Selektion von Klonen für den Anbau und als Elternbäume für weitere Kreuzungen. Dieses vorhandene Material bedarf einer individuellen Charakterisierung ebenso wie neu entstehende Nachkommen aus Kreuzungen, die genetisch charakterisiert werden sollen.

Morphologische Merkmale reichen zur Unterscheidung von eng verwandten Klonen nicht aus, diese werden außerdem nicht nur vom Genotyp, sondern auch von Umweltfaktoren und vom Alter beeinflusst. Durch die Kombination von mehreren variablen genetischen Markern können hohe Ausschlusswahrscheinlichkeiten erreicht werden. Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Proben mit gleichem Marker-Genotyp zufällig identisch sind, muss so gering sein, dass die Zugehörigkeit zu einem Klon als sicher gelten kann. Diese genetischen Marker sollen auch eine individuelle Unterscheidung von eng miteinander verwandten

Vollgeschwistern aus einer Kreuzungsfamilie gewährleisten. Die Marker sollen nicht nur der Klonidentifizierung dienen, sondern auch zur Elternschaftsanalyse bei Nachkommen geeignet sein. Dafür kommen nur kodominant vererbte Marker wie Isoenzyme, nukleare Mikrosatellitenmarker (single sequence repeats, SSRs) oder SNP-Marker (single nucleotide polymorphism) in Frage.

In Tabelle 1 werden die Eigenschaften der drei kodominanten Markertypen verglichen. Derzeit können nur Mikrosatellitenmarker die Anforderungen an eine Klonidentifizierung erfüllen, da Isoenzym-Genorte nicht genügend variabel sind (LIESEBACH & SCHNECK, 2007) und SNP-Marker bisher nur vereinzelt zur Verfügung stehen.

Tabelle 1 / Table 1

Vergleich der Eignung von verschiedenen Markertypen zur Klonidentifizierung

Qualification of different types of genetic markers for clone identification

Isoenzym-Marker	Mikrosatellitenmarker	SNP-Marker
Funktionale Gene (Enzymproteine), kodierend	Im nichtkodierenden Bereich der DNA	Im kodierenden und im nichtkodierenden Bereich
Anzahl begrenzt durch Enzymaktivität und Färbemethoden	Anzahl sehr hoch, praktisch unbegrenzt	Anzahl sehr hoch, praktisch unbegrenzt
Mäßig variabel, ca. 2-8 Allele je Genort	Hochvariabel, ca. 10-30 Allele je Genort	Wenig variabel, maximal 4, aber meistens nur 2 Allele je Genort
Viele Genorte notwendig, gewünschte Ausschlusswahrscheinlichkeiten werden kaum erreicht	Wenige Genorte ausreichend, ca. 10-16 Genorte	Sehr viele Genorte notwendig, mindestens 50 Genorte
Nachteil: manchmal schwierige Unterscheidung der Allele	Nachteil: manchmal schwierige Unterscheidung der Allele	Vorteil: meistens eindeutige Unterscheidung der Allele
Vorteil: geringere Mutationsrate	Vorteil: höhere Mutationsrate	Vorteil: geringere Mutationsrate
Zur Klonidentifizierung nicht ausreichend	Zur Klonidentifizierung geeignet	Klonidentifizierung erst nach ausreichender Markerentwicklung möglich

2 MATERIAL UND METHODEN

Die Klonsammlung des Instituts in Waldsiedersdorf besteht aus 260 Accessionen verschiedener Arten und Hybriden, darunter 54 % Balsampappeln, 12 % Schwarzpappeln, 25 % Aspen und 9 % intersektionelle Hybriden zwischen Balsam- und Schwarzpappeln. Ein großer Teil dieser Sammlung wurde aus dem früheren Institut für Forstwissenschaften Eberswalde übernommen (JOACHIM, 2007) und später mit weiterem Material aus verschiedenen Quellen ergänzt. Außerdem wurde Material aus aktuellen Züchtungsvorhaben in die genetische Charakterisierung einbezogen.

Die Mikrosatellitenmarker zur Klonidentifizierung

wurden nach verschiedenen Kriterien ausgewählt. Zunächst sollten die in anderen Labors bereits etablierten Marker für Schwarzpappeln zum großen Teil mit einbezogen werden (RATHMACHER et al., 2009; WYPUKOL et al., 2008). Außerdem sollten weitere Marker ergänzt werden, so dass auch die anderen relevanten Pappelsektionen mit demselben Satz an Markern charakterisiert werden können. Es wurden dafür solche Genorte aus der Literatur ausgewählt, die bei anderen Untersuchungen bereits eine große genetische Variation in einer oder möglichst mehreren taxonomischen Gruppen der Gattung *Populus* gezeigt haben. Insgesamt 10 Genorte (PMGC14, PMGC456, PMGC2163, PTR2,

PTR7, WPMS05, WPMS09, WPMS14, WPMS15 und WPMS20) wurden in einem praktikablen System so kombiniert, dass sie sich für alle relevanten Pappel-sektionen und Hybriden eignen und die kosten-

intensiven Labormittel effektiv eingesetzt wurden. Alle Labor- und Auswertemethoden sind in LIESEBACH et al. (2010a) detailliert beschrieben.

3 ERGEBNISSE

3.1 Genetische Variation an den untersuchten Mikrosatelliten-Genorten

Die genetische Variation an 10 untersuchten Mikrosatelliten-Genorten in drei ausgewählten taxonomischen Gruppen der Gattung *Populus* ist in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Gruppe der Balsampappelhybriden und der intersektionellen Hybriden wurde hier nicht mit aufgeführt. Die mit

dieser hohen Variation erreichten Wahrscheinlichkeiten für die zufällige Identität nicht verwandter Klone liegen im Bereich von $3,3 \times 10^{-7}$ bis $1,5 \times 10^{-15}$ und für die Identität bei Vollgeschwistern im Bereich von $2,4 \times 10^{-3}$ bis 2×10^{-5} . Das Ziel einer sicheren Klonidentifizierung kann damit erreicht werden.

Tabelle 2 / Table 2

Variation an 10 Mikrosatelliten-Genorten in 3 ausgewählten taxonomischen Gruppen der Gattung *Populus*

Variation at 10 microsatellite loci in 3 selected taxonomic groups of the genus *Populus*

Genort	<i>P. trichocarpa</i> (n=73)		Sektion <i>Aigeiros</i> (n=27)		Sektion <i>Populus</i> (n=51)	
	Anzahl Allele	Heterozygotiegrad H_o	Anzahl Allele	Heterozygotiegrad H_o	Anzahl Allele	Heterozygotiegrad H_o
PMGC14	9	0,55	9	0,96	3	0,31
PMGC2163	16	0,89	12	1,00	10	0,76
PMGC456	29	0,93	3	0,74	-	-
PTR2	7	0,49	3	0,81	8	0,45
PTR7	11	0,69	12	0,85	20	0,53
WPMS05	7	0,59	13	0,89	16	0,88
WPMS09	13	0,79	14	0,48	-	-
WPMS14	19	0,82	16	0,96	11	0,88
WPMS15	4	0,55	5	0,96	6	0,78
WPMS20	4	0,32	7	0,81	4	0,73
Mittelwert	11,9	0,66	9,4	0,85	9,8	0,67

Bei 4 der insgesamt 10 Genorte (PMGC14, PMGC2163, WPMS09 und WPMS20) wurden Verschiebungen der typischen Fragmentlängen der Allele zwischen einzelnen Pappelsektionen oder -arten festgestellt (LIESEBACH et al. 2010a). Am Beispiel des Mikrosatelliten-Genorts PMGC14 zeigt die Abbildung 1 eine Insertion eines Nukleotids „C“

bei *P. nigra* im Vergleich zu *P. trichocarpa* als Ursache für die Verschiebung der allelischen Leitern (Abbildung 2). Solche Verschiebungen können ebenso wie die Existenz einer Anzahl von arttypischen Allelen an mehreren Genorten zur Klärung taxonomischer Fragen beitragen.

Abbildung 1 / Figure 1

Ausschnitt aus den DNA-Sequenzen von 3 *P. trichocarpa*-Klonen und 2 *P. nigra*-Klonen am Genort PMGC 14
Section of the DNA sequence of 3 *P. trichocarpa* clones and 2 *P. nigra* clones at the locus PMGC14

Mikrosatelliten-Genort PMGC14

...

P_trichocarpa_AARH01005549	GGTCATACTTCC-ACCATGCCCTAAAGAAAGAA
P_trichocarpa_GQ402029	GGTCATACTTCC-ACCATGCCCTAAAGAAAGAA
P_trichocarpa_GQ402030	GGTCATACTTCC-ACCATGCCCTAAAGAAAGAA
P_nigra_GQ402028	GGTCRTACTTCCACCATGCCCTAAAGAAAGAA
P_nigra_GQ402027	GGTCRTACTTCCACCATGCCCTAAAGAAAGAA

Grün: die unterschiedliche Anzahl an Wiederholungen der Sequenz „GAA“ ist verantwortlich für die allelische Variation;
Rot: die Insertion des Nukleotids „C“ bei *P. nigra* führt zur Verschiebung der allelischen Leitern um 1 Nukleotid im Vergleich zu Balsampappeln

P_trichocarpa_AARH01005549	GAAGAAGAAGAAGAAGAAGAAGAAGAAG
P_trichocarpa_GQ402029	GAAGAAGAAGAAGAAGAAGAA-----AAG
P_trichocarpa_GQ402030	GAAGAAGAAGAAGAAGAAGAA-----AAG
P_nigra_GQ402028	GAAGAAGAAGAAGAAGAA-----
P_nigra_GQ402027	GAAGAAGAAGAAGAAGAAGAA-----AKG

Green coloured: The different number of repeats of the sequence "GAA" is responsible for allelic variation;
red coloured: Insertion of nucleotide "C" in *P. nigra* causes the shift of allelic ladders in comparison to balsam poplars

...

Ein anderes bisher kaum beachtetes Phänomen ist der sog. Allel-Dropout. Hierbei kann es vorkommen, dass von 2 Allelen eines heterozygoten Genotyps nur eines der beiden Allele in der Analyse sichtbar wird. In der Fachliteratur werden mehrere mögliche Ursachen dafür diskutiert (siehe auch LIESEBACH et al., 2010b).

Allel-Dropouts müssen bei der Datenauswertung immer in Betracht gezogen werden. Proben, die sich nur in solchen Fällen unterscheiden, können nicht als verschieden identifiziert werden.

Die Abbildung 3 zeigt das Beispiel eines Aspenklons, der in der untersuchten Klonsammlung nachweislich zweimal unter verschiedenen Bezeichnungen vorhanden ist. Er weist an allen Genorten identische Genotypen auf, am Genort PTR2 fehlt jedoch bei einer Probe eines der beiden Allele. Mögliche

Abbildung 2 / Figure 2

Beispiel für die Verschiebung von allelischen Leitern zwischen *P. nigra* und Balsampappeln am Genort PMGC14
Example for a shift of allelic ladders between *P. nigra* and balsam poplars at locus PMGC14

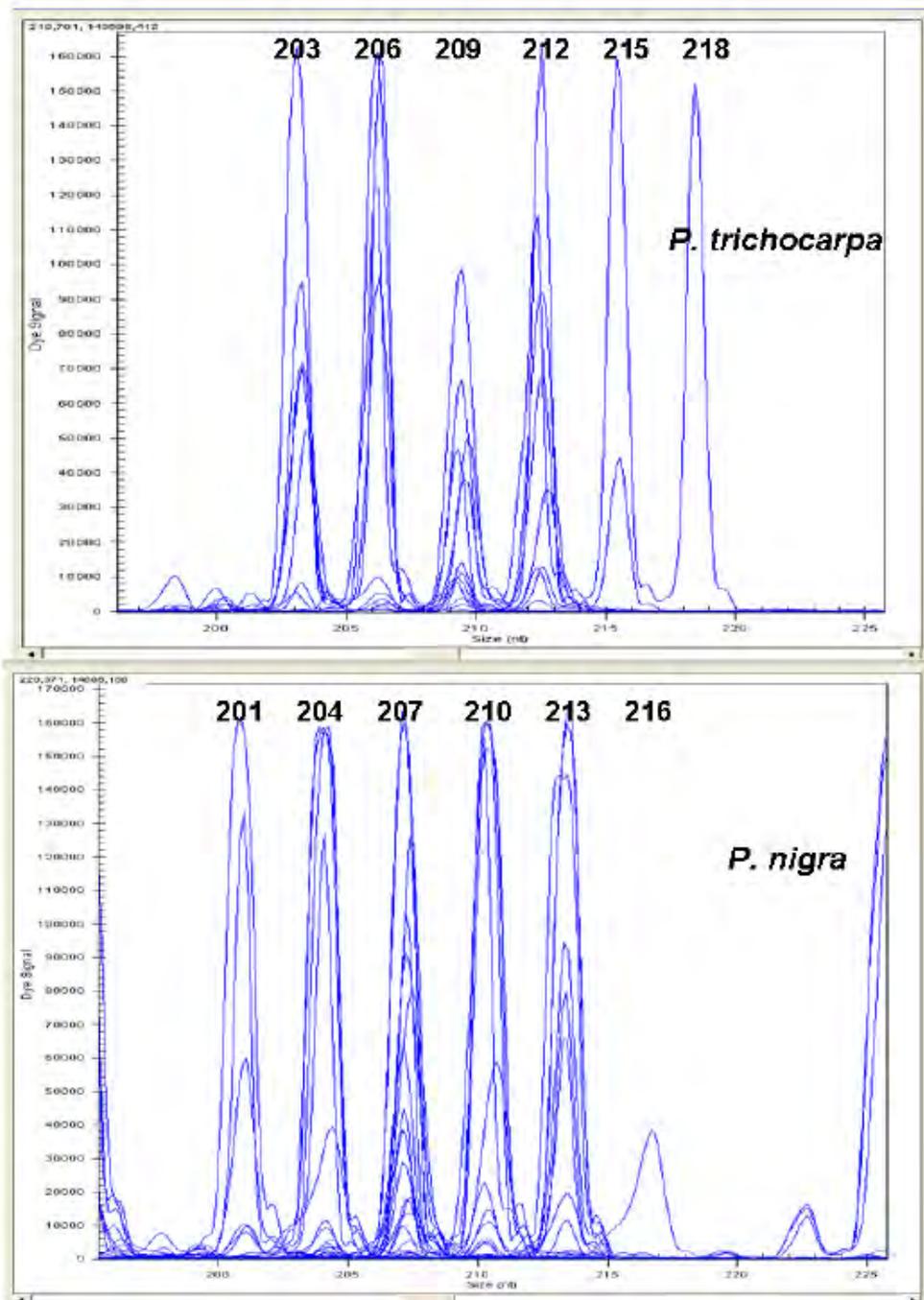
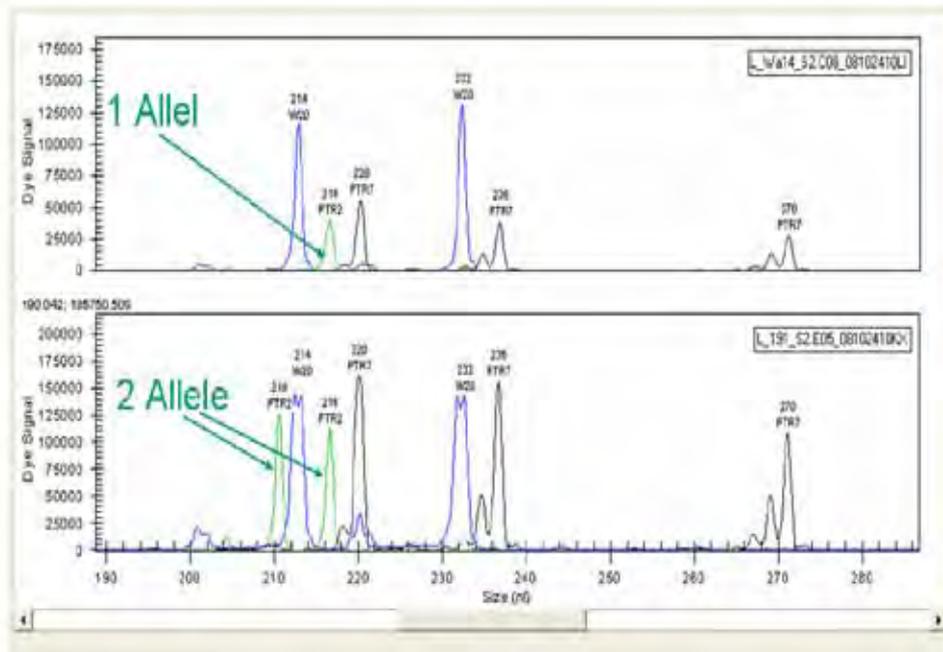


Abbildung 3 / Figure 3

Beobachtung eines Allel-Dropouts an Proben von zwei Pflanzen desselben Klon: vollständige Übereinstimmung des Genotyps an allen Genorten bis auf eine Ausnahme am Genort PTR2

Observation of an allelic dropout at samples of two plants of one and the same clone: complete concordance of genotypes at all loci, only one exception at locus PTR2



3.2 Anwendungsbeispiele

Nach der vollständigen genetischen Charakterisierung der Klonsammlung auf dem Gelände des Instituts Waldsieversdorf hat sich herausgestellt, dass es sich nicht um 260 Klone handelt, sondern vielmehr nur 180 verschiedene Multilocus-Genotypen vorhanden sind. Bei einigen Klonen war aus älteren Aufzeichnungen schon bekannt, dass Wiederholungen unter verschiedenen Bezeichnungen in der Klonsammlung vorkommen. Es sind jedoch weit mehr Wiederholungen gefunden worden als ursprünglich angenommen, einige Klone sind sogar 5-fach vertreten. Bei diesen handelt es sich vor allem um bekannte kommerzielle Klone, wie z. B. 'Fritzi Pauley', Brühl1 (*P. trichocarpa*) oder 'Grandis' (*P. deltooides* × *P. nigra*), die durch den Austausch zwischen Instituten in früheren Jahrzehnten mehrfach in die Sammlung gelangt sind, deren korrekte Bezeichnung offensichtlich häufig verloren ging und durch Nummern ersetzt wurde. Eine weitere Ursache für mehrfach vorhandene Klone ist

auch die Fähigkeit von Aspen zur Bildung von Wurzeläusläufern. Besonders wüchsige Klone waren teilweise auf benachbarten Pflanzplätzen oder in der Nachbarreihe anzutreffen.

Da viele der eingesetzten Mikrosatellitenmarker neben ihrem Beitrag zur Klonunterscheidung auch taxonomische Informationen liefern, waren einige Widersprüche zwischen Genotyp und bisheriger taxonomischer Zuordnung aufgefallen. Bei 9 dieser Klone wurde im Sommer 2009 anhand der morphologischen Merkmale der Blätter die taxonomische Zuordnung korrigiert.

Bei einigen Klonen wurden an einem oder mehreren Genorten 3 Allele gefunden, darunter die als triploid bekannten Klone 'Astria' und 'L433'. Bei weiteren Klonen mit 3 Allelen ist eine Abweichung im Ploidiegrad noch nicht bekannt. Diese Proben sollen mit der Methode der Flowcytometrie näher untersucht werden.

Mikrosatellitenmarker wurden auch angewendet, um bei Kreuzungsnachkommen, die z. B. mit „embryo rescue“ gewonnen wurden, den Nachweis der korrekten Elternschaft zu erbringen.

4 FOLGERUNGEN

Das eingesetzte Set an 10 Mikrosatellitenmarkern hat sich zur Klonidentifizierung in den für die aktuellen Züchtungsvorhaben relevanten Pappel-sektionen bewährt. Die bisherigen Erfahrungen haben gezeigt, dass mögliche Allel-Dropouts in die Betrachtung einzubeziehen sind. Der Verdacht auf Allel-Dropout beim Vergleich von Proben führt zum Ausschluss von Genorten aus der Auswertung. Die verbleibenden Genorte müssen aber für sichere Aussagen immer noch eine ausreichende Ausschlusswahrscheinlichkeit haben. Aus diesem Grund und weil die Ausschlusswahrscheinlichkeiten bei Vollgeschwistern, insbesondere bei Aspen und Graupappeln, teilweise noch nicht zufriedenstellend waren, wurden weitere Marker ergänzt. Die nun angewendete Methode mit 14 bis 16 Markern (LIESEBACH et al., 2010a) wird nicht nur zur Klonidentifizierung eingesetzt, sondern auch zum Nachweis erfolgreicher Kreuzungen u. a. bei der *in vitro*-Befruchtung und embryo rescue oder zur Charakterisierung von polyploidem Züchtungsmaterial.

Als Aufgabe für die Zukunft bleibt bestehen, durch die Zusammenarbeit der verschiedenen forstgenetischen Labors gemeinsame Standards zu erarbeiten, Referenzmaterial auszutauschen und mit Ringtests, an denen sich mehrere Labors beteiligen und die gleichen Proben unter verschiedenen Bedingungen analysieren, zum Erkennen von Mängeln und zur weiteren Optimierung des Verfahrens beizutragen. Es sollte auch möglich sein, eine Abschätzung der Häufigkeit von Allel-Dropouts vorzunehmen, indem Daten aus Ringtests auch anderer Baumarten verglichen werden.

Die Methode der genetischen Charakterisierung mit nuklearen Mikrosatelliten kann nicht nur für verschiedene Identifizierungsfragen im Züchtungsprozess eingesetzt werden, sondern auch zur Kontrolle beim Vertrieb von Vermehrungsgut.

5 LITERATUR

JOACHIM, H.-F. (2007): Zur Pappel- und Weidenforschung und zum Anbau dieser schnellwüchsigen Baumarten. Umweltschutz in der DDR, Band 2: Mediale und sektorale Aspekte, Oekom Verlag, München, S.107–126.

LIESEBACH, H. & SCHNECK, V. (2007): Genetische Charakterisierung von Klonen der Gattung *Populus* im Erhaltungsmutterquartier Waldsiedersdorf. Jahresbericht, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, S.41-42.

LIESEBACH, H., SCHNECK, V. & EWALD, E. (2010a): Clonal fingerprinting in the genus *Populus* L. by nuclear microsatellite loci regarding differences between sections, species and hybrids. *Tree Genetics & Genomes*, Vol. 6, DOI: 10.1007/s11295-009-0246-5.

LIESEBACH, H., NAUJOKS, G. & EWALD, D. (2010b): Successful hybridisation of hybrid aspen (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) and eastern cottonwood (*P. deltoides*). [zur Veröffentlichung eingereicht].

RATHMACHER, G., NIGGEMANN, M., WYPUKOL, H., GEBHARDT, K., ZIEGENHAGEN, B. & BIALOZYT, R. (2009): Allelic ladders and reference genotypes for a rigorous standardization of poplar microsatellite data. *Trees - Structure and Function*, Vol. 23, pp.573-583.

WYPUKOL, H., LIEPELT, S., ZIEGENHAGEN, B. & GEBHARDT, K. (2008): Genetische Methoden zur Abstammungsanalyse und Prüfung von Sortenechtheit und –reinheit. Herkunftskontrolle an forstlichem Vermehrungsgut mit Stabilisotopen und genetischen Methoden. In: K. GEBHARDT, NW-FVA (Hrsg.): Herkunftskontrolle an forstlichem Vermehrungsgut mit Stabilisotopen und genetischen Methoden. Tagungsband zum Symposium „Herkunftskontrolle“ am 7.–8. Februar 2008 in Kassel. ISBN 978-3-00-024808-5, S.67-84.

SORTENPRÜFUNG VON PAPPELKLONEN – VORAUSSETZUNG FÜR EINEN ERFOLGREICHEN ENERGIEHOLZANBAU

TESTING OF CULTIVARS OF POPLAR (*POPULUS SPEC.*) CLONES – QUALIFICATIONS REQUIRED FOR SUCCESSFULLY CULTIVATING SHORT ROTATION ENERGY WOOD

R. Schirmer

Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP) Teisendorf, D-83317 Teisendorf/Obb.

ABSTRACT

Energy forests are forest plantations preliminary containing poplar (*Populus spec.*) cultivars which produce 10 – 12 tons dry matter per ha on agricultural land during an about 5-year-rotation period. Besides the growing site the exclusive use of clones tested according to the forest reproductive material regulations (FoVG) are crucial for economic success. Only tested clones provide adequate security, e.g. against extensive fungal infection at simultaneous high increment. Foreign vendors of cuttings often present non-tested cultivars. The Italian AF-clones do not accomplish the criteria of category “tested”, and consequently they are not approved for distribution in Germany. The Bavarian Office for Forest Seeding and Planting (ASP) in Teisendorf carries out tests for the qualification of foreign cultivars on cultivar test plots in order to set up approvals and recommendations for the cultivars.

First results comprising losses, growth and flushing performance as well as resistance towards biotic

and abiotic impairment are presented. Many foreign cultivars do not show higher performance than the tested and recommended standard clones in Germany. The use of foreign cultivars thus frequently does not bring about higher increments but encounters an increased risk of fungal attack.

Keywords: Poplar, *Populus spec.*, clone testing, energy wood, coppice, rotation period, forest reproductive material regulations

ZUSAMMENFASSUNG

Energiewälder sind forstliche Kulturen vorwiegend aus Pappelsorten, die in ca. 5-jährigem Umtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen 10 – 12 t Trockenmasse/ha produzieren. Neben dem Standort ist die ausschließliche Verwendung nach Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) geprüfter Klone entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg. Nur geprüfte Klone bieten ausreichend Sicherheit z.B. gegen flächigen Pilzbefall bei gleichzeitig hohen

Zuwächsen. Ausländische Steckholzanbieter bieten oftmals nicht geprüfte Sorten an. Die italienischen AF-Klone erfüllen bislang nicht die Kriterien der Kategorie „geprüft“ und sind daher in Deutschland nicht vertriebsfähig. Das Bayerische Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP) in Teisendorf testet auf Sortenprüffeldern die Eignung ausländischer Sorten, um Sortenzulassungen bzw. –empfehlungen abgeben zu können.

Erste Ergebnisse hinsichtlich Ausfällen, Wuchsleistung, Austriebsverhalten und Resistenz gegen biotische und abiotische Schädigung werden vorgestellt. Viele ausländische Sorten sind nicht

leistungsfähiger als die derzeit in Deutschland geprüften und empfohlenen Standardklone. Die Verwendung ausländischer Sorten wird daher oftmals nicht mit Mehrzuwächsen, sondern eher mit einem erhöhten Risiko hinsichtlich Pilzbefall erkaufte.

Schlagwörter: Pappel, *Populus spec.*, Sortenprüfung, Energieholz, Niederwaldbetrieb, Umtriebszeit, Forstvermehrungsgutrecht

1 EINLEITUNG

Energiewälder sind forstliche Kulturen vorwiegend auf landwirtschaftlichen Flächen, die niederwaldartig in kurzen, maximal 20-jährigen Umtriebszeiten bewirtschaftet werden (Abbildung 1).

Bei Einhaltung dieser Umtriebszeiten erfolgt trotz Anpflanzung von Waldbäumen kein Wechsel der Nutzungsart. Energiewälder behalten den Rechtsstatus einer landwirtschaftlichen Fläche. Vor der Anlage ist in Bayern jedoch eine behördliche Genehmigung zur Anlage einer Kurzumtriebskultur notwendig, da die Flächen bei Überschreiten der 20-Jahresfrist rechtlich zu Wald werden und somit die gesetzlichen Voraussetzungen für eine Erstaufforstung geprüft werden müssen. In anderen Bundesländern gibt es z.T. abweichende Regelungen.

Ziel dieser modernen, im Stockausschlagbetrieb bewirtschafteten Niederwälder ist die Produktion von Energieholz in Form von Hackschnitzeln.

Die Kurzumtriebsplantagen bestehen im Regelfall aus Pappelhybriden. Bei Umtriebszeiten von ca. 5 – 7 Jahren sind mit geprüften Klonen auf guten Wiesen- bzw. Ackerstandorten jährlich etwa 10 – 12 t Trockenmasse/ha erzielbar. Vereinzelt kommen auch Weidensorten zum Anbau. Bei vergleichbaren Umtriebszeiten und Pflanzverbänden beträgt die flächenbezogene Massenleistung der Pappel jedoch das Dreifache der Erträge von Weide.

Andere stockausschlagfähige Baumarten wie Robinie (*Robinia pseudoacacia*) und Erle (*Alnus sp.*) produzieren wegen späterer Kulmination des Zuwachses erst ab Umtrieben über 10 Jahren ausreichend Biomasse. Sie sind besser als klassischer Niederwald denn als „landwirtschaftliche“ Kultur geeignet.

Abbildung 1 / Figure 1

Typischer Energiewald
Typical „energy forest“



2 PAPPELSORTEN ENTSCHEIDEN ÜBER ANBAUERFOLG

Voraussetzung für leistungsfähige Energieholzkulturen sind geprüfte Pappelsorten. Sie werden nach intensiver Bodenvorbereitung und konsequenter Kontrolle der Begleitvegetation auf gut wasserversorgten Standorten ausgebracht.

Besonders die Auswahl der Pappelsorten entscheidet über die Wirtschaftlichkeit von Energieholzanzpflanzungen, da Energieholzkulturen – im Gegensatz zu einjährigen landwirtschaftlichen Kulturen – wirtschaftlich nur erfolgreich sind, wenn die Pflanzen über mindestens 2 - 3 Umtriebszeiten hohe Wuchseleistungen erbringen. Zwischen den verschiedenen Klonen bestehen erhebliche genetisch bedingte Unterschiede hinsichtlich Anwuchsverhalten, Krankheitsanfälligkeit, Stockausschlagvermögen, Austriebseigenschaften und vor allem beim Zuwachsverhalten.

Energieholzpappeln sind i.d.R. F1-Hybride von ausgewählten Mutterbäumen der Balsampappel (*P. maximowiczii*; *P. trichocarpa*) und der

Schwarzpappel (*P. nigra*; *P. deltooides*). Durch ihre vegetative Vermehrung sind alle Pflanzen einer Sorte genetisch identisch. Der großflächige Anbau dieser Klone ist daher mit besonderen Risiken insbesondere hinsichtlich der Krankheitsanfälligkeit verbunden. Der Befall mit Pilzen (Rostpilze, *Dothichiza*-Arten etc.) führt von deutlichen Ertragsverlusten bis hin zum flächigen Ausfall. Pappelsorten dürfen deshalb nach den Verbraucherschutzbestimmungen des Forstvermehrungsgutgesetzes (FoVG) nur in der Kategorie „Geprüft“ zugelassen und vermarktet werden.

Folgende Kriterien müssen durch Energieholzpappeln erfüllt werden:

- rasches Jugendwachstum: Anwuchshöhen von mindestens 1,5 m im Pflanzjahr sollten erreicht werden. 30 – 40 fm/ha jährlich sind in den ersten Jahren realistische Massenzuwächse.
- Vermehrbarkeit durch Steckhölzer für eine preisgünstige Flächenanlage,
- intensives Stockausschlagvermögen und
- hohe Schädlingsresistenz gegen Pilze.

3 UNTERSCHIEDLICHE EU-RECHTSSTANDARDS FÜR ENERGIEHOLZPAPPELN

Die EU-Richtlinie 105/1999 zum Handel mit forstlichem Vermehrungsgut regelt die Voraussetzungen für die Zulassung und den Vertrieb von Steckholzmaterial. Sie wird jedoch in den einzelnen EU-Ländern unterschiedlich ausgelegt.

Beispielsweise in Frankreich, Ungarn und Deutschland sind auch für Kurzumtriebszwecke grundsätzlich nur geprüfte Sorten vertriebsfähig. Verbraucherschutzinteressen haben in diesen Ländern einen hohen Stellenwert. Pappelsteckhölzer der FoVG-Kategorie „Qualifiziert“ dürfen in Deutschland nicht vertrieben werden, da sie keine hinreichende Gewähr für Leistungsfähigkeit und Krankheitsresistenz bieten.

Der Waldbesitzer bzw. Landwirt kann sich darauf

verlassen, nur langjährig bewährte Sorten zu erhalten, die schädlingsresistent sind und hohe Erträge erwarten lassen.

In Österreich und Italien werden Pappelstecklinge für Energiewälder dagegen ohne rechtliche Vorgaben gehandelt. In Österreich können in Energieholzanzpflanzungen mit Umtriebszeiten bis zu 30 Jahren unbekannte „Sorten“ oder Sortenmischungen angebaut werden, die keiner Herkunftskontrolle unterliegen. Der Endabnehmer trägt das volle Risiko, ggf. ungeeignetes Material zu erhalten. Zudem werden Sorten in Österreich z.T. unter anderen als den offiziellen Zulassungsnamen verkauft. Die deutschen Standardsorten „Max“ laufen hier unter der Bezeichnung „Japan 104/105“.

4 SORTENPRÜFUNG UNVERZICHTBAR!

Voraussetzung für eine Sortenprüfung ist die eindeutige genetische Identifizierbarkeit des jeweiligen Klons. Geprüft werden vor allem Krankheitsresistenz, Anwuchs- und Wiederaustriebsverhalten sowie Massenzuwachs. Sortenprüfung unter regionalen Standortbedingungen ist die Grundlage für die Zulassung und Erarbeitung von Sortenempfehlungen (analog den Herkunftsempfehlungen für die forstlichen Hauptbaumarten). Sie ermöglicht die Erweiterung der verfügbaren Palette von Klonen.

Geprüfte Sorten sind EU-weit vertriebsfähig. Bei im EU-Ausland als geprüft zugelassenen Sorten muss hinterfragt werden, ob diese Prüfung unter Standortbedingungen wie am vorgesehenen Anbauort erfolgt ist.

Die Beachtung der Sortenempfehlungen bedeutet für den Land- bzw. Forstwirt erhöhte Betriebssicherheit und Leistungsfähigkeit seiner Energieholzkulturen.

Derzeit haben Stecklingsproduzenten in Italien und Österreich ein hohes eigenwirtschaftliches Interesse an der Verbringung von bislang nicht geprüften Sorten nach Deutschland. Steckholzsorten werden unter Umgehung der Bestimmungen des FoVG direkt aus dem EU-Ausland an deutsche Landwirte als Endabnehmer verkauft, da das FoVG nur den Vertrieb durch in Deutschland angemeldete Firmen untersagen kann.

Sortenprüfung und Zulassung nach FoVG erfolgt im Interesse des Verbraucherschutzes. Sie sichert aber auch das Qualitätsniveau von Baumschulen, die Stechhölzer vertreiben. Die Prüfung ausländischer Klone steht im Fokus von Baumschulen und Endabnehmern. Besonders die AF-Klone aus Italien werden derzeit intensiv beworben. Fast alle AF-Klone sind bislang in keiner Kategorie der EU-Richtlinie bzw. des FoVG zugelassen. Nur der Klon AF 2 wurde in Italien in der FoVG-Kategorie „Qualifiziert“ eingewertet. Die AF-Klone sind daher in Deutschland bislang nicht vertriebsfähig. Für den heimischen Verbraucher stellt sich die Frage, ob diese in der italienischen Poebene oftmals mit intensiver Bewässerung angebauten Klone auch

unter unseren Standortbedingungen geeignet sind.

Das Bayerische Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP) Teisendorf betreut zahlreiche Sortenprüffelder mit deutschen, italienischen, französischen und belgischen Klonen. Ziel ist die Zulassung nach FoVG bzw. die Erarbeitung von Sortenempfehlungen für ausländische Klone.

Ergänzend zu den Prüfungen hat das ASP ein Pappelklonkataster aufgebaut, in dem die genetischen Charakteristika der gängigsten Sorten für Vergleichs- und Kontrollzwecke gespeichert sind. Die Beschreibung der Klone erfolgt auf der Grundlage von Isoenzym- und DNA-Analysen. Das Klonkataster wird laufend durch neue Klone ergänzt.

Erfolgreiche Sortenprüfung setzt voraus, dass der geprüfte Klon widerstandsfähig gegen Pilzbefall ist und Wuchsleistungen erbringt, die zumindest in etwa das Niveau der momentan in Deutschland erfolgreich angebauten geprüften Standardklone (Max 1, Max 3, Max 4; Hybride 275) erreichen.

Das Zulassungsverfahren setzt einen Beobachtungszeitraum von mindestens 5 Jahren voraus. Empfehlenswert ist die Beurteilung des Klons nach der ersten Ernte. Nach diesem Zeitraum kann eine vorläufige, auf maximal 10 Jahre begrenzte Zulassung ausgesprochen werden. Die Zulassungsanträge werden durch den „Sachverständigenbeirat für geprüftes Vermehrungsgut“ fachlich geprüft. Die rechtliche Umsetzung der Zulassung erfolgt danach durch die Landesstellen nach FoVG.

5 ERGEBNISSE VON SORTENPRÜFUNGEN IN DER ANWUCHSPHASE

Die Beobachtung der Entwicklung auf den Sortenprüffeldern zeigt folgende erste Ergebnisse:

5.1 Anwuchsverhalten

Die genannten Standardklone sind auf den Prüfflächen zu über 90 % angewachsen. Die meisten italienischen Sorten zeigten ebenfalls geringe Ausfälle im Pflanzjahr. Klone wie Sirio und

Androscoggin wiesen jedoch nur um 80 % Anwuchs auf. Schlusslicht war der Italienklon Lux, bei dem sich nur wenig mehr als die Hälfte der Steckhölzer erfolgreich angewurzelt haben.

5.2 Länge der Vegetationszeit

Die Bonitierung der Länge der Vegetationszeit ergab deutliche genetische Unterschiede der Sorten im Austriebs- und Abschlussverhalten. Im Jahr 2008 hatten die Standardklone Max und Hybride 275 am 22. April vollständig ausgetrieben. Zahlreiche italienische Klone trieben erst 14 Tage später aus. Der Unterschied zwischen spät- und frühtreibenden Sorten betrug bis zu 28 Tage (Abbildung 2).

Beim Abschluss der Vegetationsperiode sind ebenfalls große genetisch bedingte Klonunterschiede zu beobachten: Während Max 4 beispielsweise einen frühen Blattfall zeigt, stehen viele Italienklone etwa 2 Wochen länger im Laub. AF 2 zeigte am 10. November noch 50 % unverfärbte Belaubung. Standorte mit Nass-Schnee oder Frühfrösten sind für diese Klone daher ungeeignet.

Abbildung 2 / Figure 2

Austriebsunterschiede bei Pappelhybriden (Beurteilungszeitraum 26.3. - 14.5. 2008)

Difference concerning flushing in poplar hybrids (as observed during 26.3. - 14.5.2008)



5.3 Wuchsleistung

Die Untersuchung der italienischen Schwarzpappelhybriden AF 12 bis AF 21 zeigte im Anwuchsjahr sowohl in Mutterquartieren als auch auf Prüffeldern eine geringere Höhenwuchsleistung als der Standardklon Max 3, jedoch deutlich bessere Wuchsleistungen als heimische autochthone Schwarzpappeln. Insgesamt lagen die Standardklone Max und Hybride 275 über dem Flächenmittel, gefolgt von den belgischen Sorten. Das Mittel der Gruppe der italienischen Klone lag geringfügig unter dem Flächendurchschnitt (Abbildung 3).

Die Klone AF 2 und Pegaso erreichten im ersten und zweiten Wuchsjahr auf unterschiedlichen Standorten das Leistungsniveau der Standardklone Max und

Hybride 275. Ihre Leistung war jedoch stark standortsabhängig.

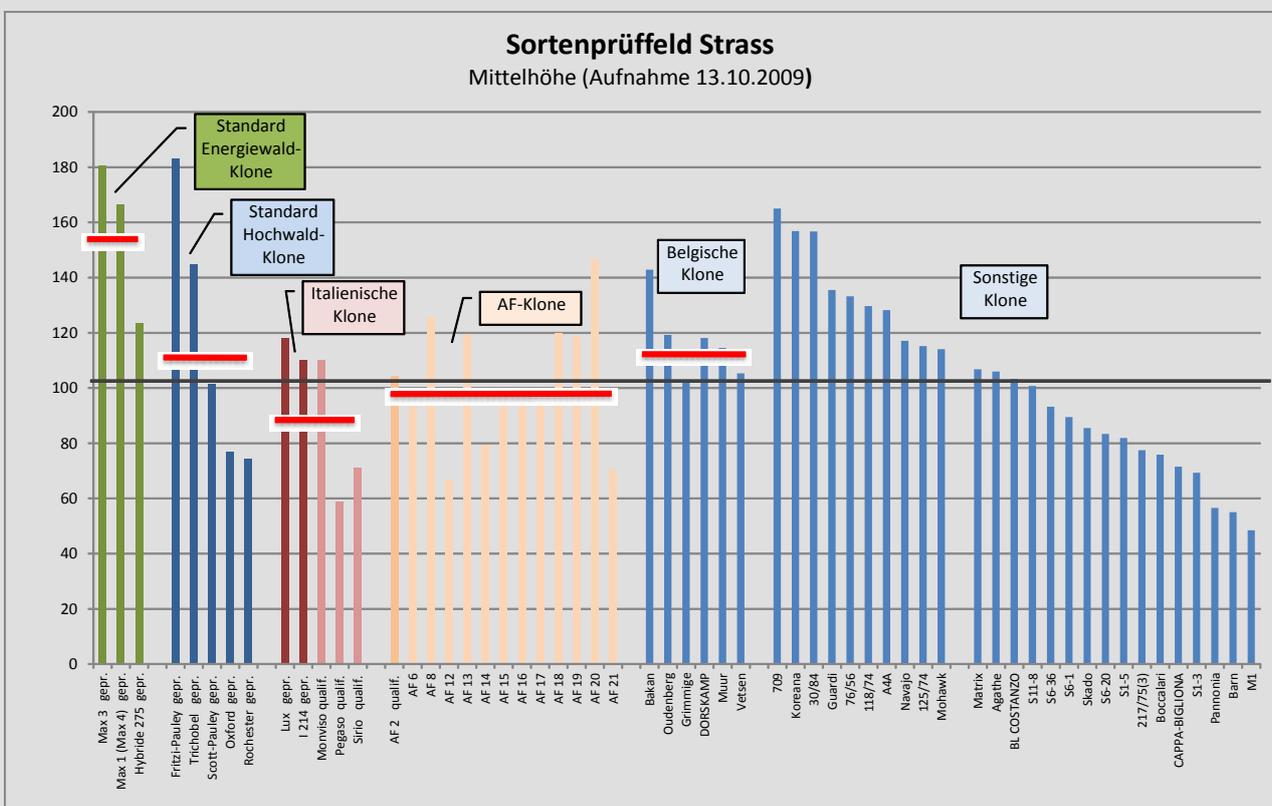
Der Vergleich von Klonen auf verschiedenen Prüfflächen zeigt diesen deutlichen Einfluss des Standorts. Auf dem Prüffeld Großostheim (Lößstandort) erreichten ausgewählte italienische Sorten bereits im 2. Wuchsjahr Mittelhöhen von 5,95 m, während die gleichen Sorten im Versuchsfeld Coburg (strenger Tonboden) in diesem Zeitraum nur 1,95 m aufwiesen. Auf warmen, gut nährstoffversorgten Standorten übertrafen einzelne Italienklone in ihrer Durchmesserentwicklung die deutschen Standardklone.

Eine abschließende Bewertung erfolgt nach der ersten Beerntung.

Abbildung 3 / Figure 3

Austriebsunterschiede bei Pappelhybriden (Beurteilungszeitraum 26.3. - 14.5. 2008)

Differences concerning flushing in poplar hybrids (as observed during 26.3. - 14.5.2008)



5.4 Pappelblattrost beeinträchtigt Zuwachs

Rostpilzarten können das Wachstum von Pappelsorten sehr stark beeinflussen: Frostempfindlichkeit, Zuwachsrückgänge und erhöhte Disposition für Sekundärschädlinge sind die Folge. Stark befallene Pappelklone können daher nicht in der Kategorie „Geprüft“ zugelassen werden. Der Befall nimmt zum Spätsommer hin zu und kann auch witterungsbedingt in verschiedenen Jahren unterschiedlich stark ausfallen.

Die Standardsorten Max und Hybride 275 zeigen hohe Resistenz. Bei einer Aufnahme im Spätsommer 2009 wurde dagegen bei AF 2 und AF 8 mittelstarker, bei AF 15 starker Befall beobachtet.

Abbildung 4 / Figure 4

Flächiger Ausfall von Pappelklonen in Folge von Pilzerkrankungen

Extensive loss of poplar clones as a result of fungal diseases



6 AUSBLICK UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Erweiterung der Sortenpalette für Energieholzplantagen ist eine wichtige Fragestellung, um künftig in verstärktem Umfang Energie vom Feld erzeugen zu können. Vorrangig sollten Landwirte zunächst auf in Deutschland geprüfte Klone zurückgreifen, um das Betriebsrisiko niedrig zu halten. Die Entwicklung ausländischer Klone auf den Prüffeldern lässt eine Erweiterung der künftig vertriebsfähigen Sorten erwarten. Bei ausgewählten Italienklonen ist mit einer Zulassung zu rechnen, wenn sich ihre derzeit positive Entwicklung bis zum Abschluss der 1. Umtriebszeit fortsetzt. Ihre Verwendung muss aber durch Anbauempfehlungen eingeschränkt

werden, da diese Klone vorrangig für warme Standorte geeignet erscheinen und damit kein so breites standörtliches Anbauspektrum aufweisen wie die derzeit bevorzugt angebauten Maxklone.

ZÜCHTERISCHE VERBESSERUNG VON WEIDENSORTEN FÜR DEN KURZUMTRIEB

GENETIC IMPROVEMENT OF WILLOW VARIETIES FOR USE IN SHORT ROTATION FORESTRY

K. Gebhardt, S. Fehrenz, U. Frühwacht-Wilms & A. Janßen

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Abt. Waldgenressourcen, D-34346 Hann. Münden

ABSTRACT

Activities and results of a new willow breeding project in Germany (FKZ: 22012409 PT-FNR) funded by the Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (German Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection) are described. Different breeding strategies are discussed. The prerequisites and practical measures that lead to breeding success include the knowledge of reproductive biology, the control of the development of male flowers, the early extraction of sufficient amounts of pollen, the rooting of female shoots with flowering inflorescences, the performance of controlled crosses and the extraction of seeds from open pollination. For the crossing experiments and selection about 350 clones from 42 willow species are available. According to recent observations and literature data clones of the species *Salix viminalis*, *S. alba*, *S. fragilis*, *S. x tinctoria*, *S. malisii*, *S. japonica*, *S. caprea*, *S. triandra*, *S. daphnoides*, *S. x smithiana*, *S. x rubens*, *S. x helix*, *S. x alopecuroides* and triple hybrids such as *S. dasyclados* have a high potential of biomass production. The optimization of germination was achieved through the use of sea sand in petri dishes. Also the application of „embryo rescue“ was helpful. Storage of seeds was possible both at 20 °C or 40 °C and after freezing in liquid nitrogen. Parallel to the breeding of new varieties a clonal

field test in the form of a block experiment with 34 varieties in three replicates (N = 2.448) was established. Promising varieties will be mass propagated *in vitro* in order to reach the high number of propagules necessary for nationwide field tests. A trademark protection will be used in order to place tested clones in the market. To control licensed propagation DNA-based methods of fingerprinting will be developed.

Keywords: willow, *Salix spec.*, species and hybrids, breeding, short rotation, mass propagation, BMBF-willow breeding program

ZUSAMMENFASSUNG

Aktivitäten und Ergebnisse eines vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz geförderten neuen Weidenzüchtungsprojektes in Deutschland (FKZ: 22012409 PT-FNR) werden beschrieben. Verschiedene Züchtungsstrategien werden diskutiert. Zu den Voraussetzungen und praktischen Maßnahmen, die den Kreuzungserfolg bedingen, zählen Kenntnisse der Reproduktionsbiologie, die Kontrolle der Antherenentwicklung, die frühzeitige Gewinnung ausreichender Pollenmengen, die Bewurzelung von weiblichen Blühreisern, die Durchführung kontrollierter

Kreuzungen und die Gewinnung freier Abblüten. Für die Kreuzungsarbeiten und Selektion stehen ca. 350 Klone von 42 Weidenarten zur Verfügung. Entsprechend unseren Beobachtungen sowie Angaben aus der Literatur haben Klone der Arten *Salix viminalis*, *S. alba*, *S. fragilis*, *S. x tinctoria*, *S. malisii*, *S. japonica*, *S. caprea*, *S. triandra*, *S. daphnoides*, *S. x smithiana*, *S. x rubens*, *S. x helix*, *S. x alopecuroides* und dreifache Hybriden wie *S. dasyclados* ein hohes Potenzial für die Biomasseproduktion.

Eine Optimierung der Keimungsbedingungen wurde durch die Verwendung von Seesand in Glasgefäßen erreicht. Auch die Anwendung der Technik des „Embryo-Rescues“ war hilfreich. Eine Lagerung von Saatgut ist sowohl bei -20 °C oder -40 °C als auch nach dem Einfrieren in Flüssigstickstoff möglich.

Parallel zur Neuzüchtung wurde mit 34 Sorten verschiedener Arten eine Feldprüfung in Form eines

Blockversuches mit drei Wiederholungen (N = 2.448) angelegt

Für erfolgversprechende Weidensorten werden Methoden der Massenvermehrung *in vitro* entwickelt, um möglichst schnell die für bundesweite Feldprüfungen gewünschten Stecklingsmengen produzieren zu können. Für bewährte Klone wird ein Warenschutz angestrebt. Um eine lizenzierte Vermehrung kontrollieren zu können, werden DNA-basierte Methoden des Fingerprintings entwickelt.

Schlagwörter: Weide, *Salix spec.*, Arten und Hybride, Züchtung, Kurzumtrieb, Massenvermehrung, BMBF-Weidenzüchtungsprogramm

1 EINLEITUNG

Von Züchtern herbeigewünscht, von Taxonomen gehasst haben Weidenhybriden als Sorten für den Kurzumtrieb und die Energieholzproduktion eine zunehmend größere ökonomische Bedeutung. Die derzeit marktbeherrschende Stellung schwedischer Weidensorten, die in ganz Europa vermarktet werden, kann den Ansprüchen einer Weidenwirtschaft mit zahlreichen Produktlinien und vielfältigsten ökologischen Bedingungen südlich von Schweden nicht allein gerecht werden. Zwölf Jahre nach Beendigung des von LINDEGAARD & BARKER (1997) beschriebenen *European-Willow-Breeding-Programs* gibt es heute auch in Deutschland erstmalig ein

Weidenzüchtungsprojekt, das vom Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Projektträger: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V.) mit dem Titel „Neuzüchtung und Erprobung bisher nicht registrierter Weidenklone und -sorten“ noch bis zum 30.9.2011 gefördert wird (FKZ: 22012409, siehe hierzu <http://www.weidenzuechtung.de>). An dieser Stelle werden Grundlagen, Voraussetzungen und Züchtungsstrategien diskutiert sowie erste Aktivitäten des Projektes beschrieben.

2 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

2.1 Reproduktionsbiologie

Grundlage jeder züchterischen Tätigkeit ist die Kenntnis der Reproduktionsbiologie der zu bearbeitenden Objekte. Die im Vergleich zu Pappeln relativ großen Pollen der Weiden werden hauptsächlich von Honigbienen, Hummeln und anderen Insekten übertragen, die ihrerseits von artspezifischen

Düften angelockt und mit Nektar belohnt werden. Begünstigende Wetterlagen können aber auch eine Windbestäubung ermöglichen. Obgleich Weidenarten als leicht hybridisierbar gelten, weisen CHMELAR & MEUSEL (1979) sowie NEUMANN (1981) mit Recht darauf hin, dass eine natürliche Hybridisierung von Weidenarten keineswegs so häufig anzutreffen ist, wie allgemein angenommen wird. Morphologische

Unterschiede der Blüten- und Insektenorgane, unterschiedliche Blühzeiten, Arealunterschiede, Standortpräferenzen und der daraus resultierenden unterschiedlichen innerartlichen Vergesellschaftung, geringe Pollenproduktion, die Blütenstetigkeit von Insekten, die geringe Lebensfähigkeit des Pollens und die geringe Neigung zur Windbestäubung schränken eine natürliche Hybridisierung potenziell kompatibler Partner ein. Treffen Gameten verschiedener Arten trotz aller genannten Hindernisse aufeinander und verschmelzen dennoch nicht zu einer Zygote, sprechen die Botaniker von einer gametischen Isolation (SPRINGER, 2007). Auf der Plasmamembran der Samenzellen beziehungsweise auf der Eihülle befinden sich artspezifische Makromoleküle, die bei artgleicher Paarung wie Schloss und Schlüssel zueinander passen. Trifft nun artfremder Pollen zeitgleich mit arteigenem auf die Narbe, muss der Pollenschlauch der fremden Art schneller wachsen als der des arteigenen Pollens,

um zur Befruchtung zu führen. Schon die Versuche von WICHURA (1865) und HERIBERT-NILSSON (1918) haben gezeigt, dass zwischen den Untergattungen *Amerina* und *Caprisalix* (siehe Kasten) eine unvollständige genetische Inkompatibilität ausgebildet ist. Die Untergattungshybride *Salix x hippophaefolia (triandra x viminalis)* ist wohl eine Ausnahme, die die Regel bestätigt.

Unterschiedliche Ploidieverhältnisse der Eltern können sowohl eine fehlende Gametenproduktion als auch eine höhere Bastardsterblichkeit bewirken.

Wie bei allen Salicaceen ist die Ausbildung eines Endosperms auch bei Weiden vielfach unterentwickelt. Die Keimung ist zwar generell lichtbedürftig, sie kann jedoch u. U. auch schon vorzeitig in der geschlossenen Samenkapsel erfolgen (s. GEBHARDT, 1992).

Einteilung der Gattung *Salix* (RECHINGER, 1958)

Untergattung *Amerina* (blüht spät mit dem Blattaustrieb):

Sektion *Pentandrae*: *Salix pentandra*

Sektion *Fragiles*: *Salix fragilis*, *Salix alba*, *Salix babylonica*

Sektion *Triandrae*: *Salix triandra*

Untergattung *Caprisalix* (blüht früh vor dem Blattaustrieb):

Sektion *Caprae* (Subsektion *Laeves*): *Salix caprea*

(Subsektion *Striatae*): *Salix cinerea*

Sektion *Viminalis*: *Salix viminalis*

Sektion *Purpureae*: *Salix purpurea*

2.2 Kreuzungsarbeiten und Anzucht der Nachkommen

Aus diesen Gegebenheiten wurden praktische Maßnahmen abgeleitet, die sich als Voraussetzung für den Kreuzungserfolg bestätigt haben:

- Antherenentwicklung kontrollieren, Pollen frühzeitig gewinnen, trocken und kühl (4 °C) lagern;
- jedes männliche Kätzchen nutzen (Pollenmenge optimieren);
- Triebe mit weiblichen Blüten bewurzeln;
- wiederholte, isolierte Kreuzungen im Gewächshaus durchführen;
- alternativ freie Abblüten sammeln (vor dem Platzen der Kapseln isolieren).

Für die Kreuzungsarbeiten standen die im Salicetum und in weiteren Klonsammlungen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Abt. C in Hann. Münden vorhandenen 350 Klone von 40 Weidenarten zur Verfügung (s. GEBHARDT, 1992). Bevorzugt wurden jedoch baum- und strauchartig wachsende Weidenklone mit hohem Potenzial für Biomasseproduktion verwendet (Abbildung 1).



Abbildung 1 / Figure 1

Wuchsleistungen von drei Klonen (einjährige Aufwüchse auf 11-jähriger Wurzel):
links: Klon 5/76 (mittl. Höhe: 3,10 m) vor Klon 147/63 (mittl. Höhe: 2,60 m);
rechts: vieltriebiger Klon 305/64 (mittl. Höhe 2,80 m)

Growth performance of three clones (current year shoots on a root of age 11):
left photo: clone 5/76 (mean height: 3,10 m) in front of clone 147/63 (mean height: 2,60 m);
right photo: clone 305/64 bearing many shoots (mean height: 2,80 m)

Dazu zählen nach unseren Beobachtungen sowie Angaben aus der Literatur (WEGER et al., 2005; WEGER & HAVLÍČKOVÁ, 2009; BOELKE, 2006; SCHWARZE & RÖHRICHT, 2006; HÖRANDL et al., 2002) Klonen der Arten *Salix viminalis*, *S. alba*, *S. malisii*, *S. caprea*, *S. triandra*, *S. daphnoides*, *S. purpurea* sowie *S. x smithiana*, *S. x rubens*, *S. x helix*, *S. x alopecuroides* und dreifache Hybriden wie *S. dasyclados*.

Da die meisten Weidenarten an einjährigen Aufwüchsen auf mehrjähriger Wurzel ausreichend Blütenknospen ansetzen, konnte auf die Nutzung mehrjähriger Aufwüchse zur Blütenproduktion meist verzichtet werden. In Tabelle 1 und Tabelle 2 sind die in diesem Jahr (2009) erfolgreich durchgeführten Kreuzungskombinationen und die aus freier Abblüte gewonnenen Nachkommenschaften aufgelistet: Wie erwartet, zeigten intraspezifische Kreuzungen (Abbildung 2) die beste Fertilität und produzierten zahlreiche Samenstände.



Abbildung 2 / Figure 2

Fruchtansatz bei einer intraspezifischen Kreuzung von *S. viminalis*: Die Fruchtstände enthalten geschätzt >1.000 Keimlinge.

Fruit set of an intraspecific cross of *S. viminalis*: The infructescences shown here contain roughly >1.000 seeds.

Tabelle 1 / Table 1

Erfolgreich durchgeführte gelenkte Kreuzungen des Reifejahres 2009

Success of controlled crosses in 2009 (number of potted seedlings)

Nr.	Mutter_Klon	Mutter_Art	Pollenspender	Pollen_Art	Anz_getopft
09-39	83/55	<i>viminalis</i>	21/91	<i>triandra</i>	35
09-44	722/51	<i>viminalis</i>	5/76	<i>alba</i>	4
09-48	83/55	<i>viminalis</i>	5/76	<i>alba</i>	27
09-63	83/55	<i>viminalis</i>	21/91	<i>triandra</i>	7
09-21	722/51	<i>viminalis</i>	6/87	<i>viminalis</i>	72
09-22	722/51	<i>viminalis</i>	85/55	<i>viminalis</i>	44
09-23	722/51	<i>viminalis</i>	NW 9-1009 B	<i>viminalis</i>	152
09-24	722/51	<i>viminalis</i>	80/55	<i>viminalis</i>	141
09-26	83/55	<i>viminalis</i>	NW 9-994 H	<i>viminalis</i>	151
09-28	722/51	<i>viminalis</i>	NW 9-1003 U	<i>viminalis</i>	22
09-38	83/55	<i>viminalis</i>	NW 9-1009 B	<i>viminalis</i>	32
09-40	83/55	<i>viminalis</i>	85/55	<i>viminalis</i>	100
09-42	83/55	<i>viminalis</i>	80/55	<i>viminalis</i>	12
09-54	722/51	<i>viminalis</i>	85/55	<i>viminalis</i>	45
09-62	81/55	<i>x helix</i>	NW 9-957 N	<i>x smithiana</i>	9
09-49	38/69	<i>x iorrata</i>	NW 9-957 N	<i>x smithiana</i>	222

Tabelle 2 / Table 2

Ausbeute freier Abblüten des Reifejahres 2009

Success from open pollination in 2009 (number of potted plants)

Nr.	Mutter_Klon	Mutter_Art	Standort	Anz_getopft
09-52	68/63	<i>alba</i>	Salicetum	17
09-53	36/63	<i>alba</i>	Salicetum	10
09-59	02/65	<i>alba</i>	Salicetum	10
09-61	73/63	<i>alba</i>	Salicetum	39
09-66	63/63	<i>alba</i>	Merbachfeld	9
09-68	107/63	<i>alba</i>	Merbachfeld	91
09-51	04/76	<i>alba</i>	Weserkamp	211
09-56	153/68	<i>alba</i>	Weserkamp	20
09-08	16/75	<i>caprea</i>	Bundesstr. 80	61
09-16	MF16	<i>caprea</i>	Merbachfeld	86
09-46	MF100	<i>caprea</i>	Merbachfeld	87
09-15	HF105	<i>cinerea</i>	Haferfeld	34
09-12	MF21	<i>cinerea</i>	Merbachfeld	15
09-20	MF104	<i>daphnoides</i>	Merbachfeld	104
09-34	MF104	<i>daphnoides</i>	Merbachfeld	26
09-64	MF104	<i>daphnoides</i>	Merbachfeld	4
09-09	39/69	<i>japonica</i>	Bundesstr. 80	81
09-11	39/69	<i>japonica</i>	Salicetum	116
09-07	39/69	<i>japonica</i>	Weserkamp	215
09-65	304/64	<i>pentandra</i>	Merbachfeld	17
09-69	304/64	<i>pentandra</i>	Merbachfeld	101
09-03	84/55	<i>viminalis</i>	Salicetum	17
09-04	82/55	<i>viminalis</i>	Salicetum	123
09-05	42/69	<i>viminalis</i>	Salicetum	125
09-18	722/51	<i>viminalis</i>	Salicetum	98
09-36	83/55	<i>viminalis</i>	Salicetum	12
09-13	85/55	<i>viminalis</i>	Weserkamp	4
09-14	84/55	<i>viminalis</i>	Weserkamp	189
09-19	722/51	<i>viminalis</i>	Weserkamp	286
09-25	82/55	<i>viminalis</i>	Weserkamp	151
09-55	53/75	<i>x alopecuroides</i>	Salicetum	24
09-29	96/63	<i>x helix</i>	Salicetum	67
09-01	81/55	<i>x helix</i>	Weserkamp	120
09-10	70/64	<i>x helix</i>	Weserkamp	31
09-57	103/63	<i>x rubens</i>	Salicetum	12
09-02	24/87	<i>x smithiana</i>	Weserkamp	218
09-31	50/75	<i>x smithiana</i>	Weserkamp	68
09-47	50/75	<i>x smithiana</i>	Weserkamp	24
09-67	102/63	<i>x tinctoria</i>	Salicetum	60

Eine Optimierung der Keimungsbedingungen wurde durch die Verwendung von Seesand in Petrischalen erreicht. Die Gefäße wurden bis zum Auflaufen der Keimlinge im Klimaschrank bei 23 °C und einem 12 h-Tag unter weißem Kunstlicht (ca. 1.000 Lux) platziert. Das Pikieren der Keimlinge erfolgte nach 4 bis 6 Wochen in schwach gedüngte Erde in 4 cm-Jiffy-Pot-Platten. Zur Förderung der weiteren Entwicklung wurden die pikierten Sämlinge ca. 2-4 Wochen unter Sprühnebel kultiviert und nach wenigstens einmonatiger Kultivierung bei Temperaturen von 23-26 °C in 10 cm-Biocontainer getopft. Bis zum Ende der Vegetationsperiode wurden ca. 4.000 getopfte Sämlinge zur Überwinterung im Glasgewächshaus platziert und an Kalthausbedingungen adaptiert.

Eine weitere Verbesserung der Keimung kann bei weiten Kreuzungen durch die Technik des „embryo rescues“ erfolgen. Dabei werden befruchtete Eianlagen oder unreife Samen aus den Kapseln steril explantiert und auf künstlichen Nährböden kultiviert (siehe GEBHARDT, 1992).

Überraschender Weise überlebte Saatgut ohne jede Vorbehandlung sowohl die Lagerung bei -20 °C oder -40 °C als auch das einmalige Einfrieren und Auftauen in Flüssigstickstoff (Abbildung 3).

2.3 Züchtungsstrategie

Wie bei den meisten Züchtungsobjekten müssen auch bei Weiden mehrere Eigenschaften gleichzeitig berücksichtigt und verbessert werden, also Ertrag, Krankheits- und Schädlingsresistenz, Wuchseigenschaften und Holzqualität (Rindenanteil, Ligningehalt etc.). Der Versuch, so unterschiedliche Eigenschaften also allein mit dem Züchterauge phänotypisch zu erfassen, ist fehlerbehaftet. Züchtungsziel muss es sein, den möglichen genetischen Gewinn auszuschöpfen und dabei den zeitlichen Aufwand zu minimieren.

Nach dem Aufbau einer Basiskollektion mit Sämlingen, der mindestens zwei Jahre beansprucht, können erstmals Steckhölzer gewonnen werden. Wesentliche Merkmale, wie Bewurzelungsvermögen, Stockausschlag sowie Anzahl und Masse der Austriebe sind erst bei Verwendung von Steckhölzern aussagekräftig. Unterschiede in der Blattmasse und verschiedene Resistenzen (Mehltau, Rost etc.)



Abbildung 3 / Figure 3

Keimende Sämlinge nach Gefrierkonservierung der Samen in Flüssigstickstoff (-196 °C). Die Samen keimen auf Filterpapier.

Germinating seedlings after deep freezing in liquid nitrogen (-196 °C). The seedlings germinate on filter paper.

zeichnen sich oftmals schon im Sämlingsstadium oder den ersten beiden Entwicklungsjahren ab, müssen jedoch unter Feldbedingungen verifiziert werden.

Eine bewährte Strategie des Züchters ist es, wie oben beschrieben, die Eigenschaften unterschiedlicher Arten zu kombinieren und damit auch die Heterozygotie zu maximieren. Das wird ermöglicht durch interspezifische Kreuzungen oder durch Rückkreuzung. Auch die genetische Information von vier Arten lässt sich kombinieren, wenn man unterschiedliche F1-Hybriden kreuzt. Hybridwachstum setzt aber nur dann ein, wenn entsprechend der Kopplungshypothese unterschiedliche dominante, fördernde Gene aus eingekreuzten Arten / Linien mit den rezessiven Allelen im Hybriden einen heterozygoten Zustand herausbilden (KUCKUCK et al., 1985). Damit steht fest, dass dieser ideale Zustand nicht erreicht werden kann, wenn die Kreuzungspartner abnorme Chromosomensätze haben, wie das bei Weidenhybriden häufig nachgewiesen wurde (BÜCHLER, 1992). Auch chromosomale Strukturveränderungen können zu Schleifenbildungen führen, so dass keine Paarung homologer Chromosomen möglich ist. Der Züchter muss daraus schließen, dass durch die Hybridisierung

relativ schnell ein Zustand erreicht wird, in dem sich das Keimplasma nicht mehr verbessern lässt. Deshalb haben die Züchter immer daran gedacht, in einer langfristigen Strategie die Zuchtpopulationen auch innerartlich zu verbessern.

Dies geschieht zum einen durch Erhaltung der noch ungenutzten genetischen Diversität und zum anderen durch rekurrente Selektion, indem solche Eltern für weitere Züchtungsschritte verwendet werden, deren Nachkommen die gewünschten Eigenschaften zeigen (STETTLER et al., 1996; BISOFFI & GULLBERG, 1996).

Kurzfristig erfolgversprechend ist die Nutzung von mitosehemmenden Stoffen wie Kolchizin und Oryzalin, die bei vielen Arten zur Erzeugung von Ploidiemutanten eingesetzt werden oder Mutationen in Genen erzeugen, die ertragsrelevante Eigenschaften kodieren.

Wie WEIH & NORDH (2005) zeigen konnten, ist die Blattfläche von einjährigen Sämlingen ein guter Prädiktor der Biomasseleistung dreijähriger Klone auf Kurzumtriebsflächen. Im Projekt werden deshalb sowohl Sämlinge bei der Keimung als auch Spross-Kulturen in bewurzelter und unbewurzelter Zustand mit dem Ziel der Polyploidisierung kolchiziniert.

2.4 Züchtung und funktionale Genomik

Mit den heute entwickelten RNA- und DNA-basierten Techniken funktionaler und struktureller Genomik wie Next-Generation-Sequencing, Mikroarray, PCR (Polymerase-Kettenreaktion), Real-Time-PCR und Tilling (Targeting Induced Local Lesions in Genomes) gelingt es, die Sequenzvariabilität anpassungs- und ertragsrelevanter Gene zu bestimmen. Nukleotid-Polymorphismen, sog. SNPs (single nucleotide polymorphisms) treten mit unterschiedlicher Dichte im Genom aller Lebewesen auf und haben dann entsprechend ihrer Position in regulatorischen Einheiten oder in Exon-Regionen der Gene unterschiedliche Wirkungen auf Proteinstrukturen und den Phänotyp von Individuen oder Arten (FLADUNG, 2006). Die Position von SNPs kann in Genkarten erfasst werden. Für manche Gene

kann aus der Position von SNPs auf deren Wirkung und Erbgang geschlossen werden.

Wir sehen in der Detektion von SNPs und Punktmutationen in ertragsrelevanten Genen eine neue Möglichkeit der Selektion und Verkürzung der traditionellen Züchtungswege. Die Technik des Tillings kann sowohl an mutagen veränderten Pflanzen als auch an Individuen von Wildpopulationen angewandt werden. Durch die Möglichkeit des Poolens von DNA verringert sich der Arbeits-, Zeit- und Kostenaufwand (COMAI et al., 2004). Bei zahlreichen landwirtschaftlichen Kulturen (Weizen, Reis, Mais, Gerste) sind solche Projekte in Arbeit oder sie wurden bereits mit Erfolg durchgeführt (FLADUNG & GEBHARDT, 2010).

2.5 Weitere Projektarbeit, Warenzeichen-Schutz und Lizenzvermehrung

Parallel zur Neuzüchtung wurde mit 34 erfolgversprechenden Sorten eine Feldprüfung in Form eines gezäunten Blockversuches mit drei Wiederholungen (N = 2.448) zuzüglich Randreihen angelegt. Die schwedischen Sorten Tordis und Inger sowie die Sorte *Salix viminalis* cv. „Zieverich“ dienen als Referenzen.

Geeignete Methoden der *in-vitro*-Vermehrung von Weidenklonen wurden von GEBHARDT (1992) sowie NAUJOKS & LIESEBACH (2005) beschrieben. Für erfolgversprechende Weidensorten werden nun unter Beteiligung eines kommerziellen Labors (Baumschulen Oberdorla GmbH) Methoden der Massenvermehrung *in vitro* weiterentwickelt, um möglichst schnell die für bundesweite Feldprüfungen gewünschten Stecklingsmengen produzieren zu können. Nach Sichtung und Bewertung von bereits durchgeführten Versuchen anderer Versuchsanstelter mit Weidenklonen aus Hann. Münden wird für einzelne Klone mithilfe eines geschützten Warenzeichens ein Warenschutz angestrebt. Es werden Lizenznehmer für die Vermehrung geschützter Klone gesucht.

Um die lizenzierte Vermehrung kontrollieren zu können, werden in Zusammenarbeit mit der Universität Marburg (Arbeitsgruppe von Frau Prof. Dr. BIRGIT ZIEGENHAGEN) DNA-basierte Methoden des Fingerprintings entwickelt und genutzt.

3 LITERATUR

- BISOFFI, S. & GULLBERG, U. (1996): Poplar Breeding and Selection Strategies. In: *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation* (R.F. Stettler; H.-D. Bradshaw, Jr; P.E. Heilman & T.M. Hinckley, eds.). NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. pp.139-158.
- BÜCHLER, W. (1992): A preliminary account of chromosome numbers in the Salix-section Retusae. In: *Willow - Proceedings of the Royal Society of Edinburgh R. Watling & J.A. Raven, eds.*, p.235.
- BOELKE, B. (2006): Ertragspotenzial und Ertragsaufbau von Weiden spec. in Kurzumtriebsplantagen. Vortrag zur 1. Fachtagung der BMBF-Projekte DENDROM, AGROWOOD und AGROFORST (2006) "Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen" 6.-7.11.06 in Tharandt, Internet: http://www.dendrom.de/daten/downloads/06_Boelcke_Weide%20in%20KUP2.pdf.
- CHMELAR, J. & MEUSEL, W. (1979): *Die Weiden Europas*. Ziemsen Wittenberg, 143 p.
- COMAI, L., YOUNG, K., TILL, B.J., REYNOLDS, S.H., GREENE, E.A., CODOMO, C.A., ENNS, LC., JOHNSON, J.E., BURTNER, C., ODDEN, A.R. & HINIKOFF, S. (2004): Efficient discovery of DNA polymorphisms in natural populations by Ecotilling. *The Plant Journal* 37(5): 778-86.
- FLADUNG, M. (2006): Entwicklung von SNP-Markern in putativ anpassungsrelevanten Genen. Vorträge für Pflanzenzüchtung, Band 70, S.139-146.
- FLADUNG, M. & GEBHARDT, K. (2010): Mit Smart-Breeding-Methoden neue Wege in der Forstpflanzenzüchtung gehen! *Forst und Holz* 65 (1), 37-40.
- GEBHARDT, K. (1992): Grundlagen und Methoden der Züchtung pharmazeutisch wertvoller Weiden. *Die Holzzucht* 46(1-4): 9-15.
- HERIBERT-NILSSON, N. (1918): Experimentelle Studien über Variabilität, Spaltung, Artbildung und Evolution in der Gattung Salix. *Lunds Universitets Arsskrift N.F. Avd. 2 Bd. XIV (28): 1-145*. Lund (Schweden).
- HÖRANDL, E., FLORINETH, F. & HADACEK, F. (2002): *Weiden in Österreich und angrenzenden Gebieten*. Eigenverlag des Arbeitsbereiches Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie, Universität für Bodenkultur Wien, 164 Seiten.
- KUCKUCK, H., KOBABE, G. & WENZEL, G. (1985): *Grundzüge der Pflanzenzüchtung*. Verlag Walter de Gruyter, Berlin, New York, p.52.
- LAUTENSCHLAGER-FLEURY, D. (1994): *Die Weiden von Mittel- und Nordeuropa: Bestimmungsschlüssel und Artbeschreibung für die Gattung Salix L.*. Birkhäuser Verlag Basel.
- LINDEGAARD, K.N. & BARKER, J.H.A. (1997): Breeding Willows for Biomass. In: *Aspects of Applied Biology* 49, Biomass and Energy Crops. (Bullard M.J.; Ellis, R.G.; Heath, M.C.; Knight, J.D.; Lainsbury, M.A. & Parker S.R, eds.). The Association of Applied Biologists. Pp.155-162.
- NEUMANN, A. (1981): *Die mitteleuropäischen Salix-Arten*. Mitt. der forstl. Bundes-Versuchsanstalt Wien, 134. Österreichischer Agrarverlag Wien, 152 S.
- NAUJOKS, G. & LIESEBACH, M. (2005): Vegetative propagation of difficult-to-root Salix caprea L. clones for pathogenicity tests. Poster at the Workshop: ALTERNATIVE PLANTS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE. 7-9 September 2005, Poznań, Poland.
- RECHINGER, K.H. (1958): Salix. In: HEGI, G., 1958: *Illustrierte Flora von Mitteleuropa*. Bd. 3(1), München: 44-135.
- SCHWARZE, H. & RÖRICH, C. (2006): Untersuchungen zum Pappel- und Weidenanbau im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen. Vortrag zur 1. Fachtagung der BMBF-Projekte DENDROM, AGROWOOD und AGROFORST (2006) "Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen" 6.-7.11.06 in Tharandt, Internet: http://dendrom.de/daten/downloads/19_Roehricht_Untersuchungen_zu_KUP.pdf.
- SPRINGER, S. (2007): Kreuzungsexperimente mit Salix caprea und Salix cinerea. Zulassungsarbeit im Fach Biologie an der Universität Bayreuth. Internet: http://www.obg.uni-bayreuth.de/de/Forschung/Stud_Abschlussarbeiten/Abschlussarbeiten/ZA_2007_Springer_Salix_Kreuzung.pdf#pdf.
- STETTLER, R.F., ZSUFFA, L. & WU, R. (1996): The Role of Hybridisation in the Genetic Manipulation of Populus. In: *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation* (Stettler, R. F.; Bradshaw, H.-D. Jr.; Heilman, P.E. & Hinckley, T.M., eds.). NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada, pp. 139-158.
- WEIH, M. & NORDH, N.-E. (2005): Determinants of biomass production in hybrid willows and prediction of field performance from pot studies. *Tree Physiology* 25: 1197-1206.
- WEGER, J., VLASÁK, P., ZÁNOVÁ, I. & HAVLÍČKOVÁ, K. (2005): The results of the evaluation of selected willow and poplar clones for short rotation coppice (SRC) in second harvesting period in conditions of the Czech Republic – pp.465-468, 14th European Conference & Exhibition Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Paris, ETA Florence and WIP-Munich.
- WEGER, J. & HAVLÍČKOVÁ, K. (2009): The evaluation of selected willow and poplar clones for short rotation coppice (SRC) after three harvests. Proceedings of the 17th European Biomass Conference & Exhibition, CCH-Congress Center Hamburg, 29.06. 03.07.09 (pers. communication from weger@vukoz.cz).
- WICHURA, M. (1865): *Die Bastardbefruchtung im Pflanzenreich erläutert an den Bastarden der Weiden*. Breslau, 95 Seiten.

Danksagung

Unser besonderer Dank gilt der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V., die als Projektträger im Auftrag des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz die Forschungsarbeiten seit 1.10.2008 unter dem FKZ: 22014208 und seit 1.5.2009 unter dem FKZ: 22012409 unterstützt.

ERHÖHUNG DER FORSTLICHEN PRODUKTION IN SCHWEDEN DURCH FORSTPFLANZENZÜCHTUNG

INCREMENT OF FOREST PRODUCTION BY MEANS OF FOREST GENETICS IN SWEDEN

F. Prescher

Svenska Skogsplantor AB, Forstsamenzentrale, SE-340 14 Lagan, Schweden

ABSTRACT

Forest production has been important for the Swedish GNP for a long time. 13 % (12,5 Billion €) of the export in 2008 included forest products. The value of the forests was recognized for foresters already several hundred years ago. So it is not surprising that forest tree breeding begun in Sweden. Seed orchards have been planted since the 1940s. More than 100 seed orchards are planted in Sweden, and an ongoing project will comprise additionally 360 hectares of new orchards.

The Swedish Government has requested for a 20 % higher forest production for the coming years. The most efficient way to increase forest productivity today is by tree breeding. For Scots pine (*Pinus sylvestris*) production of high genetic gain material is only possible in seed orchards. For Norway spruce (*Picea abies*) there are options for mass production of forest reproductive material (FRM) by cuttings and/or by somatic embryogenesis (SE), although seed orchards will be more cost efficient also for

this species in the next decades. Seed orchards in the ongoing fourth program will give FRM with genetic gains of approximately 26 %, whereas the best crosses of Norway spruce reproduced by cuttings and/or SE could give genetic gains of 35 %.

The tree breeding activities in Sweden comprise several breeding populations for the main tree species. Clones are tested within and outside their planting zone, giving options for selection of clones also to a changing climate.

In this paper an example is given how the long term seed procurement is affected by changes in the production strategy and by a different climate.

Keywords: forest production, forest tree breeding, seed orchards, Scots pine, *Pinus sylvestris*, Norway spruce, *Picea abies*, foresight of climate change, Sweden

ZUSAMMENFASSUNG

Die Holzproduktion ist seit langer Zeit sehr wichtig für das schwedische Bruttosozialprodukt. Im Gesamtexport 2008 waren 13 % forstliche Produkte mit einem Gesamtwert von 12,5 Milliarden €. Den Wert des Waldes haben die Forstleute schon vor mehreren 100 Jahren erkannt, und deshalb liegt es auf der Hand, dass die Wiege der Forstpflanzenzüchtung in Schweden steht.

1949 wurde die erste Kiefern Samenpflanzung gepflanzt, und seitdem sind mehr als 100 Kiefern- und Fichten-Samenpflanzungen angelegt worden. Derzeit läuft nun ein Programm, in dem in den Jahren 2003-20 14.360 Hektar neue Pflanzungen gepflanzt werden sollen.

Während der letzten 20 Jahre war ein umweltfreundlicher Forstbetrieb ein Thema in Schweden. Große Kahlschläge waren nicht mehr gern gesehen, Laubholz wurde mehr gefördert. Im Forstgesetz von 1994 wurde z.B. die Birke als Hauptbaumart anerkannt, was dazu führte, dass die Waldbesitzer weniger gepflanzt haben, weil die Birke sich ja gut natürlich verjüngt. In den letzten Jahren hat man aber erfahren, dass die Holzproduktion sinkt, wenn man nicht ordnungsgemäß aufforstet. Die Regierung hat deshalb in ihrem forstpolitischen Programm vorgegeben, dass die Holzproduktion erhöht werden muss, damit eine Rohstoffverknappung vermieden wird.

Die größte Auswirkung auf die Steigerung der Holzproduktion hat die Forstpflanzenzüchtung. In Schweden sind Kiefer und Fichte mit 80 % die Hauptbaumarten. Deshalb ist die Züchtung hauptsächlich auf diese Baumarten ausgerichtet. Bei der Kiefer erfolgt die Massenproduktion von Vermehrungsgut durch Samenpflanzungen mit ausgewählten Klonen. Bei der Fichte sorgen die Samenpflanzungen immer noch für die Hauptversorgung, aber hier gibt es auch weitere Möglichkeiten, wie durch vegetative Vermehrung (Stecklinge) und/oder somatische Embryogenese. Die neuen Samenpflanzungen werden als Saatgut aus Naturbeständen bis zu 26 % mehr an Zuwachs bringen. Dies gilt sowohl für Kiefer als auch für Fichte. Durch Vermehrung der allerbesten Fichtenkreuzungen kann bis zu 35 % mehr Höhenzuwachs erzielt werden.

Durch Züchtung kann auch Vorsorge für einen eventuellen Klimawandel getroffen werden. Die mehr als 20 verschiedenen Züchtungspopulationen für jede Baumart decken ein größeres klimatisches Gebiet ab als das, was heute gebraucht ist. Ein Wechsel von Baumarten ist auch eine mögliche Entwicklung im südlichsten Teil von Schweden.

Schlagwörter: Holzproduktion, Züchtung, Samenpflanzung, Kiefer, *Pinus sylvestris*, Fichte, *Picea abies*, Vorsorge für Klimawandel, Schweden

1 EINLEITUNG

Die Holzproduktion ist seit langer Zeit eine der wichtigsten Waren für das schwedische Bruttosozialprodukt. Der totale Exportwert von Forstprodukten hatte im Jahre 2008 einen Gesamtwert von 12,5 Milliarden € oder 13 % des gesamten Bruttosozialprodukts (ANONYMUS, 2009a). Den Wert des Waldes haben die Forstleute schon von mehreren 100 Jahren erkannt und diesen durch das ganze 19. Jahrhundert gut gepflegt. Die Entwicklung des Holzvorrates von 1920-2000 ist in Abbildung 1 gezeigt.

Der Vorrat ist für alle Baumarten gestiegen, die Fichte hat sich aber in den letzten Jahren etwas stabilisiert. Im schwedischen Forstgesetz waren bis 1994 nur Kiefer und Fichte anerkannt, jetzt ist auch die Birke (*Betula sp.*) als Hauptbaumart einbezogen. Nach einem Holzeinschlag muss nach fünf Jahren eine bestimmte Anzahl von Bäumen von einer der

drei Hauptbaumarten auf der Aufforstungsfläche vorhanden sein. Im Forstgesetz von 1994 wurde das Ziel für Holzproduktion und Umwelt gleichgestellt, d.h. Kahlschläge sollen kleiner gemacht werden. Dazu sollen Randbereiche um Gewässer, Wege und andere schützenswerte Umweltflächen eingerichtet werden. Das größere Umweltbewusstsein sowie die Anerkennung der Birke als Hauptbaumart haben dazu beigetragen, dass die Verjüngung durch Pflanzung heute 20 % geringer ist als in den 1980er Jahren.

Abbildung 2 zeigt, wie sich die Holzernte seit 1955 entwickelt hat. Der Zuwachs an Wald ist heute 110 Millionen m³, also bedeutend mehr als die Holzernte (ANONYMUS, 2009b). Eine Ausnahme gab es 2005, als ein Sturmwurf über 70 Millionen m³ in Südschweden zu Boden warf.

Abbildung 1 / Figure 1

Anteile (%) der schwedischen Exportleistung 2008

Proportions (%) of the Swedish export achievement in 2008

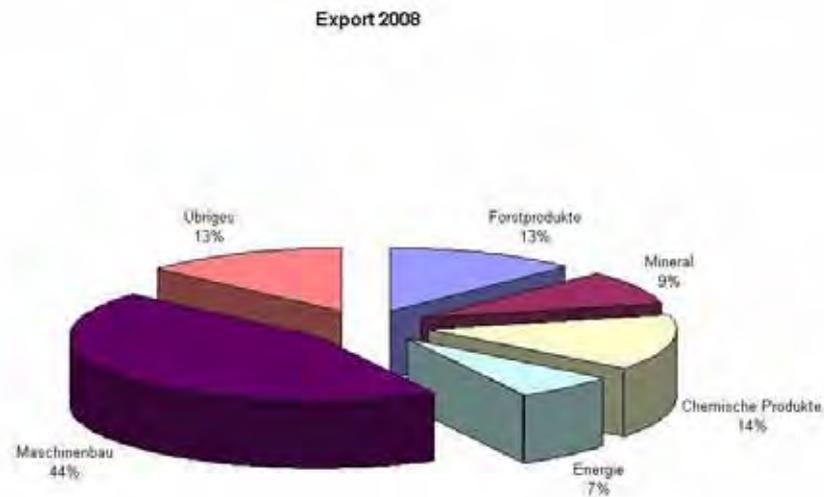
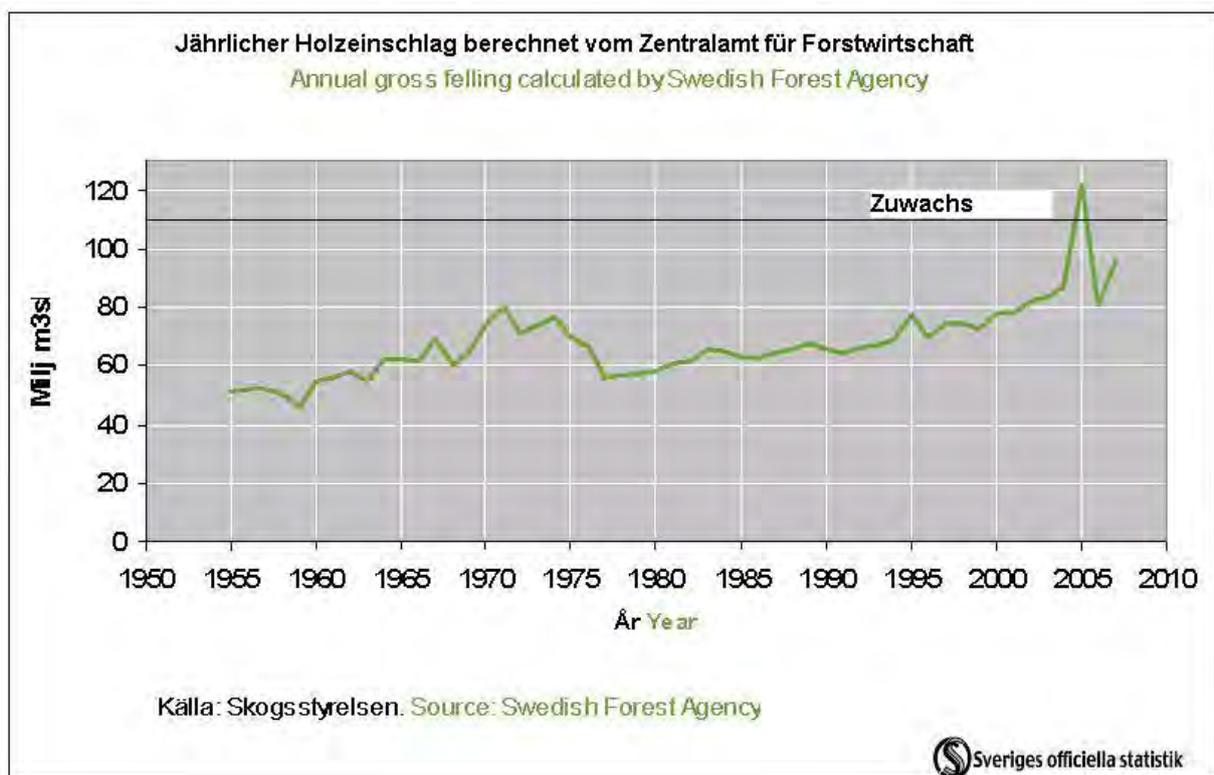


Abbildung 2 / Figure 2

Jährliche Holzernte in Schweden im Zeitraum 1950-1970 (in Millionen m³)

Annual gross felling in Sweden in the period 1950-2007 (in billion m³)



2 NEUE SIGNALE

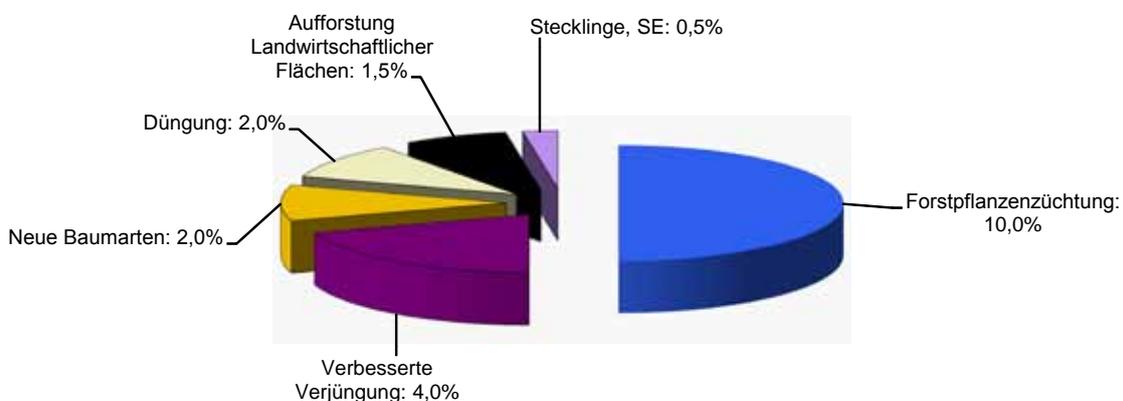
Die Umstellung von fossilem Brennstoff auf Biobrennstoff hat zur Folge, dass die Holzproduktion ansteigen muss. Die schwedische Regierung hat darauf hingewiesen, dass der Zuwachs um 20 % ansteigen muss, damit zukünftig mehr aus

nachhaltigen Energiequellen kommen kann. Ist es überhaupt möglich, den Zuwachs um 20 % zu erhöhen? Durch verschiedene Maßnahmen müsste es gehen, siehe hierzu Abbildung 3.

Abbildung 3 / Figure 3

Verschiedene Wege zu höherem Zuwachs

Different ways to get a higher forest production



2.1 Verbesserte Verjüngung: 4 %

Die Voraussetzung, eine gute Verjüngung in Schweden zu erhalten, ist eine gute Bodenvorbereitung. Die Mineralerde muss freigelegt werden, um die Konkurrenz von Gras und Sträuchern sowie Schäden durch den Rüsselkäfer zu minimieren. Eine zeitgerechte Pflanzung mit dem aus technischer sowie aus genetischer Sicht derzeit besten Vermehrungsgut sorgt für eine gute Verjüngung. Naturverjüngung soll möglichst vermieden werden, da die Methode unsicherer als die Pflanzung ist. Die Verjüngungen müssen auch nach der Pflanzung gepflegt und ergänzt werden, falls es zu Pflanzenausfällen kommt.

2.2 Düngung: 2 %

In Schweden ist während der 1960er Jahre viel im Wald gedüngt worden. Aus Umweltgründen hat das Walddüngen in den 1990er Jahren nahezu aufgehört. Die gewonnenen Erfahrungen von zeitgerechtem Düngen und die Entwicklung von besseren Düngemitteln macht es möglich, besondere Waldflächen vor allem zu Ende der Umtriebszeit naturgemäß und umweltfreundlich zu düngen.

2.3 „Neue“ Baumarten: 2 %

Das Interesse für schnellwachsende Baumarten nimmt zu. Seit mehreren Jahren ist die Hybridlärche (*Larix eurolepis*) schon in Südschweden etabliert. Die Produktion der Lärche ist bedeutend größer als bei der Fichte auf den besten Standorten, die Umtriebszeit ist um 25-30 % kürzer. Pappeln und Hybridaspens sind auch sehr gefragt. Sie sind derzeit aber nur für die Aufforstung von landwirtschaftlichen Flächen geeignet, da es an Versuchsergebnissen auf forstlichen Flächen mangelt. Im westlichen Teil von Schweden, wo vorwiegend salzige Winde vorkommen, hat die Sitkafichte (*Picea sitchensis*) einen höheren Zuwachs als die gewöhnliche Fichte. Andere Arten, die aktuell werden können, wenn das Klima wärmer wird, ist die Küstentanne (*Abies grandis*) und die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*). Bei der Douglasie ist die Varietät *viridis* in den milderen Teilen zu pflanzen und die *caesia* dort, wo es etwas kälter ist.

2.4 Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen: 1,5 %

Es gibt heute 3,4 Millionen Hektar an landwirtschaftlichen Flächen in Schweden. Ein Teil davon kann ohne Weiteres aufgeforstet werden. Baumarten, die dafür geeignet sind, sind Pappeln und Aspen sowie Birken.

2.5 Stecklinge und somatische Embryogenese: 0,5 %

Hochwertiges Vermehrungsgut wie Stecklinge oder somatische Embryonen haben einen hohen Zuwachs. Die besten Fichtenstecklinge haben eine Mehrproduktion von etwa 25-30 % verglichen mit Sämlingen von ungezüchtetem Saatgut. Im Vergleich damit produzieren die besten somatischen Embryonen 30-40 % mehr. Die Herstellungskosten sind jedoch heute noch viel zu hoch, um dieses Vermehrungsgut vermarkten zu können. Mehrere Projekte laufen weltweit, um die Herstellung zu automatisieren und damit zu verbilligen. Zurzeit ist es nur bei Fichtenarten möglich, größere Menge vegetativ zu vermehren.

2.6 Forstpflanzenzüchtung: 10 %

Den höchsten Beitrag zur Erhöhung des Zuwachses im Wald erfolgt ohne Zweifel durch die Forstpflanzenzüchtung. Forstpflanzenzüchtung und Samenplantagen werden noch lange Zeit die ökonomisch günstigste Methode sein, um hochwertiges Vermehrungsgut herzustellen (PRESCHER, 2007). Der Anbau einer Samenplantage ist nicht billig, die Kosten belaufen sich auf etwa 23.000 € pro Hektar Kiefernplantage einschließlich der ersten fünf Jahre Betrieb (ROSVALL et al., 2003). Es ist wichtig, dass die Plantage gut funktioniert, so viel Saatgut wie möglich produziert und zur gleichen Zeit so effektiv wie möglich die genetischen Fortschritte der Züchtungspopulationen in den Wald überführt werden. Eine Samenplantage, die kein Saatgut produziert, ist ein Unglück, nicht nur für den Besitzer, sondern auch für die gesamte Forstwirtschaft, die so die Möglichkeit zu höherem Zuwachs verliert.

3 FORSTPFLANZENZÜCHTUNG IN SCHWEDEN

3.1 Historischer Rückblick

Der schwedische Wald war Ende des 18. Jahrhunderts infolge des Bedarfs an Holz für die Eisenproduktion im 16. und 17. Jahrhundert an vielen Stellen ziemlich hinuntergewirtschaftet. Deshalb lag auch ein Mangel an gutem Saatgut für die Aufforstung vor. Saatgut wurde zu dieser Zeit oft aus Deutschland importiert, meistens für den Bedarf in Südschweden.

1902 wurde die Staatliche Forstversuchsanstalt gegründet; der hauptsächliche Anlass war die Unzufriedenheit mit dem deutschen Kiefern-Saatgut. Um den Wert der deutschen Provenienzen zu beurteilen, wurden schon 1904 Herkunftsversuche angelegt. Die Ergebnisse zeigten, dass es notwendig war, andere und bessere Herkünfte zu finden. Damalige Erfahrungen aus der landwirtschaftlichen Pflanzenzüchtung führten zu weiteren Ideen für die Forstpflanzenzüchtung. 1938 hat HERMAN NILSSON-EHLE die triploide Hybridaspes geschaffen, was der Beginn des Forstgenetischen Institutes in Ekebo war. Aber schon 1934 hat der Däne SYRACH LARSEN das Konzept der gepfropften Samenplantage präsentiert (LARSEN, 1934; LARSEN, 1956). Die Idee wurde von HOLGER JENSEN (JENSEN, 1942; JENSEN 1945) in Schweden aufgenommen und ein umfangreiches Programm für Samenplantagen gegründet. Die erste Kiefern Samenplantage war 1949 in Drögnäs in Mittelschweden fertig angelegt.

3.1.1 Das 1. Programm

Das 1. Programm verlief im Zeitraum 1950-1970. Rund 600 Hektar Kiefern- und Fichtenplantagen wurden mit Klonen von ausgewählten Plusbäumen angelegt. Diese Plantagen werden heute nur noch ausnahmsweise beerntet, dann meistens zur Verwendung von Saatgut für Direktsaat im Wald.

3.1.2 Das 2. Programm

Ende der 1970er Jahren fand man heraus, dass die Anzahl von Klonen der ersten in den 1950er und 1960er Jahren ausgewählten Plusbäume zu niedrig war. Die genetische Vielfalt war zu gering, um eine nachhaltige Züchtung betreiben zu können. Deshalb wurde eine neue Plusbaumauswahl durchgeführt, bei der nochmals rund 4.000 neue Klone bereitgestellt wurden. Leider waren die Nachkommenschaftsprüfungen der ersten ausgewählten Plusbäume zu spät angelegt worden. Deshalb sind die Plantagen im 2. Programm (1980-1992) meistens wieder mit Material der 1. Generation angelegt.

1. und 2. Programm wurden vom Staat gefördert, indem die Anbaukosten und die ersten fünf Jahre Betrieb finanziell gedeckt wurden. Die Fördermittel für das zweite Programm waren aber begrenzt auf 60 Millionen SEK (\approx 6 Millionen €), d.h. 5 Millionen pro Jahr für den Zeitraum 1980-1992. Auf der Grundlage von Züchtung und den Ergebnissen der Nachkommenschaftsprüfungen hat man in Nordschweden mit dem Anbau begonnen. Die südschwedischen Fichtenplantagen wurden zu Ende des Programmzeitraums eingeplant. Die Förderungen waren aber nicht ausreichend, um das ganze Programm durchzuführen. Schon zu Beginn der 1990er Jahre wurden Anträge an den Staat für mehr finanzielle Unterstützung gestellt. Die negative Antwort vom Staat hatten zur Folge, dass das Programm unterbrochen und die letzten Plantagen nicht angelegt wurden. Die Forstbetriebe hatten kein Interesse, eigenes Geld für den Anbau einzusetzen. Heute gibt es deshalb einen Mangel an gezüchtetem Fichtensaatgut für Südschweden.

Die Plantagen aus dem 2. Programm sind heute alle in Produktion und werden für die Versorgung von Saatgut beerntet.

3.1.3 Das 3. Programm

Das 3. Programm umfasst 360 Hektar Fichten- und Kiefernplantagen, die im Zeitraum 2003-2014 angelegt werden. Die Plantagen sollen den ganzen Bedarf an gezüchtetem Saatgut für die Pflanzen-

produktion decken. Gesamtkosten des Programms sind rund 10 Millionen €, dieses Mal gibt es keine Förderungen vom Staat. Fast sämtliche Interessenten in der Forstwirtschaft sind am Programm beteiligt und stehen für die Kosten ein.

3.2 Züchtungspopulationen

Die Züchtung wird in rund 40 Züchtungspopulationen betrieben, und dies etwas mehr für Kiefer als für Fichte (siehe Abbildung 4).

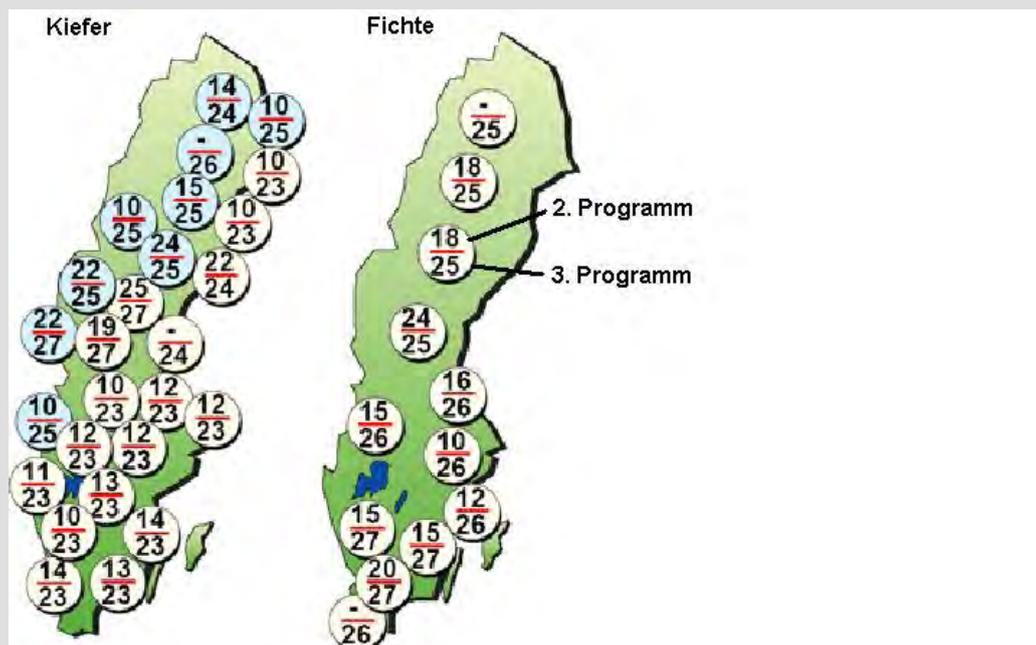
Ein Kreis stellt eine Züchtungspopulation dar. Die genetische Überlegenheit in Prozent verglichen mit dem besten Natursaatgut ist mit den Ziffern im Kreis beschrieben. Der Wert über dem Strich ist der genetische Gewinn im Zuwachs im 2. Samenplantagen-Programm, unter dem Strich die Erwartung gegenüber dem 3. Programm. Der Züchtungswert

der Klone in jeder Population wird aus Nachkommenschafts- und Klonprüfungen berechnet. Die Prüfungen sind an vier Orten wiederholt, zwei innerhalb der Verwendungszone sowie eine nördlich und eine südlich davon. Dadurch ist es möglich, nicht nur für den „momentanen“ Bedarf beim heutigen Klima, sondern auch für ein wärmeres (oder kälteres) Klima die am besten angepassten Klone zu wählen.

Abbildung 4 / Figure 4

Züchtungspopulationen für Kiefer und Fichte

Breeding populations for Scots pine and Norway spruce



3.3 Langfristige Saatgutversorgung

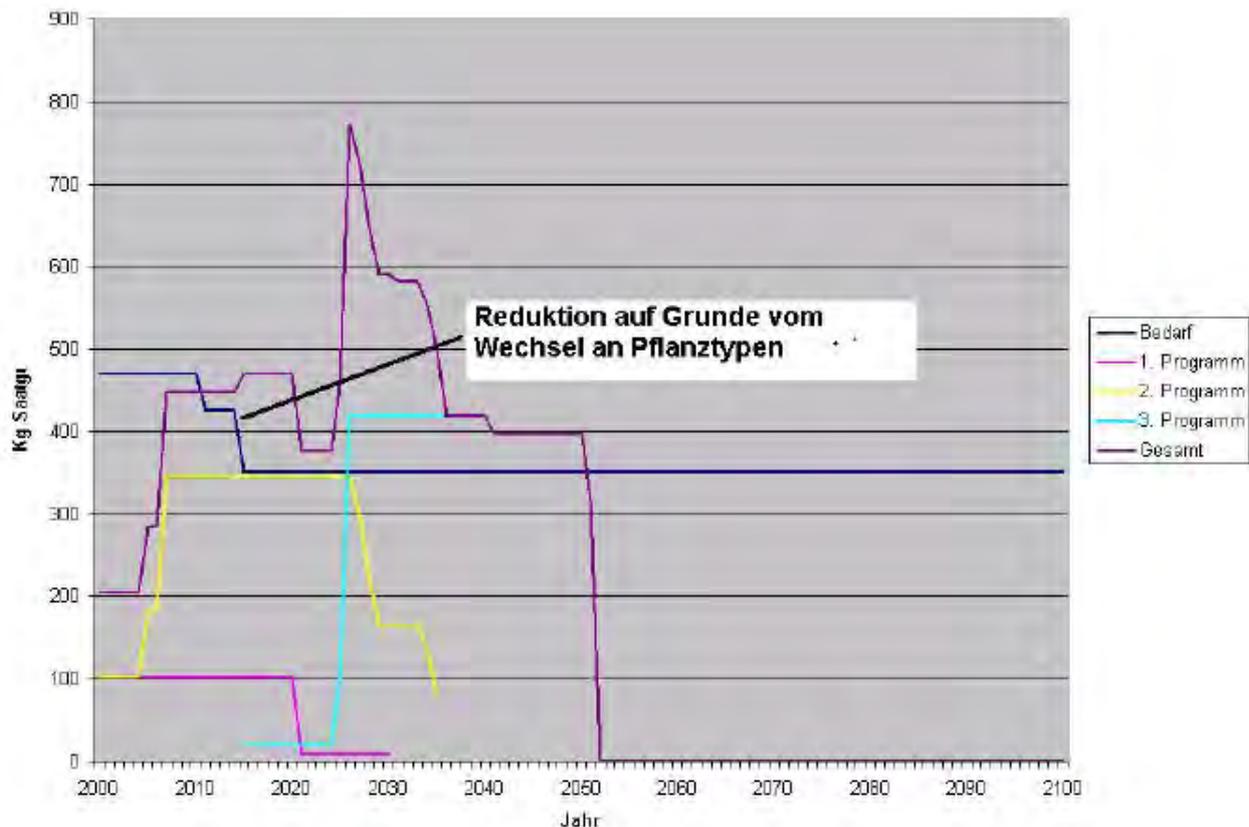
Für jedes klimatische Gebiet in Schweden ist der Bedarf an forstlichem Vermehrungsgut berechnet und beschrieben. Ein Beispiel, nämlich Fichte in Südschweden, ist in Abbildung 5 gegeben. Der Bedarf in diesem Gebiet wird in den nächsten Jahren bis zum Jahr 2020 von 480 kg Saatgut auf 350 kg sinken. Der Anlass dazu ist, dass die Nacktwurzel-pflanzen durch Containerpflanzen ersetzt werden, und da man rund 2½ Mal mehr Containerpflanzen

mit einem Kilo Saatgut bekommt, sinkt der Bedarf. In Abbildung 5 ist auch die Produktion der Samenplantagen in den verschiedenen Programmen dargestellt. Es wird deutlich, dass sich schon in einigen Jahren eine Überproduktion an Saatgut einstellt, wenn der Wechsel auf Containerpflanzen wie geplant durchgeführt wird.

Abbildung 5 / Figure 5

Langfristige Saatgutversorgung für Fichte in Südschweden

Long term seed procurement of Norway spruce in southern Sweden

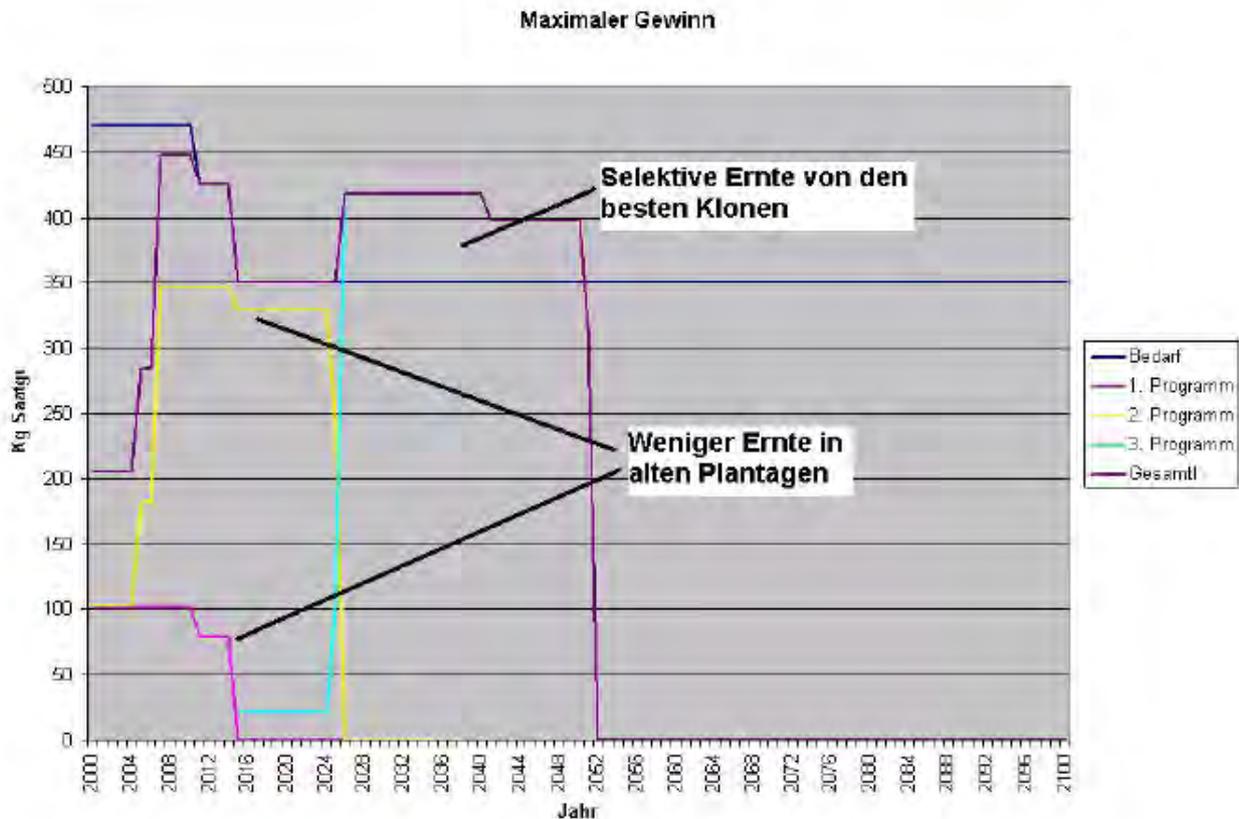


Um einen maximalen Gewinn zu erzielen, kann deshalb ein Szenario, wie in Abbildung 6 gezeigt, eintreten. Erstens soll so wenig wie möglich in den älteren Plantagen geerntet werden, d.h. nichts in den Plantagen aus dem 1. Programm und nur minimal aus dem 2. Programm. Da der Anbau von Plantagen im 3. Programm größer ist als der Bedarf,

werden nur die besten Klone selektiv beerntet. Das restliche Saatgut kann für Direktsaat im Wald verwendet werden.

Abbildung 6 / Figure 6

Maximaler Gewinn bei langfristiger Saatgutversorgung
 Maximum gain at long term seed procurement



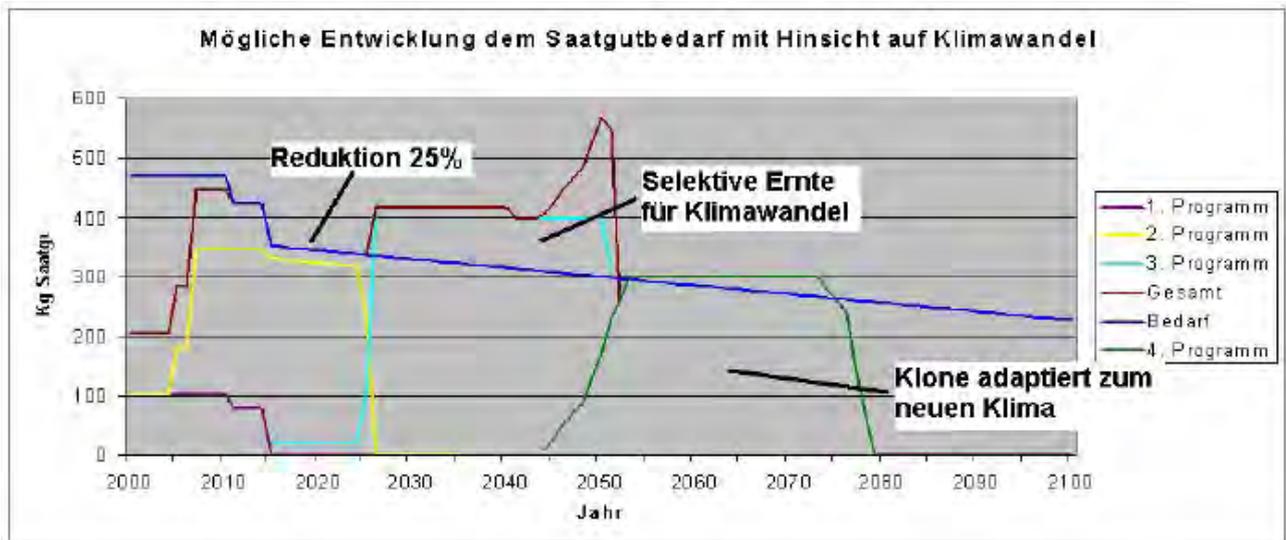
3.4 Klimatischer Einfluss auf die Saatgutversorgung

Voraussichtlich wird in den nächsten 100 Jahren eine Erhöhung der Temperatur mit 2 °C in Schweden eintreten. Für das oben genannte Gebiet in Südschweden hat dieses eine größere Bedeutung als weiter nördlich. In den milderen Teilen entlang der Küste wird mehr Laubholz angebaut. Andere Koniferen als Fichte und Kiefer werden verwendet werden. Die inneren Teile werden weniger unter Spätfrost leiden mit der Folge, dass eine sichere Aufforstung mit weniger Ergänzungspflanzung erfolgen kann. Der Bedarf an Fichtensaatgut in diesem Gebiet wird deshalb mit rund 25 % noch weniger.

Die mögliche Entwicklung in Hinsicht auf den Klimawandel ist in Abbildung 7 veranschaulicht. Wie zuvor werden die alten Plantagen weniger beerntet. Die Plantagen aus dem 3. Programm werden in Hinsicht auf Anpassung an eine höhere Temperatur selektiv beerntet. Die Temperatur hat bei der Aufforstung in den ersten Jahren den größten Einfluss, danach adaptieren sich die Bäume normalerweise an das aktuelle Klima. In 10-15 Jahren werden die neuen Samenplantagen angelegt. Die Klone für das 4. Programm werden dann für das berechnete Klima im Jahr 2045-2055 ausgewählt.

Mögliche Entwicklung des Saatgutbedarfs in Hinsicht auf den Klimawandel

Possible development of seed consumption with respect to the climate change



4 LITERATUR

ANONYMUS (2009a): Statistiska Centralbyrån, Statistikdatabasen.

ANONYMUS (2009b): Statistiska Centralbyrån, Statistikdatabasen,

JENSEN, H. (1942): Plantagemässig produktion av högvärdigt skogsfrö. Skogen 4:53-56.

JENSEN, H. (1945): Om elitfröplantager. Skogen 5:74-77.

LARSEN, C.S. (1934): Forest Tree breeding. Konglig Veterinær og Landbohøjskole, Aarskrift.

LARSON, C.S. (1956): Genetics in silviculture. Oliver & Boyd, Edinburgh, U.K. 224.

PRESCHE, F. (2007): Seed orchards – genetic considerations on function, management and seed procurement. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 75, 49 pages.

ROSVALL, O., WENNSTRÖM, U., ALMQVIST, C., ANDERSSON, B., KARLSSON, B. & SONESSON, J. (2003): Underlag för operativ planering av tredje omgångens fröplantager (TreO) i Sverige. Skogforsk, Arbetsrapport 550, 45 pages.

ZÜCHTUNG VON HYBRID-LÄRCHE IN DEUTSCHLAND - EIN BEISPIEL FÜR ERFOLGREICHE FORSTPFLANZENZÜCHTUNG?

BREEDING OF HYBRID LARCH IN GERMANY – AN EXAMPLE OF SUCCESSFUL IMPROVEMENT BY BREEDING IN FORESTRY?

V. Schneck

Johann Heinrich von Thünen-Institut, vTI-Institut für Forstgenetik, D-15377 Waldsiedersdorf

ABSTRACT

One hundred years ago spontaneous hybrids were described between European and Japanese larch. These hybrids outperformed their parent species for growth rate. These observations were the reason for starting experiments for artificial hybridisation in larch. A number of programmes were initiated for breeding hybrid larch in Germany between 1950 and 1980. Two of these programmes are described in this paper more in detail as examples for successful hybrid larch breeding. One is the programme for breeding of hybrid larch for the north-eastern German lowlands carried out at Waldsiedersdorf. The other was planned and carried out by Professor LANGNER together with the commercial seed company von Lochow-Petkus. Differences between both programmes exist in the methodology and the basic material (plus trees) for the crossings.

The Waldsiedersdorf programme contains 11 progeny tests with about 145 progenies, in the programme of LANGNER about 80 progenies are tested in 30 trials. All these trials were established between 1972 and 1992.

In general hybrid larch outperformed the pure larch species in growth rate in both programmes. It is possible to selected parent trees of well-growing hybrids and to approve them as parents of families in the category "tested" according the regulations for forest reproductive material. Furthermore grafted ramets of these trees can be planted in seed orchards for reproduction of the best hybrid larch families.

Besides these promising results no clear answer is possible to the question raised in the title of this paper. On the one hand, the story of hybrid larch is a very nice example for successful forest tree

breeding. On the other hand, there are only very few activities in practice to produce reproductive material of hybrid larch and moreover, the demand for such material is not very high in Germany up to now.

Keywords: *Larix x eurolepis*, hybrid larch, forest tree breeding, hybridisation, progeny test, growth

ZUSAMMENFASSUNG

Vor rund 100 Jahren wurden erstmals spontan entstandene Hybriden zwischen Europäischer und Japanischer Lärche beschrieben. Auffallend an diesen Hybriden war ihre hervorragende Wuchsleistung. Ausgehend von diesen Beobachtungen wurde Mitte der 1930er Jahre damit begonnen, Hybridlärchen durch künstliche, gelenkte Kreuzungen zu erzeugen und diese Nachkommenschaften in Versuchsanbauten zu prüfen. Zwischen 1950 und 1980 wurden dann an verschiedenen Orten in Deutschland Programme zur gezielten Züchtung von Hybrid-Lärchen initiiert. Zwei dieser Programme werden näher erläutert. Es handelt sich um das Zuchtprogramm für das nordostdeutsche Tiefland, das in Waldsiefersdorf verwirklicht wurde und um das Langzeitzuchtprogramm von Professor LANGNER in Zusammenarbeit mit der Saatzuchtfirma von Lochow-Petkus. Diese beiden Programme unterscheiden sich deutlich in der angewandten Methodik und den verwendeten Elternbäumen.

Das Waldsiefersdorfer Programm umfasst 11 Nachkommenschaftsprüfungen mit ca. 145 Nachkommenschaften, das LANGNERSche Programm

30 Prüfungen mit über 80 Nachkommenschaften. Alle Prüfversuche wurden zwischen 1972 und 1992 angelegt.

In beiden Programme konnte die Überlegenheit der Hybrid-Lärche im Wachstum gegenüber den reinen Arten eindrucksvoll belegt werden. Im Ergebnis beider Programme ist es möglich, eine Anzahl von Auslesebäumen zu identifizieren, die sehr gute Hybriden hervorbringen und somit für die Zulassung als Familieneltern in der Kategorie „Geprüft“ geeignet sind. Ebenso können Pflöpfung dieser Bäume für den Aufbau von Samenplantagen zur Reproduktion der besten Hybrid-Nachkommenschaften genutzt werden.

Die im Titel gestellte Frage lässt sich für Deutschland derzeit nicht eindeutig beantworten. Zwar ist die Züchtung von Hybrid-Lärchen ein eindrucksvolles Beispiel dafür, was mit Forstpflanzenzüchtung erreicht werden kann. Allerdings bedeutet erfolgreiche Forstpflanzenzüchtung auch, dass das verbesserte Material auch vermehrt und von der Praxis nachgefragt wird. Hier bestehen bei der Hybrid-Lärche noch erhebliche Defizite in Deutschland.

Schlagwörter: Hybrid-Lärche, *Larix x eurolepis*, Forstpflanzenzüchtung, Hybridisierung, Nachkommenschaftsprüfung, Wachstum

1 EINLEITUNG

Die Europäische Lärche (*Larix decidua* Mill.) kommt in Deutschland im Alpenraum natürlich vor. Darüber hinaus ist sie in vielen Gegenden aufgrund ihrer hohen Wuchsleistung und guten Holzqualität angepflanzt worden. Ihr derzeitiger Anteil an der Waldfläche liegt bei 3,2 % (ca. 225.000 ha).

Als zweite Lärchenart ist die Japanische Lärche (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.), die Ende des 19. Jahrhunderts nach Deutschland kam, auf ca. 0,7 % (73.000 ha) der Waldfläche vertreten.

Die züchterische Bearbeitung beider Lärchenarten beschränkte sich in Deutschland überwiegend auf die Selektion und Prüfung von Herkünften und

Beständen sowie die Anlage von Samenplantagen. Von deutlich größerem Interesse für die Forstpflanzenzüchtung ist die Hybridlärche (*Larix x eurolepis* Henry syn. *Larix x marschlinsii* Coaz). Dabei handelt es sich um das Ergebnis der Kreuzung zwischen der Europäischen und der Japanischen Lärche, wobei die beiden Arten sowohl als Mutter als auch als Vater fungieren können.

Vor rund 100 Jahren wurden erstmals spontan entstandene Hybriden zwischen der Europäischen Lärche und der Japanischen Lärche beobachtet und beschrieben (HENRY & FLOOD, 1919). Das Besondere an diesen Hybriden war ihre hervorragende Wuchsleistung, die deutlich besser war als die der reinen

Elternarten. Ausgehend von diesen Beobachtungen wurde ab Mitte der 1930er Jahre damit begonnen, Hybrid-Lärchen durch künstliche, gelenkte Kreuzungen zu erzeugen und diese Nachkommenschaften in Versuchsanbauten zu prüfen. In Deutschland wurden diese Arbeiten in Eberswalde und Müncheberg durchgeführt (DENGLER, 1941; LANGNER, 1951/52). Ein im Ergebnis dieser Kreuzungen angelegter Versuch im Forstamt Gahrenberg (Nordhessen) existiert in Teilen noch heute. Zwischen 1950 und 1980 wurden dann an verschiedenen Orten in Deutschland Programme zur gezielten Züchtung von Hybrid-Lärchen initiiert (DIMPFLMEIER, 1959; WEISER, 1992; HERING et al., 1989; LANGNER & SCHNECK, 1998). Auch in anderen Ländern beschäftigte man sich mit der Hybrid-Lärchenzüchtung (PAQUES 1989; WEISGERBER & ŠINDELÁR, 1992).

Die Europäische Lärche zeichnet sich durch rasches Jugendwachstum, gute Holzeigenschaften und eine breite Standortsamplitude aus. Deshalb wurde sie in der Vergangenheit auch außerhalb ihres natürlichen Areals umfangreich angebaut. Weiterhin können bei der Europäischen Lärche sowohl in der Wuchseistung als auch bei der Qualität erhebliche Herkunftsunterschiede beobachtet werden (SCHÖBER 1985; WEISGERBER & ŠINDELÁR, 1992).

Die Japanische Lärche hat ihr relativ kleines natürliches Verbreitungsgebiet in Japan. Sie stellt höhere Ansprüche an Luft- und Bodenfeuchte als die

Europäische Lärche, erreicht aber auf ihr zusagenden Standorten eine höhere Wuchseistung und ist resistent gegenüber dem Lärchenkrebs (*Lachnellula willkommii*). Auch sie wurde in der Vergangenheit in Deutschland verbreitet angebaut. Herkunftsversuche in Deutschland lassen nur geringe Unterschiede zwischen den Herkünften erkennen (SCHÖBER & RAU, 1991).

Die Hybrid-Lärche vereint viele der positiven Eigenschaften der beiden Elternarten in sich. Neben der bereits erwähnten hervorragenden Wuchseistung ist sie weitgehend krebsresistent und kann auf sehr unterschiedlichen Standorten angebaut werden.

Im Folgenden sollen zwei größere Zuchtprogramme aus der Vergangenheit näher erläutert werden. Das ist zum einen ein Programm zur Züchtung von Hybrid-Lärche für das Nordostdeutsche Tiefland, das in der Zweigstelle für Forstpflanzenzüchtung Waldsiefersdorf des ehemaligen Instituts für Forstwissenschaften Eberswalde durchgeführt wurde (Waldsiefersdorf) und zum anderen ein Langzeitprogramm zur Züchtung von Hybrid-Lärche, das von Professor LANGNER in Zusammenarbeit mit der Saatzuchtfirma von Lochow-Petkus realisiert wurde (WEISER 1992; LANGNER & SCHNECK, 1998).

2 ZUCHTPROGRAMME ALS BEISPIELE

2.1 Ziele

In der Zielstellung bestanden zwischen beiden Programmen wenige Unterschiede. Beide Programme zielten darauf ab, Hybrid-Lärchen mit sehr guter Wuchseistung, guter Qualität und gutem Anpassungsvermögen zu züchten. Dabei sollten gleichzeitig Verfahren entwickelt werden, die die möglichst schnelle Bereitstellung von Hybrid-Lärchen für den Anbau in der forstlichen Praxis ermöglichen. Auch wenn die gesetzlichen Regelungen für forstliches Vermehrungsgut zum Zeitpunkt des Beginns dieser Programme andere waren als heute, war es doch ein wichtiges Ziel, Ausgangsmaterial

für geprüftes Vermehrungsgut zur Zulassung zu bringen.

Unterschiede gab es bei der Umsetzung der Programme. Während beim Waldsiefersdorfer Programm die Kreuzungspläne so ausgelegt waren, dass insbesondere Plusbäume mit guter spezieller Kombinationseignung identifiziert werden konnten, wurde beim LANGNERSCHEN Programm auf das Auffinden von Mutterbäumen mit guter allgemeiner Kombinationseignung gesetzt.

2.2 Material und Methoden

Die Arbeiten zur Erzeugung der Hybridnachkommenschaften begannen bei beiden Programmen ab ca. Ende 1965. Allerdings wurde der Grundstein für beide Programme eher gelegt. Zwischen 1950 und 1960 wurden viele Plusbäume beider Lärchenarten

selektiert, abgepfropft und in Klonsammlungen ausgepflanzt. Diese Sammlungen bildeten die Ausgangsbasis der Zuchtprogramme (Abbildung 1).

Abbildung 1 / Figure 1

Ausgangsmaterial der Zuchtprogramme

Basic material of the breeding programmes

A) Waldsiefersdorf

- 780 Ausleseebäume der Europäischen Lärche
 - Sekundäranbauten
 - Sudeten
 - Polen

- 190 Klone der Japanischen Lärche
 - aus dem natürlichen Verbreitungsgebiet
 - aus ostdeutschen Anbauten

B) LANGNER

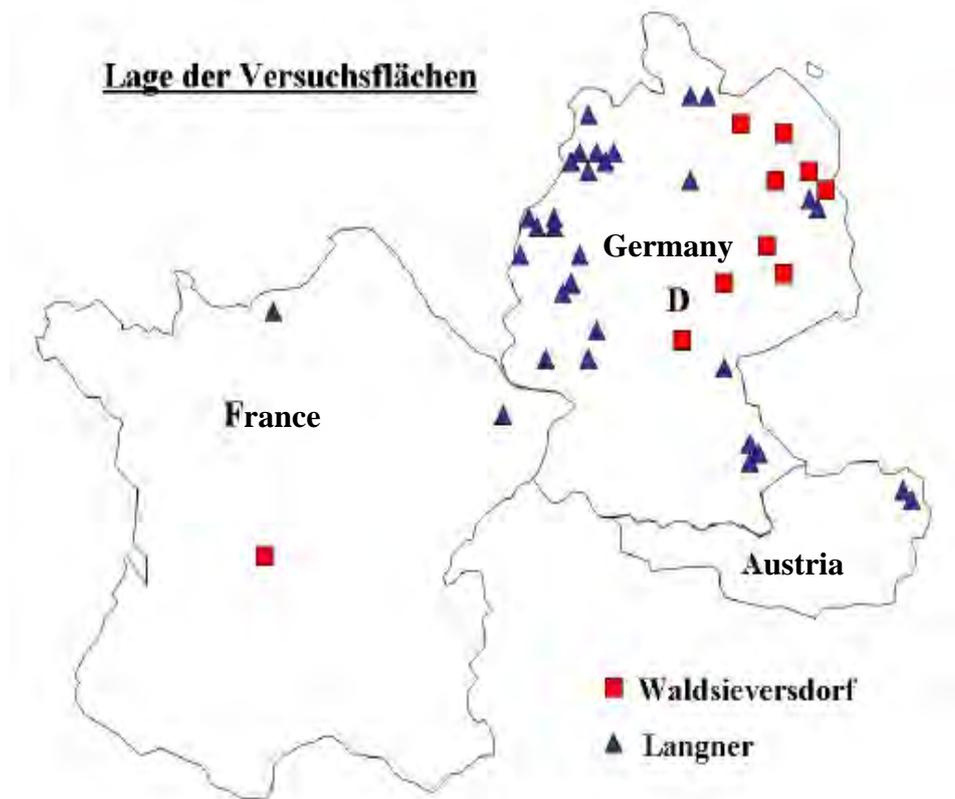
- 460 Ausleseebäume der Europäischen Lärche
 - Alpen
 - Sekundäranbauten
 - Sudeten

- verschiedene Bestände und ein Klonarchiv der Japanischen Lärche (aus Japan)

Hinsichtlich der Methodik unterscheiden sich die beiden Kreuzungsprogramme deutlich. Im **Waldsiefersdorfer Programm** wurden gelenkte Kreuzungen mit Isolation der weiblichen Blüten vorgenommen. Die Kreuzungen wurden als unvollständige Diallele in drei Serien durchgeführt. Dabei waren wegen verschiedener Ursachen (schwankendes Blütenangebot, Spätfrostschäden) die Kreuzungspläne so unvollständig, dass nur die überlegenen Kombinationen identifiziert werden konnten, aber kaum Aussagen über die allgemeine Kombinations-eignung der Elternbäume möglich waren. Insgesamt wurden zwischen 1970 und 1990 250 Kreuzungskombinationen realisiert, von denen 144 als Nachkommenschaften in Prüfversuchen ausgepflanzt wurden. Dabei hat der überwiegende Teil der Hybriden die Europäische Lärche als Mutter. Es gibt

aber auch eine gewisse Anzahl von Hybriden, bei denen der Mutterbaum eine Japanische Lärche ist. Insgesamt wurden 11 Versuchsflächen innerhalb der Kreuzungsserien angelegt (drei 1974, zwei 1986, sechs 1992).

Die Flächen befinden sich hauptsächlich im Nordostdeutschen Tiefland (Abbildung 2). Zum Vergleich wurden Pflanzen aus Absaaten guter zugelassener Bestände der Europäischen Lärche in die Versuche einbezogen. Auf Absaaten Japanischer Lärchen wurde bewusst verzichtet, da es im Osten Deutschlands nur wenige Standorte für den Anbau dieser Baumart gibt. Allerdings sind auf zwei Flächen Nachkommenschaften aus Kreuzungen zwischen Ausleseebäumen der Japanische Lärche vertreten.



Beim **Programm von LANGNER** wurde auf gelenkte Kreuzungen wegen des zu hohen Aufwands verzichtet. Vielmehr wurden Pfropflinge der Europäischen Lärche klonweise getrennt in eine lückige Klon-sammlung mit Japanischer Lärche sowie in verschiedene Japan-Lärchenbestände gepflanzt. Zwischen den einzelnen Klonen betrug der Mindestabstand 50 m, so dass davon ausgegangen werden konnte, dass die Europäischen Lärchen überwiegend durch Japan-Lärchen bestäubt wurden.

Insgesamt wurden auf diese Weise 81 Hybridnachkommenschaften erzeugt. Diese wurden zusammen mit Absaaten von Beständen der beiden Elternarten sowie von Mischbeständen, die einen gewissen Anteil Hybriden im Saatgut erwarten ließen, auf 30 Versuchsflächen angebaut (Abbildung 2). Die Anlage der Versuchsflächen erfolgte kontinuierlich zwischen 1972 und 1989. Je Versuchsfläche wurden zwischen 4 und 20 Hybridfamilien angepflanzt.

Viele dieser Familien sind auf mehr als einer Fläche vertreten.

Der Schwerpunkt der Versuchsflächen befindet sich in Westdeutschland. Erwähnt werden soll noch, dass die Versuchsflächen entsprechend des Abschneidens der reinen Arten als besser für die Europäische oder die Japanische Lärche geeignet eingeteilt wurden.

2.3 Ergebnisse

Generell hat sich in beiden Programmen die überlegene Wuchsleistung der Hybriden gegenüber den reinen Arten gezeigt. In Abbildung 3 sind Ergebnisse für das Einzelstammeschaftsholzvolumen der einzelnen Gruppen von Nachkommenschaften auf den drei Versuchsflächen der 1. Kreuzungsserie des Waldsiewersdorfer Programms dargestellt. Auf den Flächen stocken zwischen 40 und 70 Nachkommenschaften. Die Flächen befinden sich in Mecklenburg (Lübz), Nordbrandenburg (Pfefferteich) und Sachsen (Flössberg). Lübz und Flössberg sind gut nährstoffversorgte, mittelfrische Standorte, Pfefferteich ist mittel nährstoffversorgt und mittelfrisch.

Auf allen Flächen waren die Unterschiede zwischen den Nachkommenschaften deutlich und statistisch signifikant. Die Mehrleistung der beiden Hybridgruppen gegenüber dem Mittel der Bestandesabsaaten der Europäischen Lärche betrug 6-10 % im

Höhenwachstum und 22-30 % beim Einzelstammvolumen. Diese Zahlen beziehen sich auf die Mittelwerte der Gruppen. Die Überlegenheit der besten Hybridfamilien fiel noch deutlich höher aus. Interessanter Weise gab es keinen Unterschied im Mittel zwischen den beiden Hybridgruppen, das heißt, dass es nicht relevant war, welche der beiden Arten als Mutter oder Vater fungierte. Das schwache Abschneiden der wenigen Nachkommenschaften aus intraspezifischen Kreuzungen der Japanlärche gegen über der reinen Europäischen Lärche belegt, dass die Versuchstandorte für reine Japanlärche eher ungeeignet sind.

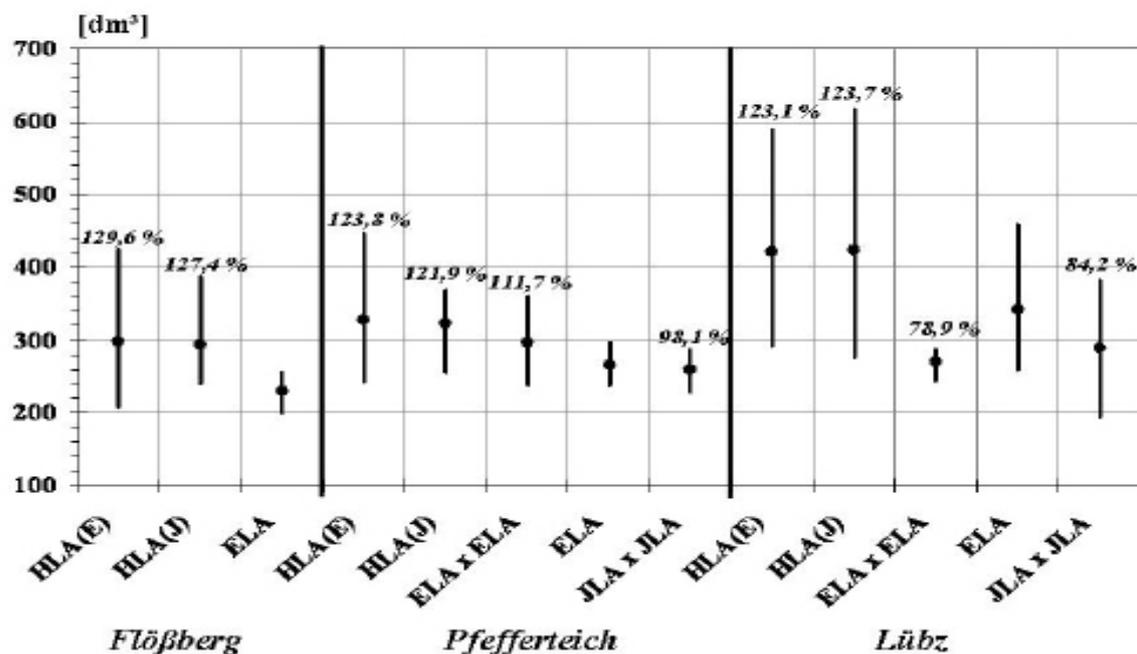
Bezüglich der Stammform gab es große Unterschiede zwischen den Nachkommenschaften, aber auch innerhalb der Nachkommenschaftsgruppen. Allerdings wiesen eine ganze Reihe von Hybridfamilien sehr gute Stammformen auf.

Abbildung 3 / Figure 3

Mittel und Spannweite verschiedener Gruppen von Nachkommenschaften für das Einzelstammeschaftsholzvolumen im Alter 34

Mean and range for different groups of progenies for the single tree stem volume at age 34

Nachkommenschaftsprüfung von 1974 – Einzelstammvolumen 2005



Anhand der vorliegenden Ergebnisse können mindestens neun Familien identifiziert werden, die sehr gute und überlegene Wuchsleistung mit ausreichend guter Stammform kombinieren und deren Eltern über eine gute spezielle Kombinations-eignung verfügen (SCHNECK & SCHNECK, 2007).

Auch in den Versuchen des Programms von LANGNER waren viele Hybridfamilien deutlich wüchsiger als die Absaaten der Bestände der reinen Arten. Die Absaaten der Mischbestände nahmen oft eine Mittelstellung ein, was ein Ergebnis eines gewissen Anteils an Hybriden sein kann. In Abbildung 4 sind für Familien, die auf mindestens drei Versuchsflächen stocken, mittlere Werte der relativen Leistung

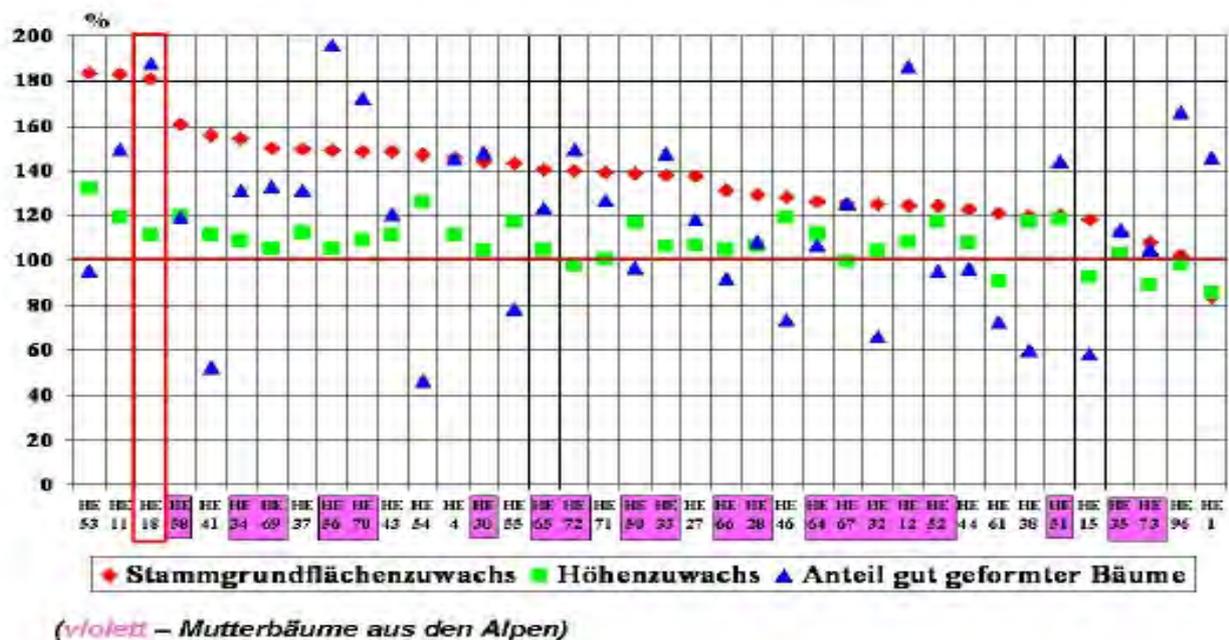
im Vergleich zum jeweils besten Standard (Absaat eines Bestandes von Europäischer oder Japanischer Lärche) für verschiedene Merkmale dargestellt.

Insbesondere beim jährlichen Stammgrundflächenzuwachs waren die Hybriden dem Standard deutlich überlegen. So erreichten viele Hybriden 120-180 % der Leistung der reinen Arten bei diesem Merkmal. Generell gilt dies auch für den Höhenzuwachs, wenn auch auf deutlich niedrigerem Niveau. Allerdings schnitten einige Hybridfamilien bei diesem Merkmal schlechter als der beste Standard ab.

Abbildung 4 / Figure 4

Mittelwerte ausgewählter Hybridfamilien für relative Werte von Stammgrundflächenzuwachs, Höhenzuwachs und Anteil gut geformter Bäume (bezogen auf den jeweils besten Standard)

Means of relative performance for annual basal area increment, annual height increment, and number of well-formed trees of selected hybrid families in relation to the respective best standard



Bei der Schaftform gab es große Unterschiede zwischen den Hybridfamilien. Hier zeigte sich ein klarer Einfluss der Herkunft der Europäischen Lärche als Mutterbaum. Insbesondere Mutterbäume aus den Alpen erbrachten Hybridfamilien mit einem hohen Anteil an gut geformten Bäumen.

Hingewiesen werden soll auf die Familie HE 18. Diese Familie entspricht der zugelassenen Samenplantage „Küchengarten“, deren Saatgut unter der Bezeichnung „LOLA 1“ vermarktet wird. Diese Familie wurde auf 11 Versuchsflächen angebaut und befand sich auf nahezu allen Flächen in der Spitzen-gruppe.

3 DISKUSSIONEN

Die Ergebnisse beider Zuchtprogramme belegen eindrucksvoll das Potenzial der Hybrid-Lärche. Sie können somit als Beispiel dafür dienen, dass Forstpflanzenzüchtung erfolgreich sein kann und damit einen Beitrag zur Erhöhung der Massen- und Wertleistung des Waldes zu leisten vermag. Trotzdem taucht im Titel dieses Beitrags ein Fragezeichen auf. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass die Ergebnisse dieser Züchtungsarbeiten leider nur sehr zögerlich in die Praxis umgesetzt werden. So erlauben die Ergebnisse beider Programme die Auswahl einer ganzen Anzahl von Familien, deren Elternbäume die Kriterien für eine Zulassung als Familieneltern in der Kategorie „Geprüft“ nach dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) erfüllen. Ebenso können mit Pflanzlingen dieser Elternbäume Samenplantagen angelegt werden, die dann in der Kategorie „Geprüft“ zulassungsfähig wären. In der Regel würde es sich um Bi-Klonsamenplantagen handeln, in denen die in den Versuchen besten Kombinationen reproduziert werden. Um die genetische Vielfalt in solchen Plantagen zu erhöhen, wäre es möglich, einen Mutterklon mit guter allgemeiner Kombinationseignung mit mehreren Vaterklonen der anderen Art zu kombinieren. Das entspricht dem Ansatz im Langnerschen Programm, wo bei der Anlage der bereits erwähnten Samenplantage „Küchergarten“ ein Klon der Europäischen Lärche (Feh 17) mit vielen verschiedenen Bäumen (Genotypen) der Japanischen Lärche kombiniert wurde.

Denkbar wäre es auch, mehrere Klone beider Arten in einer Plantage zusammen auszupflanzen. In diesem Fall entstehen neben interspezifischen Hybriden auch intraspezifische Kreuzungsfamilien. Zweckmäßiger Weise sollten auch diese Kombinationen innerhalb der Art bereits in Nachkommenschaftsprüfungen ihre gute Eignung unter Beweis gestellt haben. Untersuchungen in Sachsen haben gezeigt, dass der Anteil an Hybriden in der Nachkommenschaft einer Samenplantage mit vier Mutterklonen der Europäischen Lärche zwischen 45 % und 85 % liegt (TRÖBER & HAASEMANN, 2000). Der Anteil der Hybriden kann während der Anzucht

in der Baumschule noch erhöht werden, wenn die Pflanzen konsequent nach Größe sortiert werden.

Weiterhin könnte die Vielfalt vom Vermehrungsgut erhöht werden, wenn das Saatgut mehrerer Hybrid-Lärchensamenplantagen gemischt wird.

Derzeit sind in Deutschland drei Hybrid-Lärchen-Samenplantagen zugelassen und werden regelmäßig beerntet. Darüber hinaus sind Plusbäume als Familieneltern zugelassen. Diese können für den Aufbau weiterer Samenplantagen genutzt werden oder es wird Saatgut durch wiederholte kontrollierte Kreuzungen reproduziert. Momentan befinden sich mindestens zwei weitere Samenplantagen zur Erzeugung von Hybrid-Lärchensaatgut im Aufbau.

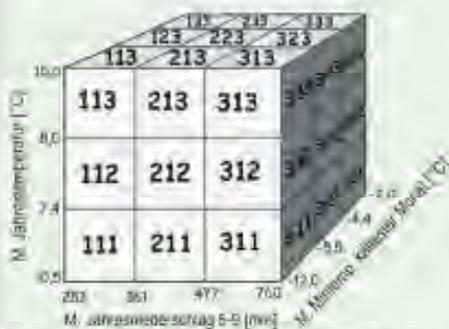
Es besteht noch eine Reihe von offenen oder noch nicht abschließend geklärten Fragen. Dazu gehört unter anderem, wie sich Hybrid-Lärchen mit zunehmendem Alter verhalten. Die hier vorgestellten Ergebnisse geben bereits einen Hinweis darauf, dass die Hybridüberlegenheit auch mit zunehmendem Alter bestehen bleibt. Probleme könnten auf die Hybrid-Lärche und auch die anderen Lärchenarten zukommen, wenn sich das Klima ändert. Als Baumarten der borealen bzw. montanen Zone könnten die Lärchen unter einer Klimaerwärmung leiden. Bisher gibt es allerdings zumindest für die Hybrid-Lärche keine Hinweise darauf. Ebenso fehlt es noch an Untersuchungen zu Holzeigenschaften von Hybrid-Lärchen.

Abschließend soll noch einmal auf das große Potenzial der Hybrid-Lärche hingewiesen werden. In diesem Zusammenhang ist es umso bedauerlicher, dass es momentan kaum Aktivitäten gibt, um die bestehenden Zuchtprogramme zu erhalten, ihre Ergebnisse zu nutzen und die noch vorhandenen Klonsammlungen mit Auslesebäumen beider Lärchenarten zu erhalten und zu verjüngen. Gerade Letzteres ist notwendig, wenn in der Zukunft noch Samenplantagen auf der Grundlage der Ergebnisse der vorgestellten Nachkommenschaftsprüfungen angelegt werden sollen.

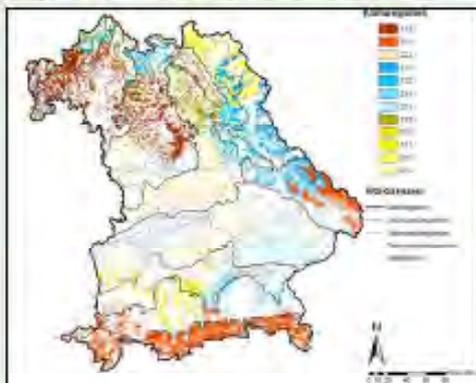
4 LITERATUR

- DENGLER, A. (1941): Bericht über Kreuzungsversuche zwischen europäischer und japanischer Lärche. Mitteilungen der Akademie der deutschen Forstwissenschaften 1: 87-109.
- DIMPFLMEIER, R. (1959): Die Bastardierung in der Gattung *Larix*. Beihefte zum Forstwissenschaftlichen Centralblatt 12.
- HENRY, A. & FLOOD, M.G. (1919): The history of the Dunkeld hybrid larch, *Larix eurolepis*, with notes on other hybrid conifers. Proceedings of the Royal Irish Academy, Vol. 35, Sect. B, pp.55-67.
- HERING, S., HAASEMANN, W. & BRAUN, H. (1989): Ergebnisse eines 19-jährigen Anbauversuchs mit Hybrid-, Europäer- und Japanerlärchen im Rauchschatzgebiet des oberen Erzgebirges. Beiträge für die Forstwirtschaft 23: 11-17.
- LANGNER, W. (1951/52): Kreuzungsversuche mit *Larix europaea* (D. C.) und *Larix leptolepis* (Gord.). Zeitschrift für Forstgenetik 1: 2-18; 40-56.
- LANGNER, W. & SCHNECK, V. (1998): Ein Beitrag zur Züchtung von Hybridlärchen (*Larix x eurolepis* Henry). J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/Main, 159 Seiten.
- PAQUES, L.E. (1989): A critical review of larch hybridization and its incidence on breeding strategies. Annales Science Forestière 46: 141-153.
- SCHNECK, V. & SCHNECK, D. (2007): Testing of hybrid larch under different site conditions in Germany. In: Perron, M. (comp.): Integrated research activities for supply of improved larch to tree planting. Proceedings of the International Symposium of IUFRO Work. Gr. S2.02.07, Quebec, 2007, pp.97-100.
- SCHOBER, R. (1985): Neue Ergebnisse des II. Internationalen Lärchenprovenienzversuches von 1958/59 nach Aufnahme von Teilversuchen in 11 europäischen Ländern und den USA. Schriften der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 83, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M., 164 Seiten.
- SCHOBER, R. & RAU, H.-M. (1991): Ergebnisse des I. Internationalen Japanlärchen-Provenienzversuchs. Schriften der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 102, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M., 168 Seiten.
- TRÖBER, U. & HAASEMANN, W. (2000): Pollination effects in a larch hybrid seed orchard. Forest Genetics 7: 77-82.
- WEISER, F. (1992): Tree improvement of larch at Waldsieversdorf: Status and prospects. Silvae Genetica 41: 181-188.
- WEISGERBER, H. & ŠINDELÁR, J. (1992): IUFRO's role in coniferous tree improvement. - History, results and future trends of research and international cooperation with European larch (*Larix decidua* Mill.). Silvae Genetica 41: 150-161.

Mit dem Dreifach-Filter zur passenden Gastbaumart



**27 Klimatypen auf der Grundlage
dreier Klimagrößen mit je drei
Regionen gleicher Flächenrelevanz**



Ansprechpartner:
Dr. Martin Bachmann, LWF,
martin.bachmann@lwf.bayern.de
Dr. Monika Konnert, ASP,
monika.konnert@asp.bayern.de

Klima-Filter

bestehend aus einer weltweiten GIS-basierten Suche nach Klimaregionen, in welchen die für Bayern sowohl aktuellen als auch gemäß dem Szenario B1 prognostizierten Klimabedingungen auf engem Raum nebeneinander (Höhengradienten) vorgefunden wurden mehr.

Nutzwert-Filter

einem Nutzwert-Filter in Form einer Nutzwertanalyse, welche forstökonomische, forstökologische und forstsoziologische Gesichtspunkte bewertete,

Vorschlag für Versuchsanbau

Als Ergebnis der Studie werden die Nadelbaumarten *Abies bornmuelleriana* MATTF., *Pinus peuce* GRISEB (unter Umständen *Pinus ponderosa* DOUGL.) sowie die Laubbaumarten *Fagus orientalis* LIPSKY, und *Tilia tomentosa* MOENCH für Versuchsanbauten favorisiert. Für die Auswahl der Versuchsfelder ist es besonders wichtig, den erwarteten Klimawandel anhand einer Simulation der zeitlichen Entwicklung durch räumliche Entfernung vorwegzunehmen und deshalb Kooperationen mit verschiedenen Partnern zu prüfen. Will man zum Beispiel die Anbaueignung für die Untermainebene bestimmen, so könnten die Versuchsanbauten dafür im Wallis (Schweiz) oder im Burgenland (Österreich) liegen.

LITERATUR / REFERNCES

BACHMANN, M., KONNERT, M. & SCHMIEDINGER, A. (2009): Vielfalt schaffen, Risiko verringern – Gastbaumarten als Alternative zur Fichte. LWF-Wissen 63: 22-30.

SCHMIEDINGER, A., BACHMANN, M., KÖLLING, CH. & SCHIRMER, R. (2009): Verfahren zur Auswahl von Baumarten für Anbauversuche vor dem Hintergrund des Klimawandels. Forstarchiv 80: 15-22.

MIT DEM DREIFACH-FILTER ZUR PASSENDEN GASTBAUMART (POSTER)

APPLYING THE THREE-FOLD FILTER FOR FINDING THE PROPER FOREIGN GUEST TREE SPECIES

M. Bachmann¹ & M. Konnert²

¹ Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Sachgebiet Waldbau, D-85354 Freising

² Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP), D-83317 Teisendorf

ABSTRACT

For South Germany even moderate climate prognoses assume that in the period of 2071 to 2100 the mean annual temperature of about 2 °C (as related to the climate period 1961-1990) will increase while at the same time the precipitation during the vegetation period will be reduced at about 10-25 %.

It is uncertain whether or not respectively, in which way the indigenous tree species will cope with these alterations. Those regions are particularly concerned where a climate is expected that has not yet been observed here before and is which completely novel for the larger circuit and which is denominated "non-analogous climate".

Up to now however, recommendations for alternative tree species can only be set on the base of literature results since in many cases systematic comparing experimental cultivations are missing. This test phase which ideally should span several

rotation periods, is an urgent precondition to set up recommendations for forest practice. This is because not only the growing performance of the tree species have to be examined as a wanted chief virtue, but also the unsolicited side effects on the soil and the biotic environment.

The identification of tree species which are favourable for forestry and climate adaptable for Bavarian conditions in view of future experimental cultures is realized by means of a stratified "three-filter-procedure":

- (1) a **climate filter** consisting of the global GIS-based quest for climate regions where both current climate conditions as well as those predicted according to scenario B1 are found for Bavaria being present close to each other (elevation gradient);
- (2) a **value of benefit filter** realized by a value of benefit analysis which validates forest economic, forest ecological and forest-sociological aspects;

- (3) a **cultivating filter** which is applied to investigate for which preselected tree species only insufficient cultivating experience is present.

As a result of this study, e.g. the coniferous tree species Bornmueller's fir (*Abies bornmuelleriana* MATTF.) and Macedonian pine (*Pinus peuce* GRISEB.) as well as the deciduous tree species Oriental beech (*Fagus orientalis* LIPSKY) and Silver linden (*Tilia tomentosa* MOENCH) are favoured for experimental cultivation. However, it could not be settled conclusively whether for all suggested tree species seeds of the ascertained provenances can be provided.

Acquiring seeds is one of the most prominent tasks when preparing the cultivation test. Reliable and sound experimental results may only be expected if on the one side the stringent approach of tree species selection by establishing experimental plots is carried on, and on the other side if the provenance regions of the sown tree species reflect the climate conditions selected by means of the climate filter.

Last but not least it is planned to cultivate each four coniferous and two deciduous tree species on six experimental plots in Bavaria and some other Federal German States being suited according to their climatic conditions as well as in Switzerland and in Austria. All these plots will be supervised a science-based manner.

Keywords: three-fold filter, climate change, change in tree species, proper foreign tree species, South Germany

ZUSAMMENFASSUNG

Bereits moderate Klimaprognosen gehen im Zeitraum von 2071 bis 2100 für Süddeutschland von einem Anstieg der Jahresmitteltemperatur um etwa 2 °C, bezogen auf die Klimaperiode 1961 bis 1990 und einem gleichzeitigen Rückgang der Niederschläge in der Vegetationsperiode um 10-25 % aus.

Ob und wie heimische Baumarten diese Veränderungen bewältigen werden, ist ungewiss. Dies gilt in besonderem Maße für jene Regionen, in denen ein bislang nicht realisiertes, für den größeren Umkreis völlig neuartiges, so genanntes „nicht-analoges“ Klima erwartet wird.

Empfehlungen für alternative Baumarten können jedoch bislang nur auf der Grundlage von Literaturbefunden gegeben werden, da planmäßige vergleichende Versuchsanbauten in vielen Fällen fehlen. Diese Testphase, welche sich im Idealfall über einen Zeitraum von mehreren Umtriebszeiten erstrecken

sollte, ist aber eine zwingende Voraussetzung für Praxisempfehlungen. Denn es müssen nicht nur das Wuchsverhalten der Baumarten als erwünschte Hauptwirkung, sondern auch die unerwünschten Nebenwirkungen auf Boden und belebte Umwelt geprüft werden.

Die Identifikation forstwirtschaftlich interessanter und für bayerische Verhältnisse klimagerechter Baumarten für kommende Versuchsanbauten erfolgt mit Hilfe eines stratifizierten Drei-Filter-Verfahrens:

- (1) einem **Klima-Filter**, bestehend aus einer weltweiten GIS-basierten Suche nach Klimaregionen, in welchen die für Bayern sowohl aktuellen als auch gemäß dem Szenario B1 prognostizierten Klimabedingungen auf engem Raum nebeneinander (Höhengradienten) vorgefunden werden;
- (2) einem **Nutzwert-Filter** in Form einer Nutzwertanalyse, welche forstökonomische, forstökologische und forstsoziologische Gesichtspunkte bewertet sowie
- (3) einem **Anbaufilter**, in dem recherchiert wird, für welche vorausgewählten Baumarten noch keine ausreichenden Anbauerfahrungen vorliegen.

Als Ergebnis der Studie werden z. B. die Nadelbaumarten Bornmüllers Tanne (*Abies bornmuelleriana* MATTF.) und Balkankiefer (*Pinus peuce* GRISEB) sowie die Laubbaumarten Orient-Buche (*Fagus orientalis* LIPSKY) und Silber-Linde (*Tilia tomentosa* MOENCH) für Versuchsanbauten favorisiert. Allerdings konnte noch nicht abschließend geklärt werden, ob für alle vorgeschlagenen Baumarten Saatgut der ermittelten Herkunft beschafft werden kann.

Die Saatgutbeschaffung ist eine der wichtigsten Aufgaben bei der Vorbereitung des Anbauversuchs.

Verlässliche und aussagekräftige Versuchsergebnisse sind nur dann zu erwarten, wenn einerseits der stringente Ansatz der Baumartenauswahl in der Begründung der Versuchsflächen eine Weiterführung erfährt und andererseits die Herkunftsregionen der ausgesäten Baumarten die Klimabedingungen der mittels Klimafilter ausgewählten Bereiche widerspiegeln.

Letztendlich ist geplant, auf sechs wissenschaftlich begleiteten Versuchsflächen in Bayern und anderen, von den klimatischen Bedingungen her geeigneten Bundesländern sowie in der Schweiz und in Österreich jeweils vier Nadelholz- und zwei Laubholzarten im Versuch anzubauen.

Schlagwörter: Dreifachfilter, Klimawandel, Baumartenwechsel, geeignete Fremdländerarten, Süddeutschland

ANPASSUNG DER THÜRINGER BAUMARTENEMPFEHLUNGEN AN DEN KLIMAWANDEL (POSTER)

IN VIEW OF THE CLIMATE CHANGE ADAPTATION OF THE RECOMMENDATIONS FOR THE TREE SPECIES IN THURINGIA

N. Frischbier, I. Profft & W. Arenhövel

Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei (TLWJF), D-99867 Gotha

ABSTRACT

In view of the climate change this paper and the corresponding partner outline the current work which is done in Thuringia to develop suitable recommendations for the tree species and forest types useful in the future. A modified site classification was developed that combines updated climate and soil information. Based on this classification, a fact sheet was prepared for each site class containing all available information about site requirements, productivity and growing potential of tree species and forest ecotypes. Thereafter, prospective tree species recommendations and silvicultural forest types will be defined for all site classes using these fact sheets. Subsequently, site specific recommendations will be evaluated and ranked according to multifunctional objectives, *i.e.* final recommendations are supposed to fulfil ecosystem services and functions in an optimal manner, but also meet the demands and expectations of society while continuing to make an invaluable contribution to the economy.

Keywords: climate change, adaptation, choice of tree species, silvicultural forest types

ZUSAMMENFASSUNG

Vorgehen und Arbeitsstand zur Empfehlung klimawandelangepasster Baumarten und Bestandeszieltypen in Thüringen werden skizziert. Für jede in Thüringen erwartete Standortsituation wurde ein Steckbrief aufbereitet, in dem das vorhandene Wissen zur Angepasstheit und Leistungsfähigkeit einzelner Baumarten und Pflanzengesellschaften zusammengetragen ist. Anhand dieser Entscheidungsgrundlage werden anbauwürdige Bestandeszieltypen ausgewählt und anschließend hinsichtlich multifunktionaler Zielstellungen bewertet, um dem Waldbesitzer letztlich eine Rangfolge innerhalb seiner konkreten Wahlmöglichkeiten aus verschiedenen anbauwürdigen Waldbildern vorschlagen zu können.

Schlagwörter: Klimawandel, Anpassung, Baumartenwahl, Bestandeszieltypen

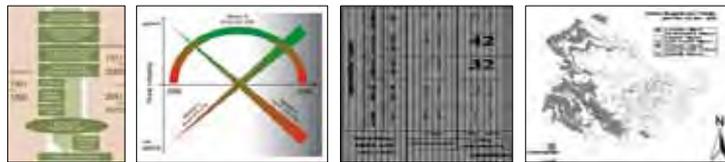


Anpassung der Thüringer Baumartenempfehlungen an den Klimawandel

Zu den Handlungsmöglichkeiten einer forstlichen Anpassungsstrategie an den Klimawandel zählt stets auch die **Adaptation der Baumartenausstattung**. Neben der Artensteuerung in bestehenden **Waldbildern** werden häufig räumliche oder thematische **Bereiche** identifiziert, in denen die **multifunktionale Leistungsfähigkeit des Waldes** durch **Baumartenwechsel** gesichert werden soll. Am Beispiel **Thüringer Standortverhältnisse** wird ein mögliches **Vorgehen zur Empfehlung klimawandelangepasster Baumarten & Waldbilder (Bestandeszieltypen)** skizziert.

Für jede **Standortssituation** in Thüringen (insg. 785) wurde ein „**Steckbrief**“ **aufbereitet**, in dem das **vorhandene Wissen zur Angepasstheit**, und **Leistungsfähigkeit einzelner Baumarten** und **Pflanzengesellschaften** **zusammengetragen** ist, um **Empfehlungen** auf **fundierter Grundlage** zu gewährleisten.

• sog. **Standortseinheiten** sind aus der langen Tradition der flächendeckenden bodenkundlichen Kartierung Thüringens hervorgegangen (z.B. MG2: terrestrischer, mesotropher, mittelfrischer Standort aus skelettärmeren Silikatgestein)

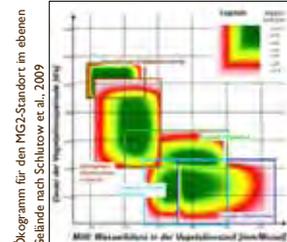


• eine neue forstliche **Klimagliederung** ist für die Klimaperiode 2041-2070 anhand der klimatischen Wasserbilanz i. d. Vegetationszeit und der Vegetationszeitlänge (WETTREG, SRES-Szenario A1B) erstellt (z.B. 34: gering subozeanisch-mäßig warm)

• für diese Standortssituationen sind aus mehr als 17.000 Vegetationsaufnahmen realisierte (Waldgesellschaften) und fundamentale **Nischen** (Baumarten) auf Basis von **Existenzmöglichkeitsgraden** geschätzt und modelliert

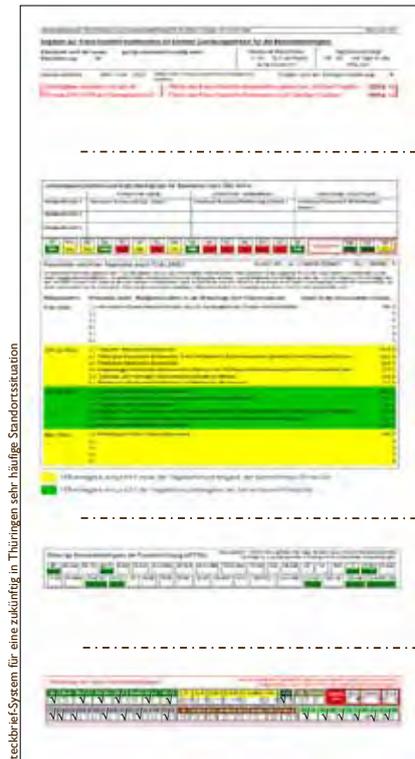
• auch die aufbereitete **pnV** Thüringens (TLUG, 2008) lässt Vorhersagen zur Vitalität möglicher **Waldbilder** zu

• die Bewertung der **Standortsangepasstheit fremdländischer Baumarten** bleibt momentan noch auf **Ähnlichkeiten zu heimischen Arten** beschränkt



• **bisherige Baumarten- u. Bestandeszieltypenempfehlungen** wurden nach den Belangen der neuen Klimakenngrößen u. -stufen (Klimaperiode 1971-2000) bewertet (Analogieschlüsse sind aber nur beschränkt zulässig.)

• zukünftig bedeutendere oder sogar bisher gänzlich unbekannte **Klimasituationen**, neue **Bewirtschaftungserfahrungen** u. -konzepte münden in Festlegungen zur Vielfalt **neuer standörtlich u. waldbaulich möglicher Bestandeszieltypen**.



Nach der Ableitung standörtlich-waldbaulich möglicher Empfehlungen für die Fülle Thüringer Verhältnisse gilt es, diese Mannigfaltigkeit hinsichtlich multifunktionaler Zielstellungen zu bewerten und Rangfolgen festzulegen.

1 EINLEITUNG

Die Anpassung waldbaulicher Konzepte und forstbetrieblicher Planungen an die zu erwartenden klimatischen Veränderungen wird von Wissenschaft, Praxis und Politik gefordert (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2008). Unter den Handlungsmöglichkeiten einer umfassenden forstlichen Anpassungsstrategie ist stets auch die Modifikation und Adaptation der Baumartenausstattung an veränderte Umweltbedingungen zu finden.

Neben den vielfältigen Möglichkeiten der Baumartensteuerung in aktuellen Waldbildern werden häufig Bereiche identifiziert, in denen die multifunktionale Leistungsfähigkeit des Waldes durch einen aktiven Baumartenwechsel gesichert werden muss (SEILER et al., 2007). Dabei wird der Ruf nach

angepassten und anpassungsfähigen Baumarten laut.

Auch in Thüringen besteht die Notwendigkeit für Baumartenempfehlungen, die den Aspekten des Klimawandels gerecht werden. Diese Empfehlungen müssen mindestens die Standortvielfalt Thüringens berücksichtigen, d.h. Klimagradienten, Trophie, Substrat und reliefbedingte Feuchtestufe des Bodens, den Prinzipien von Naturnähe, Standortgerechtigkeit, Struktur- und Biodiversität gerecht werden und auch zukünftig den vielfältigen Ansprüchen an den Wald genügen.

2 METHODEN & ERGEBNISSE

2.1 Neue forstliche Klimagliederung

Die bisher für Thüringer Waldbesitzer und Forstbehörden gültigen Baumartenempfehlungen werden den Unsicherheiten, die sich aus der Dynamik des Klimawandels ergeben, nur ungenügend gerecht. Dies liegt einerseits begründet in der statischen, retrospektiven Herleitung dieser Empfehlungen aus bestehenden Waldbildern, Erfahrungen und pNV-Analogien. Andererseits basieren sie auf einer forstlichen Klimagliederung, die auf Klimawerte vergangener Jahrzehnte zurückgreift. Die klimatische Dynamik der letzten Dekaden äußert sich heute bereits in der nur noch mäßigen Treffgenauigkeit dieser alten Klimagliederung (PROFFT et al., 2007). Deshalb wurde die flächendeckende bodenkundliche Kartierung Thüringens mit einer neuen klimatischen Gliederung des Landes kombiniert, die auf pflanzenphysiologisch relevanten Klimaparametern des Projektionszeitraumes 2041-2070 nach dem A1B-Szenario beruht (FRISCHBIER & PROFFT, 2008). Veränderlichen Klimakonditionen innerhalb der nächsten Waldgeneration soll damit Rechnung getragen werden.

Gerade in der zuwachsstarken Jugendphase heute zu begründender Bestände werden durch maximale Klimaangepasstheit beste Wuchsleistungen und Vitalitäten so weit wie möglich sichergestellt. In der Phase der Bestandesbegründung und im Baumholzstadium kann mit waldbaulichen Methoden und betrieblichen Konzepten den suboptimalen Klimabedingungen begegnet werden. Voraussetzung hierfür ist natürlich, dass die verwendete Regionalisierung (WETTREG), der dafür herangezogene Datensatz aus dem Globalmodell (ECHAM5/MPI-OM) sowie das eigene Berechnen und Downscaling der Klimagrößen Vegetationszeitlänge und klimatische Wasserbilanz innerhalb der Vegetationszeit die tatsächlichen Bedingungen der Periode 2041-2070 gut abbilden. Da dies nicht unbedingt zu erwarten ist, wurden gröbere Klimaklassen auf Basis bewährter mesoklimatischer Unterteilungen des Landes gebildet. Rein modellbedingte Pseudogenauigkeiten auf Pixelniveau wurden somit relativiert, ohne auf die einzigen, verfügbaren Informationen einer möglichen Klimaentwicklung aus den Modellprojektionen verzichten zu müssen.

2.2 Waldbildzuweisung anhand vielfältiger Informationen

Die natürliche Heterogenität der Standortbedingungen Thüringens spiegelt sich mit insgesamt 785 erwarteten Kombinationen aus Klimagliederung und Bodenkartierung gut wieder. Für diese Variantenvielfalt wird Wissen zur Angepasstheit, Anpassungs- und Leistungsfähigkeit einzelner Baumarten und Pflanzengesellschaften zusammengetragen und dadurch die Ableitung und Definition funktionaler Baumartenmischungen auf der Basis eines modifizierten Bestandeszieltypenkatalogs für Thüringen möglich.

Dieser Katalog umfasst zukünftig insgesamt 40 Bestandeszieltypen. Sie umschreiben die in

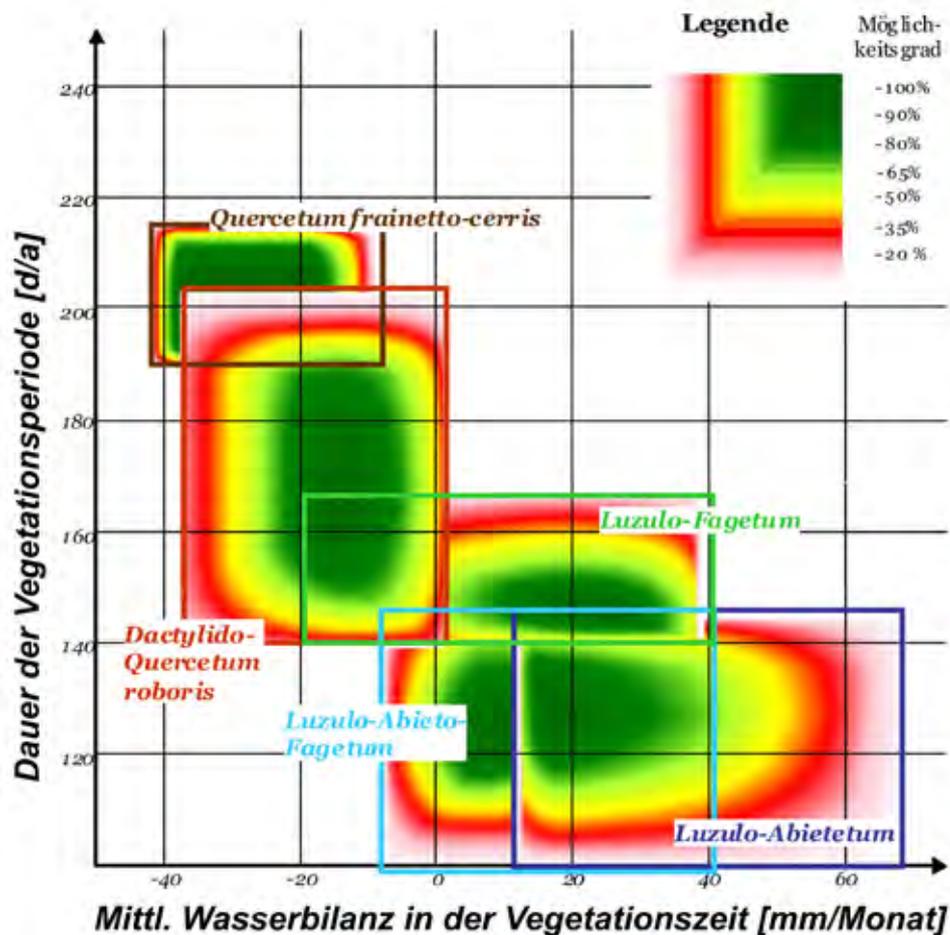
Thüringen anzustrebende Baumartenausstattung im einzelnen Waldbestand im Baumholzstadium mit einer Hauptbaumart, möglichen Mischbaumarten (20-50 % Flächenanteil) und ausdrücklicher Berücksichtigung von Nebenbaumarten (auf bis zu 20 % Flächenanteilen).

Neben der Aufbereitung bisheriger Anbauempfehlungen und pnV-Kartierungen werden hierzu fundamentale und realisierte Einnischnungen von Arten und Gesellschaften modelliert (SCHLUTOW et al., 2009, vgl. Abbildung 1), Forstinventuren analysiert, Waldbegänge durchgeführt bzw. Waldbilder diskutiert, Risikoanalysen integriert und der wissenschaftliche Konsens zu Baumartenarealen und -grenzen auf den Naturraum Thüringens angewendet.

Abbildung 1 / Figure 1

Klimaökogramm der Waldgesellschaften auf terrestrischen, mesotrophen, mittelfrischen Standorten im ebenen Gelände aus skelettärmeren Silikatgestein (MG2).

Ecogram of forest types for terrestrial, mesotrophic moderately moist and lower skeletal silicate in the plane (MG2).



Diese Einzelbefunde werden für jede in Thüringen relevante Standortseinheit in einem Steckbrief zusammengeführt. Mit Hilfe dieser gebündelten Information werden die definierten Bestandesziel-

typen hinsichtlich Naturnähe, Standortsgerechtigkeit und Vielfalt bewertet und damit letztlich ihre jeweilige prinzipielle Anbauwürdigkeit festgelegt.

3 AUSBLICK

Zukünftig gilt es, aus der Menge anbauwürdiger Bestandeszieltypen sowohl diejenigen hervorzuheben, die den multifunktionalen Zielstellungen einer nachhaltigen Waldwirtschaft besonders gut gerecht

werden, als auch solche zu identifizieren, welche bei Vorrang einer bestimmten Funktionshauptgruppe (Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen) favorisiert werden sollten.

4 LITERATUR / REFERENCES

DEUTSCHER BUNDESTAG (2008): Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. 16/11595, Berlin, 52 Seiten.

FRISCHBIER, N. & PROFFT, I. (2008): Praxisorientierte Regionalisierung forstlich relevanter Klimawerte und -szenarien für Thüringen. Forst und Holz, 63. Jg., Nr. 10: 24-29.

PROFFT, I., SEILER, M. & ARENHÖVEL, W. (2007): Die Zukunft der Fichte in Thüringen vor dem Hintergrund des Klimawandels. Forst und Holz, 62 Jg., Nr. 2: 19-25.

SCHLUTOW, A., PROFFT, I. & FRISCHBIER, N. (2009): Das BERN-Modell als Instrument zur Einschätzung der Anpassbarkeit von Waldgesellschaften und Baumarten an den Klimawandel in Thüringen. Forst und Holz, 64 Jg., Nr. 4: 31-37.

SEILER, M., ARENHÖVEL, W. & PROFFT, I. (2007): Waldbauliche Konsequenzen für Thüringen. In: Klimaschutz und Klimawandel – Rolle der Forstwirtschaft. Mitteilungen der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei, Gotha, Nr. 29, S. 28-41.



Untersuchung genetischer Variation im Hinblick auf Anpassungsvorgänge entlang eines Umweltgradienten in einem Eichenniederwaldvorkommen in Rheinland-Pfalz

Robin Haas¹, Werner Misner², Barbara Vornhagen³, Oliver Gailing³, Robert Finkbeiner³ und Ludger Leininger^{3*}

¹Forschungszentrum für Waldökologie und Forstwirtschaft, Hohenheim 16, D-47 700 Duppelak

²Abteilung Forstgenetik und Forstfloristik
Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Georg-August-Universität Göttingen
Bürgerweg 5, D-37077 Göttingen

³School of Plant, Soil and Environmental Science
Michigan Technological University
1400 Townsend Drive
Houghton MI 49931-129

Einleitung

Im Hinblick auf einen prognostizierten Klimawandel handelt es sich bei den Eichenniederwäldern in Rheinland-Pfalz um Populationen, die bereits seit Generationen jenseits des ökologischen Optimums unter widrigen und im Wesentlichen durch geringe Wasserversorgung geprägten Umweltbedingungen existieren. Aufgrund ihrer ausgeprägten Vorbereitung über verschiedenste ökologische Grundzustände stellen die Eichenniederwälder für Rheinland-Pfalz eine erhebliche potentielle Genreserve dar.

Von besonderer Bedeutung ist dabei die Frage, ob selektive Prozesse zu einer widerstandsfähigen Verfestigung des Genpools von Eichenniederwäldern geführt haben oder ob allein die Plastizität dieser Baumart ausreicht, sich unter einer von Trockenstress geprägten Umwelt zu überleben. Die Beantwortung dieser Fragestellung besitzt weitreichende praktische Relevanz: Sollten selektive Prozesse zu einer Verfestigung genetischer Strukturen im Hinblick auf Trockenstress geführt haben, würde der Genpool von Eichenniederwäldern eine wichtige „Sicherheitsreserve“ darstellen und Verfestigungstendenzen aus diesem Vorkommen wäre geeignet, mittels auf prognostizierte Klimastressoren zu reagieren. Wenn selektive Prozesse nicht nachweisbar sind, kann dies darauf hinweisen, dass das im Lauf der Evolution angesammelte Anpassungspotential der Art ausreicht, um die Überlebensfähigkeit von Eichenwäldern in Rheinland-Pfalz zu sichern.

Fragestellung

Zeigen neutrale und/oder potentiell adaptive Marker Unterschiede zwischen den beiden Kollektiven Beständen?

- a) Was sind sowohl neutrale als auch potentiell anpassungsrelevante Marker genetische Unterschiede auf?
- b) Korreliert die genetische Variation der potentiell anpassungsrelevanten Marker mit dem unterschiedlichen Umwelt (Wasserversorgung) während die neutralen Marker keine Differenzierung zeigen.

Material

An einem Trockenhang an der Mosel wurde ein Eichenniederwaldvorkommen beprobt. Dabei wurden drei Kollektive gebildet, die entsprechende Teilpopulationen am Ober-, Mittel- und Unterhang repräsentieren. Zufällsmäßig wurden jeweils 40 Bäume in den drei Kollektiven beprobt. Die unterschiedlichen Wachstumsbedingungen in den Teilkollektiven sind im Wesentlichen durch unterschiedliche Wasserversorgung geprägt. Die Mittelreihen der Teilkollektive besitzen 4 m am Oberhang, 8 m am Mittelhang und 15 m am Unterhang. Als Vergleichsbestand wurde ein zugewandener Eichensauwaldbestand (AH, 4x, Alter 115 Jahre, Wasserhaushaltszufuhr reichlich frisch) im Fontenat Zell, Rweiler Liesenloch beprobt.

Methoden

Von insgesamt 160 Proben wurde DNS extrahiert. Es wurden zwei Markerpanels verwendet. Markerpanel 1 besteht aus korrelierten SSRs, die im Hinblick auf Anpassungsvorgänge neutral sind (wzQpZAG 1/5, wzQpZAG9, Stenitzli et al. 1997). Das zweite Markerpanel besteht aus ausgewählten korrelierten SSRs, die direkt im Bereich von potentiell adaptiven Genen lokalisiert sind (CTD64171, CTTR3316, LIP32 und AF, Gailing unveröff.) und einem Bereich des Delytrin 3 (Dhr3) Gen, das hinsichtlich der An- bzw. Abwesenheit eines Inzels (von Insertion/Deletion) charakterisiert wird. Es wird davon ausgegangen, dass die Anwesenheit der Insertion unter Trockenstress physiologisch vorteilhaft ist (Vornhagen et al. eingereicht).

Abb. 1: Oberhang (links) und Unterhang (rechts) im Moselwald



Abb. 2: Sequenz von Dhr3 mit Inzels (rot markiert)



Abb. 3: Fragmente für das Bereich des Inzels im Dhr3-Gen und daraus resultierende Genotypen



Ergebnisse

Im Vorkommen an der Mosel zeigen die neutralen Marker aber auch das Delytrin 3 Fragment bezüglich der allelischen und genotypischen Strukturen keine signifikanten Unterschiede entlang des Umweltgradienten. Lediglich zwei der potentiell adaptiven SSR-Marker zeigten signifikante oder sogar hochsignifikante Unterschiede, diese können jedoch bei der gegebenen Stichprobengröße nicht abschließend abgeklärt werden.

Marker	Allele	Genotypen
wzQpZAG1/5	0.5	0.3
wzQpZAG9	0.6	0.3
CTTR3316	0.5	0.4
LIP32	0.5	(*)
AF	0.5	0.3
CTD64171	1(*)	(**)
Dhr3	0.5	0.5

Tab. 1: Test auf signifikante Unterschiede der genetischen Strukturen zwischen den Teilkollektiven im Moselbestand

Marker	Allele	Genotypen
wzQpZAG1/5	0.3	0.5
wzQpZAG9	0.5	0.6
CTTR3316	0.6	0.5
LIP32	(**)	(**)
AF	0.5	0.3
CTD64171	(*)	(*)
Dhr3	-	**

Tab. 2: Test auf signifikante Unterschiede der genetischen Strukturen zwischen dem Moselbestand FA Zell und dem Fontenatbestand

Zwischen dem Vorkommen an der Mosel und dem Erbforstbestand im Fontenat Zell treten abgeklärte Unterschiede der genetischen Strukturen für das Delytrin 3 Fragment auf (Tab. 2), diese sind bezüglich der allelischen Strukturen signifikant und bezüglich der genotypischen Strukturen hochsignifikant. Von den übrigen Genmarkern deuten lediglich einige der potentiell adaptiven Gene signifikante Unterschiede zwischen Beständen an. Am Genort Dhr3 tritt im Erbforstbestand FA Zell das Allel 2 mit 62,5 % auf, während im Moselbestand das Allel 1 mit über 50% am häufigsten ist. Im Vergleich der genotypischen Strukturen ist der physiologisch vorteilhafte Genotyp 11 (Abb. 5) im Moselbestand deutlich häufiger, während im Erbforstbestand FA Zell der heterozygote Genotyp 12 dominiert. Die genotypischen Strukturen am Genort Dhr3 im Moselbestand weisen nahezu Hardy-Weinberg Proportionen auf, der Erbforstbestand hingegen eine hohen Überschuss des heterozygoten Genotyps (Abb. 6).



Abb. 4: Allelische Strukturen am Genort Dhr3-basiert mit einem genetischen Abstand von 15,7% zwischen dem Moselbestand und dem Erbforstbestand FA Zell



Abb. 5: genotypische Strukturen am Genort Dhr3-basiert mit einem genetischen Abstand von 23,4 % zwischen dem Moselbestand und dem Erbforstbestand FA Zell

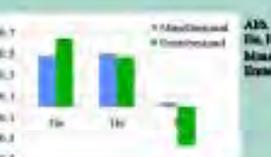


Abb. 6: Vergleich von Allel- und Genotypen im Mosel- und Erbforstbestand.

Zusammenfassung

Neutrale und potentiell adaptive Gen-Marker zeigen keine Unterschiede der genetischen Strukturen von Kollektiven entlang eines Umweltgradienten in dem untersuchten Eichenniederwaldbestand. Im Vergleich zwischen dem Moselvorkommen und dem Erbforstbestand konnten signifikante Unterschiede der genetischen Strukturen für das Delytrin3-Gen nachgewiesen werden. Im Vergleich dazu zeigen die neutralen Marker keine Unterschiede. Damit ist nicht auszuschließen, dass die genetischen Strukturen am Delytrin3-Genort tatsächlich aus spezifischen adaptiven Prozessen in dem untersuchten Eichenniederwaldvorkommen resultieren.

Lizenz: <https://doi.org/10.26907/2542-2961.2024.17.195-198>
Bibliografie: Haas R, Misner W, Vornhagen B, Gailing O, Finkbeiner R, Leininger L (2024) 195-198

UNTERSUCHUNG GENETISCHER VARIATION IM HINBLICK AUF ANPASSUNGSVORGÄNGE ENTLANG EINES UMWELTGRADIENTEN IN EINEM EICHENNIEDERWALDVORKOMMEN IN RHEINLAND-PFALZ (POSTER)

A STUDY ON GENETIC VARIATION IN VIEW OF ADAPTATION PROCESSES ALONG AN ENVIRONMENTAL GRADIENT IN AN OAK COPPICE POPULATION IN RHINELAND-PALATINATE (GERMANY)

B. Haase¹, W. Maurer¹, B. Vornam², O. Gailing³, R. Finkeldey² & L. Leinemann²

¹ Forschungsanstalt für Waldökologie & Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (FAWF), Referat Nachhaltige Waldbewirtschaftung, Schloss, D-67705 Tripstadt

² Fakultät für Forstwissenschaften & Waldökologie, Büsgen-Institut der Georg-August-Universität, Büsgenweg 2, D-37073 Göttingen

³ School of Forest Resources & Environmental Science, Houghton, Michigan (USA)

ABSTRACT

Oak coppice stands in Rhineland-Palatinate are populations which exist for generations beyond the ecological optimum under unfavorable environmental conditions that are especially characterized by low water supply. Due to their exhaustive spreading over the most diverse basic ecological units, oak coppice stands thus represent a substantial potential gene resource.

From the genetic point of view, the questions are of particular importance for these oak stands: Do selective processes bring about discernable changes of the gene pools of oak coppice forests? Or does exclusively the plasticity of this tree species suffice to survive under an environment characterized by drought stress?

If selective processes cannot be verified, this observation may point to the fact that the evolutionary gained adaptation potential inherent to the species is sufficient to secure the survival capacity of these oak populations in Rhineland-Palatinate.

A scientifically profound explanation would mean a far-reaching practice related relevance. If selective processes have lead to an alteration of genetic structures, the gene pool of these coppice oak stands would represent an important "security reserve". Reproductive material from these sources would then be suited to react on the predicted climatic changes promptly.

First answers should be given by a comparative genetic study using biochemical-genetic and

molecular genetic gene markers for selected coppice stands along the Mosel River slopes as well as for a regular reference stand approved for seed harvesting.

Since the genetic structures of neutral gene markers do not reflect in general adaptation processes, conclusions aiming at the causes of genetic differentiation may be drawn by a comparison using adaptation relevant gene markers.

If neutral and adaptive gene markers reveal in the same way genetic differentiation between the populations under study, adaptive processes are hardly probable as the base of differentiation. Factors may play a role to a greater degree based on the different histories of the stands. Contrary to this fact, the assumption of different adaptive processes in the different collectives under study is supported, provided any genetic differentiation can be observed exclusively at adaptation relevant gene loci.

Preliminary results of this study indicate that in the oak coppice forest neutral and potentially adaptive gene markers do not reveal significant differences between the genetic structures of three sub-collectives along an environmental gradient. As a consequence the assumption cannot be supported that the genetic structures of the three sub-collectives reflect directly adaptation processes to the strongly differing environmental conditions.

Also when considering the oak coppice stand in its entirety, highly balanced genetic structures become apparent. However, on the base of these results it is not possible to reject the assumption of adaptation relevance of the **dehydrin3 gene locus** which is correlated to drought stress by considering its allelic structures.

Particularly the fact is meaningful that just a snapshot of a dynamic adaptation process can be taken only by one single study. Thus, a uniform distribution of alleles is not an indicator for the absence of adaptation processes, which perhaps may have already occurred in the past and may have brought about the currently balanced genetic structures in interaction with the reproduction system.

Significant differences in the allelic structures could be observed when comparing the oak coppice population along the Mosel River slope and the reference stand. This fact indicated a specific role of the **dehydrin3 gene (Dh3 gene)** when considering adaptive processes at the extremely different sites in the two stands under study.

Altogether the results clearly indicate that the genetic structures at the **Dh3 gene locus** actually

result from locally specific adaptive processes in the oak population under study.

It is suggested that more studies in coppice and high forest stands including a somewhat higher number of samples will be encouraging. Probably another step could be done by these analyses towards establishing an efficient drought stress gene marker. For practical purpose these markers would be a significant support in supplying reproductive material with relevant properties.

Keywords: oak, *Quercus spec.*, low forest, climate change, adaptation, gene marker, dehydrin3, gene locus

This study was carried out in 2009 in a benefit project, financially supported by the former Ministry for Environment, Forestry and Consumer Protection (MUFV) of Rhineland-Palatinate (Germany).

ZUSAMMENFASSUNG

Bei den Eichenniederwäldern in Rheinland-Pfalz handelt es sich um Populationen, die bereits seit Generationen jenseits des ökologischen Optimums unter widrigen und im Wesentlichen durch geringe Wasserversorgung geprägten Umweltbedingungen existieren. Aufgrund ihrer ausgedehnten Verbreitung über verschiedenste ökologische Grundeinheiten stellen Eichenniederwälder für Rheinland-Pfalz damit eine erhebliche potenzielle Genressource dar.

Aus genetischer Sicht von besonderer Bedeutung für diese Eichenbestände sind dabei die Fragen: Haben selektive Prozesse zu einer wahrnehmbaren Veränderung des Genpools von Eichenniederwäldern geführt? Oder reicht allein die Plastizität dieser Baumart aus, auch in einer von Trockenstress geprägten Umwelt zu überleben?

Eine wissenschaftlich fundierte Erklärung würde weitreichende praktische Relevanz bedeuten. Sollten selektive Prozesse zu einer Veränderung genetischer Strukturen im Hinblick auf Trockenstress geführt haben, würde der Genpool von Eichenniederwäldern eine wichtige Eichenniederwäldern geführt? Oder reicht allein die Plastizität dieser Baumart aus, auch unter einer von Trockenstress geprägten Umwelt zu überleben?

Wenn selektive Prozesse nicht nachweisbar sind, kann dies darauf hinweisen, dass das im Lauf der Evolution angesammelte Anpassungspotenzial der Art ausreicht, um die Überlebensfähigkeit von Eichenvorkommen in Rheinland-Pfalz zu sichern.

Eine wissenschaftlich fundierte Erklärung würde weitreichende praktische Relevanz bedeuten. Sollten selektive Prozesse zu einer Veränderung

genetischer Strukturen im Hinblick auf Trockenstress geführt haben, würde der Genpool von Eichenniederwäldern eine wichtige „Sicherheitsreserve“ darstellen. Vermehrungsgut aus diesen Vorkommen wäre dann geeignet, zeitnah auf prognostizierte Klimaänderungen zu reagieren.

Erste Antworten soll eine vergleichende genetische Studie mit biochemisch-genetischen und molekulargenetischen Genmarkern an ausgewählten Niederwaldvorkommen an den Moselhängen und einem zugelassenen Saatguterntebestand geben.

Da die genetischen Strukturen neutraler Genmarker in der Regel keine Anpassungsprozesse reflektieren, kann aus dem Vergleich mit anpassungsrelevanten Genmarkern auf die Ursachen einer genetischen Differenzierung geschlossen werden.

Zeigen neutrale und adaptive Genmarker in gleicher Weise eine genetische Differenzierung zwischen den Vorkommen, sind adaptive Prozesse als Grundlage der Differenzierung wenig wahrscheinlich. Vielmehr können dann Faktoren eine Rolle spielen, die in der unterschiedlichen Entstehungsgeschichte der Vorkommen begründet sind. Im Gegensatz dazu wird die Annahme unterschiedlicher adaptiver Prozesse in den verschiedenen Untersuchungskollektiven gestützt, falls eine genetische Differenzierung ausschließlich an adaptiv relevanten Genorten beobachtet werden kann.

Vorläufige Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass in dem untersuchten Eichenniederwald neutrale und potenziell adaptive Genmarker keine signifikanten Unterschiede zwischen den genetischen Strukturen von drei Teilkollektiven entlang eines Umweltgradienten zeigen. So kann die Vermutung, dass die genetischen Strukturen der drei Teilkollektive direkt Anpassungsprozesse an die stark unterschiedlichen Umweltbedingungen widerspiegeln, daher nicht gestützt werden.

Auch bei Betrachtung des Eichen-Niederwaldvorkommens in seiner Gesamtheit offenbaren sich sehr ausgeglichene genetische Strukturen. Dennoch ist es auf der Grundlage dieser Ergebnisse nicht möglich, die Vermutung der Anpassungsrelevanz des **Dehydrin3-Genortes**, der hinsichtlich seiner allelischen Strukturen mit Trockenstress korreliert ist, zu verwerfen.

Insbesondere der Umstand ist hier von Bedeutung, dass mit einer einmaligen Untersuchung nur eine Momentaufnahme aus einem dynamischen Anpassungsprozess gelingen kann. Eine Gleichverteilung von Allelen ist somit kein Indikator für die Abwesenheit von Anpassungsprozessen, die möglicherweise bereits in der Vergangenheit stattgefunden haben und im Zusammenspiel mit dem Reproduktionssystem zu den aktuell ausgeglichenen geneti-

schen Strukturen geführt haben.

Im Vergleich zwischen dem Eichen-Moselhangvorkommen und dem Referenzbestand konnten signifikante Unterschiede der Allelstrukturen beobachtet werden. Dies spricht für eine besondere Rolle des **Dehydrin3-Gens (Dh3-Gen)** im Hinblick auf Anpassungsprozesse an die extrem unterschiedlichen Standorte in den beiden Untersuchungsbeständen.

Insgesamt geben die Ergebnisse deutliche Hinweise darauf, dass die genetischen Strukturen am **Dh3-Genort** tatsächlich aus lokal spezifischen adaptiven Prozessen in den untersuchten Eichen-vorkommen resultieren.

Weitere Untersuchungen in Nieder- und Hochwaldvorkommen mit etwas erhöhten Stichprobenumfängen wären vielversprechend. Möglicherweise könnte mit diesen Analysen ein weiterer Schritt in Richtung der Etablierung eines effizienten Trockenstress-Genmarkers getan werden. In der praktischen Anwendung würde dies eine erhebliche Hilfestellung bei der Bereitstellung von Vermehrungsgut mit entsprechenden Eigenschaften darstellen.

Schlagerwörter: Eiche, *Quercus spec.*, Niederwald, Klimawandel, Anpassung, Genmarker, Dehydrin3-Genort

Die Untersuchung wurde 2009 in einem Zuwendungsprojekt durchgeführt, finanziert aus Mitteln des vormaligen Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz (MUFV) Rheinland-Pfalz.

LITERATUR/REFERENCE

VORNAM, B., GAILING, O., DERORY, J., PLOMION, C., KREMER, A. & FINKELDEY, R. (2011): Characterisation and natural variation of a dehydrin gene in *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. *Plant Biology*, 13: no. doi: 10.1111/j.1438-8677.2011.00446.x, 7 pages.



Landesforsten
Rheinland-Pfalz

Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) in Rheinland-Pfalz

Rassenidentifizierung von Vorkommen und genetische Bestandescharakterisierung mittels Isoenzym-Genmarkern

Werner D. Maurer, Bernhard Hosius, Ludger Leinemann, Patrick Lemmen & Bolko Haase

Rheinland-Pfalz ist das an Douglasien reichste Bundesland mit mehr als einem Viertel aller Douglasienflächen (Abb. 1).

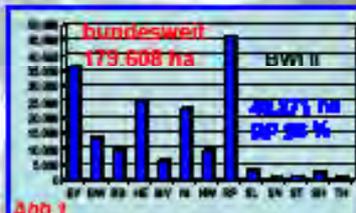


Abb. 1

Die landesweiten Vorkommen umfassen Rein- und Mischbestände. Nach Fichte, Buche, Eiche und Kiefer nimmt Douglasie Rang 5 ein (Abb. 2-4).



Abb. 2



Abb. 3

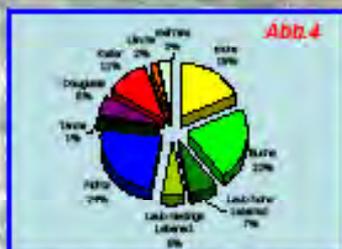


Abb. 4

Die Douglasie ist in das rheinland-pfälzische Genressourcen-Programm aufgenommen. Neben der Samenplantage Bremerhof stehen 321 zugelassene Bestände mit insgesamt 676 ha zur Saatgutnahme zur Verfügung. Genetische Untersuchungen in Pärchenversuchen mit Isoenzym-Genmarkern haben gezeigt, dass soweit nur die Küsterrasse, nicht aber die Inlandrasse der Douglasie für den Anbau in Rheinland-Pfalz geeignet ist. Unter diesem Aspekt wurden ältere („Vorkriegsbeurteilungen“, VVB) und jüngere Douglasienbestände („Nachkriegsbeurteilungen“, NKB) genetisch mit Isoenzym-Genmarkern charakterisiert sowie auch Samenplantagen, Herkunftsversuchsfeldhöfe und das Douglasien-Naturwaldreservat Grünberg genetisch identifiziert (Abb. 5). Die genetische Charakterisierung wird derzeit fortgesetzt mit 40-80-jährigen Beständen. Ziel ist u.a. die zukünftige Ausweisung von *in situ*-Generationsbeständen. Die verwendeten Isoenzym-Genmarker sind in Abb. 6a+b aufgeführt.

Ostalb:
2 Beständepaare gesundgeschädigt (Adman, Dorn)
7 Saatgutentbestände (NKB) Dorn
10 Saatgutentbestände (NKB) Maderstried
1 Saatgutentbestand (NKB) Pflanz
4 Bestände + Nachbarbestände (40-80) Dorn

Mittelostal:
3 Bestände mit unterschiedlich geschädigten Douglasien (Mayer)
1 Saatgutentbestand (NKB) Koblitz
1 Saatgutentbestand (NKB) Mayer

Taunus:
1 Saatgutentbestand (NKB) Dorn

Westostal:
1 Saatgutentbestand (NKB) Geiselstein, Schweißel
1 Saatgutentbestand (NKB) Geiselstein

Mittel:
2 Beständepaare gesundgeschädigt (Sauer)
1 Saatgutentbestand (NKB) Cochem
1 Saatgutentbestand (NKB) Weibich, wegl
1 Bestand + Nachbarbestände (40-80) Trier
2 Bestände + Nachbarbestände (40-80) Cochem, Zell

Süd:
2 Bestände + Nachbarbestände (40-80) Trier

Hunsrück:
2 Bestände mit unterschiedlich geschädigten Douglasien (Stein-Hochwald)
Provenienzversuch Subenthal
1 Saatgutentbestand (NKB) Bad Sodenheim
1 Saatgutentbestand (NKB) Orburg
2 Saatgutentbestände (NKB) Chrosvitz
1 Saatgutentbestand (NKB) Guitz
5 Bestände + Nachbarbestände (40-80) Subenthal

Saarländisch:
1 Saatgutentbestand (NKB) Idar-Oberstein, wegl

Pfalz:
Samenplantage Bremerhof
Samenplantage Pinesoren (Königsberg)
1 Saatgutentbestand (NKB) Bad Sodenheim
2 Saatgutentbestände (NKB) Jöhrenhörsch
Provenienzversuch-Kaiserwalden von 1972 (Stein)
Douglasienbestand Duerbachschlangflöhe Merzelen ForstBCim
weitere Bestände + Nachbarbestände (40-80) für ZBRP/DPZ geplant

Verwendete Isoenzym-Genmarker:
AAT-A, AAT-B, AAT-C
ACO-A, ACO-B
IDH-A
MDH-B, MDH-C
PGM-A, PGM-B
8-PGDH-A

Rassenunterscheidung mit 8-PGDH-A

Abb. 6a

Abb. 6b

An Christine Thibaut (FAWF) unseren Dank stellvertretend für alle anderen fleißigen Hände bei der exzellenten Laborarbeit.



Kontakt: ZdF, Forschungsanstalt für Waldökologie & Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (FAWF);
www.fawf.wald-rlp.de; fon: +49-6306-911-134, fax: +49-6306-911-200; werner.maurer@wald-rlp.de

DOUGLASIE (*PSEUDOTSUGA MENZIESII*) IN RHEINLAND-PFALZ: RASSENIDENTIFIZIERUNG VON VORKOMMEN UND GENETISCHE BESTANDESCHARAKTERISIERUNG MIT ISOENZYM-GENMARKERN (POSTER)

DOUGLAS-FIR (*PSEUDOTSUGA MENZIESII*) IN RHINELAND-PALATINATE (GERMANY): VARIETY IDENTIFICATION AND GENETIC CHARACTERIZATION OF STANDS BY APPLYING ISOZYME GENE MARKERS

W. D. Maurer¹, B. Hosius², L. Leinemann², P. Lemmen¹ & B. Haase¹

¹ Forschungsanstalt für Waldökologie & Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (FAWF),
Referat Nachhaltige Waldbewirtschaftung, Schloss, D-67705 Trippstadt

² ISOGEN im Institut für Forstgenetik, Büsgenweg 2, D-37077 Göttingen

ABSTRACT

Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) – a welcomed guest tree species or a serious invasive neophyte? This question has been discussed fiercely since recently thus placing this tree species in the focus of intensive studies by considering aspects of forest and landscape management as well as nature preservation in the German Federal State of Rhineland-Palatinate (Bundesland Rheinland-Pfalz).

Rhineland-Palatinate is the Federal State in Germany richest in this tree species by covering 46.271 ha of Douglas-fir within the German territory (total Douglas-fir surface: 179.608 ha). It comprises roughly 26 % which is the highest proportion of this non-indigenous coniferous tree species

nationwide (cf. BWI II). Considering the tree species present in the forests of Rhineland-Palatinate Douglas-fir ranks fifth by 6 % behind Norway spruce (*Picea abies*) 24 %, European beech (*Fagus sylvatica*) 22 %, oak (*Quercus sp.*) 18 %, and Scots pine (*Pinus sylvestris*) 11 %. The major occurrences of Douglas-fir are present in the growing districts Pfälzerwald (Palatinate Forest) by 22 %, the Hunsrück (Hunsrueck Mts.) by 20 % and the Osteifel (Eastern Eifel Mts.) 18 % being followed in a greater distance by the Saar-Nahe-Bergland (Saar-Nahe-Highland) by 10 %, the Moseltal (Mosel Valley) 9 %, and the Nordwesteifel (Northwestern Eifel Mts.) by 7 %. Smaller populations below 5 % are spread over the other forest districts of Rhineland-Palatinate.

Currently 321 Douglas-fir stands (*i.e.* nationwide 13 %) are approved for seed harvesting on a total surface of 575 ha (*i.e.* nationwide 22 %). They are located both in the colline (*i.e.* lowest altitude) and the mountainous altitudinal zones (provenance areas 853 04 *resp.* 853 05) (*cf.* ANONYMUS, 1998). As a consequence, Rhineland-Palatinate nationwide bears highest responsibility for preserving and securing the forest genetic resources of the non-indigenous tree species Douglas-fir (all data up to 2009).

In the framework of the program of sustainably conserving the forest genetic resources in Rhineland-Palatinate (MAURER & TABEL, 2002), the genetic status of Douglas-fir has been intensively studied countrywide since 1996. Research projects based on isozyme gene marker studies are carried out in collaboration with the genetic institute of the University of Göttingen (*e.g.* LEINEMANN, 1998), the ISOGEN Company by HOSIUS & LEINEMANN as well as the genetic laboratory of the Research Institute for Forest Ecology and Forestry (FAWF Trippstadt).

As has been reviewed by MAURER (2005) main focus in this research is put on

- visually healthy and differently damaged stands in order to classify them as coastal or interior variety or identify them as stands of mixed varieties;
- the genetic characterization of Douglas-fir seed orchards and provenance trials for their respective inherent genetic diversity as well as
- the genetic identification of approved seed stands [older "pre-war (WWII)"] and younger "post-war" stands.

Moreover, a first genetic inventory carried out on the core area of one of the two strict nature forest reserves (*i.e.* NWR Grünberg in the Palatinate Forest) supplies the base of a future genetic monitoring for Douglas-fir (MAURER, 2006)

At present stands up to the age 80 being approved for seed harvesting are genetically characterized by applying six gene markers including AAT-A, -B, -C; ACO-A, -B; MDH-B, -C; 6-PGDH-A, PGM-A, -B. This study is extended to adjacent not approved stands within a distance of 500-1.000 m. Applying this sampling strategy provisions are taken against the risk of undesirable pollen input of potential stands of interior variety character next to the approved coastal variety stands .

Following European beech (*Fagus sylvatica*) in 1997, pedunculate oak (*Quercus robur*) and sessile oak (*Quercus petraea*) in 2007, this genetic study on Douglas-fir will also be the base of designating some of the stands as *in situ* gene conservation

stands. These Douglas-fir stands will then be subjected to an exceptional protection status that guarantees the preservation of the genetic stand structures in a dynamic way (*cf.* MAURER & TABEL, 2000)

Keywords: Douglas-fir, *Pseudotsuga menziesii*, coastal and interior varieties, variety classification, genetic stand characterization, isozyme gene markers

ZUSAMMENFASSUNG

Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) - willkommene Gastbaumart oder ernstzunehmender invasiver Neophyt? Diese seit einiger Zeit heiß diskutierte Frage steht derzeit im Fokus intensiver Studien unter forstlichen, landespflegerischen und naturschutzrechtlichen Gesichtspunkten auch in Rheinland-Pfalz.

Rheinland-Pfalz ist mit 46.271 ha Douglasienfläche innerhalb Deutschland (179.608 ha Gesamt-Douglasienfläche) das an Douglasien reichste Bundesland. Mit knapp 26 % kommt ihm bundesweit der höchste Anteil an dieser nichtheimischen Nadelbaumart zu (BWI II). Im Lande selbst nimmt die Douglasie mit 6 % nach Fichte (24 %), Buche (22 %), Eiche (18 %) und Kiefer (11 %) den 5. Rang in der Baumarten-Waldbestockung ein. Die Hauptvorkommen befinden sich hier in den rheinland-pfälzischen Wuchsgebieten Pfälzerwald (22 %), Hunsrück (20 %), und Osteifel (18 %), in größerem Abstand gefolgt von Saar-Nahe-Bergland (10 %), Moseltal (9 %) und Nordwesteifel (7 %). Kleinere Vorkommen unterhalb 5 % sind zudem in den restlichen Wuchsgebieten vorhanden.

Mit einer Gesamtfläche von 575 ha (das sind 22 % der bundesweit zugelassenen Flächen) sind derzeit 321 Bestände (bundesweit 13 % der zugelassenen Bestände) in der kollinen Stufe (Herkunftsgebiet 853 04) sowie der montanen Stufe (853 05) zur Saatgutbeerntung zugelassen (*vgl.* ANONYMUS, 1998). Somit kommt Rheinland-Pfalz nicht nur große Bedeutung, sondern bundesweit auch höchste Verantwortung für die Erhaltung und Förderung der genetischen Ressourcen der nichtheimischen Baumart Douglasie zu (alle Daten bis 2009).

Im Rahmen des rheinland-pfälzischen Genressourcen-Programms (MAURER & TABEL, 2002) werden der Douglasie in Rheinland-Pfalz seit 1996 intensive genetische Untersuchungen gewidmet. Diese mit

Isoenzym-Genmarkern durchgeführten Studien umfassen Forschungsaufträge mit der Universität Göttingen (LEINEMANN, 1998), Werkverträge mit der ISOGEN AG für Forstgenetik & Forstpflanzenzüchtung Göttingen (HOSIUS & LEINEMANN) sowie in enger Abstimmung mit diesen im FAWF-eigenen genetischen Labor durchgeführte Isoenzymanalysen.

Die Schwerpunkte dieser Untersuchungen beinhalten

- die Ermittlung der Zugehörigkeit von gesunden und unterschiedlich geschädigten Douglasienbeständen zur Küsten- oder Inlandsvarietät bzw. Mischungen hiervon;
- die genetische Charakterisierung von Douglasien-Samenplantagen und von Herkunftsversuchen hinsichtlich der vorhandenen genetischen Vielfalt sowie
- die Überprüfung von Saatguterntebeständen (ältere „Vorkriegsbegründungen“ und jüngere „Nachkriegsbegründungen“ (siehe Übersichten in MAURER, 2005).

Zudem einleitend genetisch charakterisiert wurde die Kernfläche eines der beiden rheinland-pfälzischen Douglasien-Naturwaldreservate, d.h. NWR Grünberg im Pfälzerwald, wodurch die Möglichkeit gegeben ist, hier zukünftig ein genetisches Monito-

ring durchzuführen (MAURER, 2006).

Derzeit wird landesweit die Überprüfung der zugelassenen Saatguterntebestände bis zum Alter um 80 Jahre mit den sechs Enzym-Genmarkern AAT-A, -B und -C; ACO-A und -B; MDH-B und -C; 6-PGDH-A sowie PGM-A und -B fortgesetzt. Zusätzlich werden hierbei auch die benachbarten nicht zugelassenen Bestände im Umkreis von 500-1.000 m stichprobenartig erfasst, um ggf. wirkungsvolle Vorsorge für einen Polleneintrag durch potenziell benachbarte Douglasienbestände mit Inlandcharakter treffen zu können.

Mit der Erfassung der genetischen Strukturen ist für einen Teil dieser Douglasienbestände, nach Buche (1997) sowie Stiel- und Traubeneiche (2007) auch eine zukünftige Ausweisung als *in situ*-Generhaltungsbestände ins Auge gefasst, die dann einem besonderen Schutzstatus unterliegen werden (vgl. MAURER & TABEL, 2000).

Schlagerwörter: Douglasie, *Pseudotsuga menziesii*, Küsten- und Inlandsvarietät, Rassenzugehörigkeit, genetische Bestandescharakterisierung, Isoenzym-Genmarker

LITERATUR / REFERENCES

ANONYMUS (1998): Empfehlungen für die Auswahl geeigneter Herkünfte von forstlichem Saat- und Pflanzgut (Herkunftsempfehlungen) in Rheinland-Pfalz. Merkblatt Nr. 5 der Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz, 3. Auflage, Douglasie, S.76.

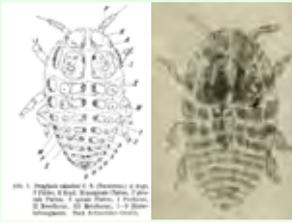
LEINEMANN, L. (1998): Genetische Untersuchungen an Rassen der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb] Franco) am Beispiel gesunder und geschädigter Bestände. Göttingen Research Notes in Forest Genetics no. 23, 140 pages + 11 pages appendix.

MAURER, W.D., 2005: Ergebnisse genetischer Untersuchungen an Vorkommen der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) in Rheinland-Pfalz. FAWF-Mitteilungen Nr. 55/05: 165-196.

MAURER, W.D., 2006: Genetische Untersuchungen am Douglasien-Naturwaldreservat (NWR) Grünberg in Rheinland-Pfalz. In: Tagungsband „Forstliche Genressourcen als Produktionsfaktor“ (Hrsg.: Hessen-Forst), 26. Tagung der ARGE Forstgenetik & Forstpflanzenzüchtung am 20.-22. Oktober 2005 in Fulda, S.180-187.

MAURER, W.D. & TABEL, U., 2000: Einrichtung und Bewirtschaftung forstlicher Generhaltungsbestände am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Rheinland-Pfalz (D). Forest, Snow & Landscape Research, Vol 75, Issue 1/2: 219-231.

MAURER, W.D. & TABEL, U., 2002: Das „Genressourcen-Programm“ – Maßnahmen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen in Rheinland-Pfalz. Forst und Holz, 57. Jg., Nr. 1/2: 25-29.



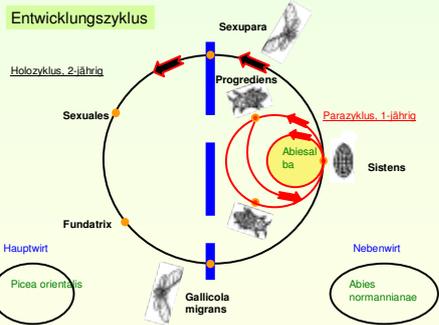
Schneider-Orelli
1929

Nüßlin
1903

Die Tannentrieblaus *Dreyfusia normanniana* (auch als *Dreyfusia nüsslini* bekannt) gehört zur Ordnung der Pflanzenläuse (Familie der Fichtengallenläuse).
Sie ist im Kaukasus und dem Ostteil des Pontischen Gebirges (Türkei) heimisch.
Sie wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jh. mit der Nordmannstanne *Abies nordmanniana* nach Mitteleuropa eingeschleppt.
Sie ist in Mitteleuropa für die heimische Tanne (*A. alba*) zu einem gefährlichen Schädling geworden, der besonders in lichtgestellten Tannennaturverjüngungen grosse Schäden anrichtet.

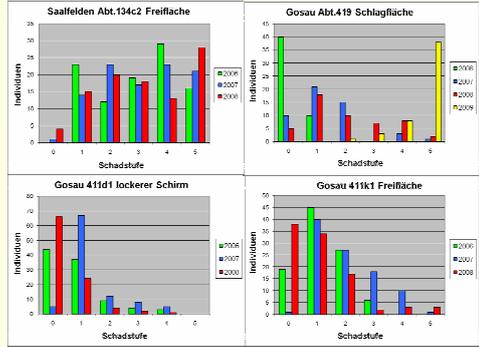


Überlegende Sistens im Frühjahr, Eier in Wachswolle, Progreddiens, Sistens



In ihrer Heimat lebt sie in einem 2-jährigen Zyklus auf *Picea orientalis* als Hauptwirt (geschlechtliche Fortpflanzung) und auf *Abies nordmanniana* als Nebenwirt (parthenogenetische Fortpflanzung - Jungfernzeugung).
In Mitteleuropa kann sie sich nur in rein parthenogenetischen Zyklen an *Abies alba* vermehren (Fehlen des Hauptwirtes).
Massives Auftreten besonders in freigestellten Naturverjüngungen (**erhöhter Lichtgenuss**) bis zu Baumhöhen von 4-6m.

Hinweise auf offensichtlich resistente Tannen:
In stark befallenen Kulturen gibt es immer wieder nicht befallene Individuen.
Befallserhebung des IUFRO Tannenherkunftsversuches Bourignon/CH im Jahr 2000 zeigte eine höhere Widerstandsfähigkeit von S- und SO-Europäischen Herkünften (Commarmot 2003).
Dänische Herkunftsversuche zeigen ebenfalls geringere Anfälligkeit von Tannenherkünften aus dem Süden (Lofting 1954).
Mögliche Ursachen für befallsfreie Tannen:
Fehlende Synchronisation von Austrieb und Tannenlausentwicklung
Genetisch bedingte unterschiedliche Befallsdisposition – Resistenz



Auswahl von 4 Monitoringflächen mit naturverjüngter Tanne (insgesamt 425 Bäume)
Bonitur des Austriebes über 3 Jahre (2006-2008)
Bonitur des Tannentrieblausbefalles über 3 Jahre (2006-2008)
Künstlicher Infektionsversuch im Forstgarten (durch Aufbinden befallener Zweige)
106 nicht bzw. gering befallene Tannen von den Versuchsflächen wurden durch Pflanzung vegetativ vermehrt (insges. 460 Stück) und durch Aufbinden eines befallenen Zweiges infiziert.
Eine Herkunft Nördliche Kalkalpen wurde in 4 Varianten behandelt (je 40 Pflanzen):
Licht - gedüngt
Licht - ungedüngt
Schatten - gedüngt
Schatten - ungedüngt
9 ausländische Herkünfte vom Bayerischen Tannenherkunftsversuch Traunstein wurden ebenfalls gepflanzt (je 5) ASP Teisendorf) und in den Versuch einbezogen.

Befallsentwicklung der 4 Monitoringflächen über 3 bzw. 4 Jahre

Korrelationen Austrieb / Befall durch <i>Dreyfusia</i>	2006	2007	2008
Gosau Abt.419 Schlagfläche	0,08	-0,08	0,14
Gosau Abt.411d1 unter lockerem Schirm	-0,20	0,16	-0,01
Gosau Abt.411k1 Freifläche	-0,11	0,17	-0,19
Saalfelden Abt.134c2 Freifläche	-0,09	-0,05	0,29

Gibt es einen Zusammenhang zwischen Austriebszeitpunkt und Befallsstärke durch die Tannentrieblaus?



Befall eines jungen Triebes

Auf der frisch geschlagerten Monitoringfläche (Gosau Abt.419) kam es innerhalb von 4 Jahren zu einem massivem Tannentrieblausbefall der Naturverjüngung.
Kein Zusammenhang zwischen Austriebszeitpunkt und der Befallsstärke durch die Tannenlaus feststellbar.
Der Vergleich der Feldversuche mit dem Infektionsversuch ergab keinen Hinweis auf resistente Einzelbäume.
Die unter Schatten kultivierten Vergleichsherkünfte zeigten erstaunlicherweise einen stärkeren Befall als die im Licht.
S- und SO- europäische Herkünfte waren im Infektionsversuch genau so stark von der Tannentrieblaus befallen wie die Versuchspflanzen von den Monitoringflächen.



Stark befallene Weißtanne

Literatur:
Lofting, E. C. L. (1954): The problem of *Abies alba* in Denmark. Part 1. Choice of provenance. Forstliche Forsokvaesen | Danmark. 21, 4, 337-81
Commarmot, B. (2003): Unterschiedliche Disposition von Weisstannen-Provenienzen (*Abies alba* Mill.) für die Gefährliche Weisstannentrieblaus (*Dreyfusia nordmanniana* Eckst.). Mitt. FAWF Bd. Nr. 50: 179-188.
Danksagung:
Finanzierung durch Österreichische Bundesforste, Projektentwurf Silvio Schüler, Felddaten Lambert Weissenbacher und Toni Wegscheider

GENETISCHE VARIATION DER RESISTENZ VON WEISSTANNEN GEGENÜBER DER GEFÄHRLICHEN WEISSTANNENTRIEBBLAUS? (POSTER)

IS THERE ANY RESISTANCE OF SILVER FIR AGAINST THE SILVER FIR WOOLLY APHID *DREYFUSIA NORDMANNIANAE*?

M. Mengl

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Genetik, A-1131 Wien

ABSTRACT

Field observations of non-infested individuals of silver fir within stands infested severely have been described repeatedly within the scientific literature. The aim of the present study was to test whether this field-resistance is due to a lack of synchronization between bud flushing of respective silver fir trees and the life cycle of *Dreyfusia*.

This correlation was analysed on the basis of four field plots, where the flushing of the trees and the infection status have been observed repeatedly in 2007 and 2008. In addition, field-resistant individuals were propagated vegetatively via grafting, and the propagules were infected artificially in a garden test. Also south and south-eastern European provenances, which had been proved less sensitive to *Dreyfusia*, were tested for their resistance behaviour.

The results of field observations of flushing and infestation could not confirm the supposed link

between flushing time and intensity of infestation. Early and late flushing silver fir individuals showed a similar intensive infection during the observation years.

The experimental infection of the vegetatively propagated fir trees did not confirm the results of field observations. Thus, silver firs classified resistant in the field have been similarly susceptible to *Dreyfusia* as other fir individuals. Provenances from South and South-eastern Europe which had also been classified resistant before did not appear more resistant than the indigenous provenances.

Keywords: Silver fir, *Abies alba*, silver fir woolly aphid, *Dreyfusia nordmanniana*, *Adelgidae*, resistance

ZUSAMMENFASSUNG

Die in der Praxis immer wieder beobachtete und in der wissenschaftlichen Literatur beschriebene Tatsache, dass nicht befallene Tannen inmitten stark infizierter Bestände auftreten, gab Anlass, die Feldresistenz einzelner Jungtannen näher zu untersuchen.

Auf vier Versuchsflächen wurde untersucht, ob früh treibende und spät treibende Tannen eine unterschiedliche Anfälligkeit gegenüber der Tannentrieblaus besitzen, und ob eine mangelnde Synchronisation des Lebenszyklus der Tannentriebläuse mit dem Austriebsverhalten der Tannen eine Ursache für die Befallsunterschiede sein könnte.

Darüber hinaus wurden wenig befallene, als feldresistent eingestufte Individuen durch Pfropfung vegetativ vermehrt und im Forstgarten einer künstlichen Infektion unterzogen, um zu prüfen, ob die im Freiland beobachtete Widerstandsfähigkeit im Experiment bestätigt werden kann. Zusätzlich wurden süd- und südosteuropäische Herkünfte, die aufgrund bisheriger Untersuchungen unempfindlicher gegenüber der Tannentrieblaus sein sollten, auf ihr Resistenzverhalten getestet.

Die Ergebnisse der Feldbeobachtungen von Austrieb und Befall können den vermuteten Zusammenhang zwischen Austriebszeitpunkt und Befallsintensität nicht bestätigen, denn die später treibenden und zu Austriebsbeginn weniger befallenen Individuen wurden im Jahresverlauf genau so stark geschädigt wie früher treibende Tannen.

Die experimentelle Infektion der vegetativ vermehrten Tannen konnte die Ergebnisse der Freilandbeobachtungen nicht bestätigen und das Vorliegen einer aktiven Resistenz ausschließen. Das bedeutet, dass als sich feldresistent eingestufte Tannen im Versuch als genauso anfällig gegenüber dem Triebblausbefall erwiesen wie andere Tannen. Ebenso zeigten die mehrfach als resistent eingestuftem ausländischen Herkünfte im Infektionsversuch keine höhere Resistenz als Herkünfte, die als sehr anfällig beschrieben wurden.

Schlagerwörter: Weißtanne, *Abies alba*, *Dreyfusia nordmanniana*, *Adelgidae*, Gefährliche Tannentrieblaus, Resistenzverhalten

1 EINLEITUNG

Die Tannentrieblaus *Dreyfusia nordmanniana* ist ursprünglich im Kaukasus und dem Ostteil des Pontischen Gebirges beheimatet, wo die Orientalische Fichte (*Picea orientalis*) und die Nordmannstanne (*Abies nordmanniana*) ihre eigentlichen Wirtspflanzen darstellen. Sie wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jh. mit der Nordmannstanne nach Mitteleuropa eingeschleppt und breitete sich in der ersten Hälfte des 20. Jh. über ganz Europa als Schädling der heimischen Weißtanne (*Abies alba*) aus (EICHORN, 1968). In Mitteleuropa richtet sie besonders in lichtgestellten Tannenverjüngungen große Schäden an und fördert die Entmischung von Tannen-Fichtenwäldern zu Gunsten der Fichte (*Picea abies*).

Die Erstbesiedelung von Tannen konzentriert sich auf frisch freigestellte, bis zu 1, 5 m hohe junge Bäume. Ein Schaden entsteht durch das Saugen der Triebsauger (*Sistentes*) an der Rinde der Triebe und seltener auch des Stammes, vor allem aber durch die Nadelsauger (*Progredientes*) an der Unterseite der Nadeln. Hier kommt es zu einer nach innen und

abwärts gerichteten Krümmung und Kräuselung der jungen Nadeln mit Vergilbungserscheinungen („Flaschenbürsten-Syndrom“) und einer Hemmung des Triebwachstums. Bei massivem Befall über mehrere Jahre kommt es zum Absterben von Seitenästen, zur Gipfeldürre und letztendlich zum Absterben der Jungtannen.

Grundlage für die gegenständlichen Untersuchungen waren im Freiland gemachte Beobachtungen von gering befallenen Tannen, welche möglicherweise eine natürliche Resistenz gegenüber der Weißtannentrieblaus aufweisen könnten. Schon Professor ZWÖLFER (deutscher Entomologe) beobachtete 1937 *Dreyfusia*-freie Tannen inmitten stark infizierter Bestände (EICHORN, 1968). Auch dänische Herkunftsversuche zeigten eine geringere Anfälligkeit von Tannenherkünften aus dem Süden (LOFTING, 1954). Neuere Befallserhebungen in einem IUFRO-Tannenherkunftsversuch in Bourrignon / CH im Jahr 2000 bestätigten die Überlegenheit von süd- und südosteuropäischen Herkünften (COMMARMOT, 2003).

Die hier vorgestellten Arbeiten hatten folgende Ziele: erstens sollte geprüft werden, inwieweit eine mangelnde Synchronizität zwischen dem Austrieb der Tannen und der Triebblausentwicklung für die beobachtete Feldresistenz verantwortlich ist.

Zweitens sollten getestet werden, ob vegetativ vermehrte feldresistente Tannen bei künstlicher Infektion mit der Tannentriebblaus im Gartenversuch genau so unempfindlich reagieren wie am natürlichen Standort.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Phänologische Beobachtung

Für phänologische Studien zum Austriebsverhalten der Tanne, der Befallsentwicklung und -intensität der Tannentriebblaus und zur Möglichkeit der vegetativen Vermehrung von feldresistenten Tannen wurden vier Standorte für Versuchsflächen ausgewählt. Auf jedem dieser Standorte wurde eine Intensivbeobachtungsfläche eingerichtet. Alle Flächen unterschieden sich hinsichtlich waldbaulicher Vorbehandlung und in der Befallsintensität durch die Tannentriebblaus. Zusätzlich wurden 76 nicht bis wenig befallene Tannen (Altersklassen 2 und 3) außerhalb dieser Flächen in die Untersuchungen einbezogen, um ausreichend Material für die vegetative Vermehrung und eine nachfolgende künstliche Infektion im Versuchsgarten zur Verfügung zu haben.

Austrieb (Stadien 0-5) und Befallsstärke (vgl. Tabelle 1) wurden drei Jahre hindurch aufgenommen.

2.2 Infektionsversuch

Im Winter 2006 wurden von 106 Tannen der vier Versuchsflächen Zweige für die vegetative Vermehrung entnommen. Bei der Entnahme des Materials wurde auf Lausfreiheit bzw. auf sehr geringen Befall geachtet. Von jedem beprobten Baum wurden fünf Pfropfungen durchgeführt.

Da sich in verschiedenen Herkunftsversuchen südeuropäische Herkünfte widerstandsfähiger gegenüber der Tannentriebblaus erwiesen haben (LOFTING, 1954; COMMARMOT, 2003), wurden zusätzlich neun ausländische Herkünfte aus dem bayerischen Tannenherkunftsversuch Traunstein (ASP Teisendorf) in den Infektionsversuch einbezogen (5 Veredelungen je Herkunft).

Am natürlichen Standort spielen die Lichtverhältnisse und der Nahrungshaushalt eine wichtige Rolle für die Entwicklung der Tannentriebblaus. Um solche Einflüsse im Gartenexperiment zu beleuchten, wurden 160 4-jährige Tannen in vier unterschiedlichen Behandlungsvarianten in den Infektionsversuch eingebaut: Licht – gedüngt, Licht – ungedüngt, Schatten – gedüngt und Schatten – ungedüngt.

Tabelle 1 / Table 1

Boniturschema für die Befallsstärke der Maitriebe (Anteil der befallenen Triebe in %)

Classification table of the infestation intensity of flushing shoots (percentage of infested shoots)

0 = kein Befall	0 %
1 = gering	1 - 10 %
2 = leicht	11 - 30 %
3 = mäßig	31 - 50 %
4 = stark	51 - 90 %
5 = massiv	91 - 100 %

3 ERGEBNISSE

3.1 Freilandbeobachtungen

Um zu untersuchen, ob die Entwicklung der Tannentrieblaus vom Austrieb abhängig ist, wurden die Befallsstärken und der Austrieb miteinander korreliert. Die phänologischen Beobachtungen an den ersten beiden Aufnahmetagen im Jahr 2007 und 2008 ergaben signifikant positive ($p < 0,05$)

3.2 Infektionsversuch

Die Infektion der Tannen im Forstgarten war äußerst erfolgreich. Nur auf sieben Einzelbäumchen fand keine Lausentwicklung statt. Die restlichen Bäume dieser 7 Klone wiesen einen mittleren Befall von 0,8 – 1,7 auf, während die Mutterbäume in den Freilandbeobachtungen einen Befall von 0 – 2,8 zeigten.

Betrachtet man im umgekehrten Fall diejenigen Mutterbäume, die bei den Freilandbeobachtungen absolut befallsfrei waren, so wiesen die vegetativ vermehrten Nachkommen dieser Tannen im Infektionsversuch einen Befall von 1,7 – 3,3 auf.

Berechnet man die Korrelation der Mittelwerte des maximalen Befalls von allen im Garten infizierten Klonen mit dem Mittelwert der maximalen Befallsstufen (über 3 Jahre) der Mutterbäume, so ergibt sich ein signifikanter Wert von $-0,22$ (signifikant für $p < 0,5$), d.h. im Freiland resistenter Tannen zeigten im Gartenversuch einen höheren Befall als stark befallene.

Licht spielt als Entwicklungsreiz bei der Entstehung von Infektionsherden eine auslösende Rolle. Auch

Korrelationen zwischen Austriebsbeginn und Befall. Das bedeutet, dass die früh treibenden Tannen während der ersten Befallskontrollen einen stärkeren Befall auswiesen als später treibende Tannen. Die Befallsunterschiede zwischen früh und spät treibenden Tannen verschwanden allerdings im Verlauf der Vegetationsperiode.

die Nahrungsqualität ist für die Populationsdynamik von *Dreyfusia* von großer Bedeutung. Sie beeinflusst den physiologischen Status der befallenen Tannen und damit die Vermehrung und Entwicklung der Tannentriebläuse (EICHORN, 1968). Die Einflüsse von Licht und Nährstoffen zeigten nicht das erwartete Ergebnis. Im Licht waren die gedüngten Tannen signifikant geringer befallen als die ungedüngten. Beide Schattenvarianten, d.h. die Versuchspflanzen mit geringerem Lichtgenuss, waren signifikant stärker befallen als die im Licht. Die gedüngten und ungedüngten Bäumchen im Schatten unterschieden sich nicht wesentlich voneinander.

Resistenz und erhöhte Widerstandsfähigkeit sind nicht nur ein individuelles Phänomen von Einzelbäumen, sondern auch von ganzen Populationen. Es ist denkbar und einige Herkunftsversuche zeigen uns, dass bestimmte Herkünfte in ihrer natürlichen Anpassung besonders widerstandsfähig gegenüber der Tannentrieblaus sind. Die im Gartenversuch getesteten neun ausländischen Provenienzen des Herkunftsversuches in Bayern waren mit 2,8 – 4 mäßig bis stark befallen.

4 DISKUSSION

Das Vorhandensein einer aktiven Resistenz von feldresistenten Weißtannen gegenüber der Tannentrieblaus konnte durch die vorliegende Untersuchung nicht bestätigt werden, denn es wurde keine positive Korrelation zwischen dem Befall im

Gartenexperiment und im Feld gefunden. Auch der Vergleich der südosteuropäischen Herkünfte im Gartenversuch mit den Ergebnissen von COMMAROT (2003) und BERNHARD (2002) zeigte keine Übereinstimmung, denn die süd- und südost-

europäischen Herkunft schnitten nicht besser ab als andere Tannenklone. LARSEN (1986a) sagt den süd- und südosteuropäischen Tannenherkünften eine bessere Anpassung nach, da sich die Refugien während der Eiszeit dort befanden. Die mittel-europäischen Herkunft unterlagen bei ihrer Rückwanderung einer starken Selektion und damit einer genetischen Einengung, welche die Ursache für die geringere Variabilität unserer Tanne sein dürfte (LARSEN, 1986a; LARSEN, 1986b).

Eine wirklich fehlende Resistenz kann aus diesen beiden Ergebnissen aber derzeit noch nicht abgeleitet werden, denn neben der aktiven Resistenz, welche ständig ausgeprägt und in vorbeugender Weise wirksam wird, könnte es sich bei der beobachteten Feldresistenz einzelner Individuen auch um eine induzierte Resistenz handeln. Diese Form der Resistenz, die sich auch erst nach dem ersten Schädlingsbefall entwickelt, kann aber erst nach weiteren Beobachtungen in den nächsten Jahren beurteilt werden, da sich die Untersuchungen des künstlichen Infektionsversuchen auf die Vegetationsperiode direkt im Anschluss an die Infektion beschränken.

Die beobachtete Übereinstimmung der Intensität des Lausbefalls mit frühem Austrieb auf den Versuchsfeldern ist ebenfalls kein Hinweis auf einen Resistenzmechanismus. Da frische Triebe für eine

Besiedlung mit der Tannentrieblaus vorhanden sein müssen, noch nicht ausgetriebene Triebe aber nicht befallen werden können, ergibt sich zwangsweise eine positive Korrelation. Mit fortschreitendem Austrieb verliert sich diese Korrelation wieder.

Interessant ist die Tatsache, dass die gedüngten Bäume im Licht einen signifikant geringeren Befall aufwiesen als die ungedüngten. Die Düngung dürfte also die Widerstandsfähigkeit der Versuchstannen gegenüber der Tannentrieblaus erhöhen. Dies steht im Widerspruch zu Beobachtungen von JAHN & SINREICH (1961) oder NIERHAUS-WUNDERWALD (1999), bei denen die Trieblaus vitale Individuen vorgezogen hatte. In unserem Fall könnte die Düngung die Vitalität der Pflanzen erhöht und damit eine erhöhte Stresstoleranz erzeugt haben.

Der stärkere Befall beider Düngewarianten unter Schatten erscheint zunächst verwunderlich, da von allen Autoren übereinstimmend berichtet wird, dass Licht eine wesentliche Voraussetzung für eine Massenentwicklung der Tannentrieblaus ist. Dieses Ergebnis ist aber durch die Tatsache erklärbar, dass die Bodenfeuchte in den Topfpflanzen immer höher war als auf der Freifläche. Frische Bodenverhältnisse, wie sie auch auf den Versuchsfeldern vorlagen, dürften für das Gedeihen der Läuse von Vorteil sein (MERKER & BERWIG, 1962).

5 LITERATUR / REFERENCES

- COMMARMOT, B. (2003): Unterschiedliche Disposition von Weisstannen-Provenienzen (*Abies alba* Mill.) für die Gefährliche Weisstannentrieblaus (*Dreyfusia nordmanniana* Eckst.). FAWF-Mitteilungen Nr. 50: 179-188.
- BERNHARD, S. (2002): Befallsdynamik der Gefährlichen Weisstannentrieblaus (*Dreyfusia nordmanniana* Eckst.) in einem Tannenprovenienzversuch bei Les Rangierst (Gemeinde Bourrignon). Diplomarbeit.
- EICHHORN, O. (1968): Problems of the Population Dynamics of silver fir woolly Aphids. Zeitschrift für Angewandte Entomologie 61: 157-214.
- JAHN, E. & SINREICH, A. (1961): Verbreitung der Tannentrieblaus *Dreyfusia nuesslii* C.B. in Österreich und neue Methoden der Bekämpfung. Anzeiger für Schädlingkunde 34: 97-102.
- LARSEN, J.B. (1986a): Das Tannensterben: Eine neue Hypothese zur Klärung des Hintergrundes dieser rätselhaften Komplexkrankheit der Weißtanne (*Abies alba* Mill.). Forstwissenschaftliches Centralblatt 105: 381-396.
- LARSEN, J.B. (1986b): Die geographische Variation der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) Wachstumsentwicklung und Frostresistenz. Forstwissenschaftliches Centralblatt 105, 396-406.
- LOFTING, E.C.L. (1954): The problem of *Abies alba* in Denmark. Part 1. Choice of provenance. Forstlige Forsøksvaesen i Danmark 21: 337-381.
- MERKER, E. & BERWIG, W. (1962): Gibt es bei Weißtannen eine Immunität gegen den Befall der *Dreyfusia*-Läuse? Naturwissenschaften 49: 112-113.
- NIERHAUS-WUNDERWALD, D. (1999): Zunehmendes Auftreten der Gefährlichen Weisstannentrieblaus. Wald und Holz 10: 50-53.

Einleitung + Ziel

In der Gattung *Populus* gibt es zahlreiche Hybridisierungen sowohl zwischen Arten innerhalb einer Sektion als auch intersektionell. Diese Hybridisierungen finden auch in der Natur statt, werden aber insbesondere für die Züchtung von geeignetem Vermehrungsgut für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen zur Biomasseproduktion genutzt. Jahrzehnte züchterischer Arbeit bewirkten, dass die heute verwendeten Pappel-Klone Resultate vielfacher Hybridisierungen sind und damit eine eindeutige Zuordnung der verwendeten Elternarten nicht mehr ohne weiteres möglich ist. Ein Bereich des Projekts „Fastwood“ beschäftigt sich daher mit der Entwicklung molekularer Marker zur Identifizierung von Arten und Hybriden der Gattung *Populus*.



Abb. 1: Pappel-Klonsammlung in Trenthorst (Foto: Stefan Jencsik)

Tabelle 1: Übersicht über die Anzahl an getesteten Primerkombinationen in den sechs *Populus*-Arten sowie das Amplifikationsergebnis.

Art	Anzahl Primerkombinationen	Anzahl PCR-Produkt
P. tri	42	30
P. delt	42	30
P. nig	42	29
P. tro	42	29
P. trem	42	32
P. alba	42	31

Ergebnis cp-DNA

Insgesamt wurden 42 Primerkombinationen aus 16 Chloroplastengen in sechs *Populus*-Arten (*P. trichocarpa*, *P. deltoides*, *P. nigra*, *P. tremula*, *P. tremuloides*, *P. alba*) auf die Bildung eines PCR-Produkts getestet (Tab. 1). Zum Teil handelt es sich um (leicht modifizierte) Primer, die im barcoding verwendet werden.

Daraus konnten bisher vier SNP-Marker des cp-Genoms identifiziert werden, die eine Schnittstelle für Restriktionsenzyme aufweisen, so dass über PCR-RFLPs zunächst die drei Arten der Sektion *Populus* (früher *Leuce*) unterschieden werden können. In Abb. 2 ist beispielhaft der SNP im Bereich *trnH-psbA* gezeigt und in Abb. 3 ist das Ergebnis nach Restriktion mit *Alw26I* bzw. *DraI* gezeigt.

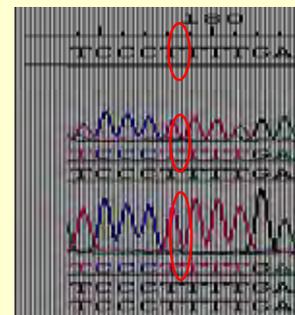


Abb. 2: SNP in der barcoding Sequenz *trnH-psbA*

Ergebnis Kern-DNA

Von der Kern-DNA wurde das Gen ausgewählt, das für die Polyphenoloxidase (PPO) kodiert (Degen & Fladung 2008). Hierfür wurden zwölf Primerkombinationen getestet. Mit allen konnten für die sechs Arten erfolgreich PCR-Produkte amplifiziert werden. Letztendlich wurde ein knapp 400 bp großes Fragment ausgewählt, das für alle sechs *Populus*-Arten artspezifische SNPs aufweist (Tab. 2).

Tab. 2: Beispiele für SNPs im PPO-Gen. Zahlen = Position auf dem PPO-Gen (bp).

Art	381	405	424	444	511	513
P. tri	C	A	A	C	G	A
P. delt	C	A	G	C	A	A
P. nig	C	A	G	T	G	A
P. tro	C	A	G	C	G	G
P. tre	T	A	G	C	G	A
P. alba	C	G	G	C	G	A

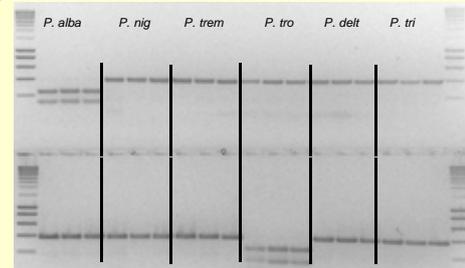


Abb. 3: Restriktionsergebnis von *trnH-psbA* mit *Alw26I* (oben) und *DraI* (unten)

Literatur

Degen, B., Fladung, M. (2008). Use of DNA-markers for tracing illegal logging. Proceedings of the international workshop "Fingerprinting methods for the identification of timber origins", October 8-9 2007, Bonn/Germany, Sonderheft 321: 6-14

Danksagung

Das vorliegende Projekt wird von der Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) unterstützt. Wir danken unseren technischen Assistentinnen, Susanne Bein, Katrin Groppe und Alexandra Meier für die Laborarbeit.



Schlussfolgerung

Die Chloroplasten-Marker werden zur Identifizierung der Mutter einer Kreuzung verwendet. Dagegen können mit Kern-Markern sowohl reine Arten als auch die Kreuzungspartner erkannt werden.

ART- UND HYBRID-IDENTIFIZIERUNG INNERHALB DER GATTUNG *POPULUS* MIT SNP-MARKERN (POSTER)

IDENTIFICATION OF SPECIES AND HYBRIDS WITHIN THE GENUS *POPULUS* USING SNP-MARKERS

H. Schröder & M. Fladung

Johann Heinrich von Thünen-Institut, vTI-Institut für Forstgenetik, D-22927 Großhansdorf

ABSTRACT

In the genus *Populus* numerous hybridizations occur both among the species within a distinct section as well as it is observed inter-sectional. For decades this potential of hybridization was utilized for breeding purposes. As a result poplar clones used today in short rotation plantations originate from numerous crossings and backcrossing. Thus, distinguishing the originally used parental species is almost impossible. In order to pursue breeding and generate new high performance clones the characterization of the parental species (and hybrids) is urgently required. One aspect of the FNR-financed project "FastWood" comprises the development of molecular markers and their implementation for practical use.

Keywords: Poplar, *Populus spec.*, hybridization, SNP markers, identification of species and hybrids, research project FastWOOD

ZUSAMMENFASSUNG

In der Gattung *Populus* kommen zahlreiche Hybridisierungen sowohl zwischen Arten innerhalb einer Sektion als auch intersektionell vor. Diese Fähigkeit zur Hybridisierung wurde jahrzehntelang für züchterische Zwecke genutzt, was dazu geführt hat, dass die heute für Kurzumtriebsplantagen verwendeten Pappel-Klone das Ergebnis zahlreicher Kreuzungen und Rückkreuzungen sind. Die eindeutige Erkennung der ursprünglich verwendeten Elternarten ist somit fast ausgeschlossen. Für die Weiterführung der Züchtung und die Erzeugung neuer Hochleistungs-Klone ist jedoch eine Charakterisierung der Ausgangsarten (und Hybride) unbedingt erforderlich. Ein Teilaspekt des FNR-geförderten Projekts „FastWood“ hat daher die Aufgabe, molekulare Marker zu entwickeln und zur Anwendung zu bringen.

Schlagwörter: Pappel, *Populus spec.*, Hybridisierung, SNP-Marker, Art- und Hybrididentifizierung, FastWOOD-Projekt

1 EINLEITUNG

Die Gattung *Populus* besteht aus mindestens 29 Arten, allerdings sind sich die Taxonomen über die Anzahl nicht endgültig einig aufgrund von zahlreichen Hybriden, die zeitweilig als Arten beschrieben wurden (ECKENWALDER, 1996). Viele Pappelarten haben sowohl eine hohe wissenschaftliche als auch ökonomische Bedeutung. So ist das Genom von *Populus trichocarpa* eines der ersten gewesen, das vollständig sequenziert wurde (TUSKAN et al., 2006). Ihre ökonomische Bedeutung basiert auf der Nutzung vieler Arten und Hybride (bzw. Klone) in Kurzumtriebsplantagen zur Biomasse-Produktion (LICHT & ISEBRANDS, 2005; vande WALLE et al., 2007).

Systematisch werden die Arten der Gattung *Populus* in sechs Sektionen eingeteilt (*Populus*, *Tacamahaca*, *Ageiros*, *Abaso*, *Turanga* and *Leucoides*) (ECKENWALDER, 1996). Viele der Arten sind kreuzungskompatibel, sowohl innerhalb von Sektionen als auch intersektionell. Diese Hybridisierungen finden in der

Natur statt. Sie werden aber insbesondere für die Züchtung von geeignetem Vermehrungsgut für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen genutzt, da vor allem einige Hybride ein sehr schnelles Wachstum und hohe Resistenz-Level aufweisen. Jahrzehnte züchterischer Arbeit bewirkten, dass die heute verwendeten Pappel-Klone Resultate vielfacher Hybridisierungen sind und damit eine eindeutige Zuordnung der verwendeten Elternarten nicht mehr ohne Weiteres möglich ist. Und auch für die Züchtung neuer Klone ist es unbedingt notwendig, die verwendeten Arten oder Hybride genotypisch eindeutig charakterisieren zu können, um die korrekte Beschreibung neuer Klone zu gewährleisten. Ein Bereich des Projekts „FastWood“ beschäftigt sich daher mit der Entwicklung und Anwendung molekularer Marker zur Identifizierung von Arten und Hybriden der Gattung *Populus* (weiterer Beitrag zum „FastWOOD“-Projekt, siehe vorne bei Janssen et al.).

2 ÜBERSICHT SNPs

Für die Identifizierung von Arten und Hybriden bieten sich sowohl Mikrosatelliten-Marker (SSR, short sequence repeat) als auch SNPs (single nucleotide polymorphisms) an. In diesem Beitrag beschränken wir uns auf die Beschreibung der SNP-Marker.

Ein SNP ist die Sequenz-Variation einer einzelnen Base, die definitionsgemäß in mindestens 1 % einer Population vorkommen muss, um als polymorph bezeichnet zu werden. SNPs entstehen durch Mutationen oder durch Lesefehler bei der DNA-Replikation und stellen die häufigste Variation in Genomen dar (JONES et al., 2009). Für Bäume z.B. ist eine Frequenz von einem SNP alle 60 bis 540 bp beschrieben (ZHANG & ZHANG, 2005). Sie können sowohl in nicht-kodierenden Regionen als auch in kodierenden DNA-Abschnitten vorkommen. Das Vorkommen in kodierenden Bereichen ist nicht zwangsläufig mit einer Veränderung des Phänotyps verbunden. Entscheidend ist die Position des SNPs in den Aminosäure-kodierenden Sequenzen – nur

Veränderungen an der ersten oder zweiten Position eines Triplets können zu Veränderungen der Aminosäure und damit des Proteins führen.

Die Suche nach SNPs hat sich in den letzten Jahren durch die Entwicklung von Hoch-Durchsatz-Sequenziergeräten vereinfacht. Dadurch sind auch die Einsatzmöglichkeiten von SNPs angestiegen. Und obwohl SNPs eine deutlich geringere Diversität als SSR-Marker haben, bieten sie aufgrund ihrer Häufigkeit und uniformen Verteilung im Genom ein wertvolles Werkzeug für Genkartierungs- und Populationsstudien (XING et al., 2005). So wurden SNPs während der letzten zehn Jahre z.B. für die Konstruktion von Genom-Karten (CHO et al., 1999) und in Bereichen der Populationsgenetik (GARCIA-GIL et al., 2003) eingesetzt.

3 SNPs IN PAPPEL

Es gibt nur einige wenige Berichte in der Literatur, die eine SNP-Detektion in Forstgehölzen und insbesondere in der Gattung *Populus* beschreiben (INGVARSSON, 2005; GILCHRIST et al., 2006; FLADUNG & BUSCHBOM, 2009; DEGEN & FLADUNG, 2008). Analysen von SNP-Polymorphismen in zwei verschiedenen *Populus*-Arten ergaben eine Nukleotid-Variation zwischen 7,7 SNPs pro 1.000 bp für *P. trichocarpa* (GILCHRIST et al., 2006) und 16,6 SNPs pro 1.000 bp für *P. tremula* (INGVARSSON, 2005). Diese Frequenzen sind ebenfalls für andere Waldbaum-Arten (*Pinus*, *Eucalyptus*, *Chamaecyparis*) pro 1.000 bp beschrieben worden (ZHANG & ZHANG, 2005). Für *P. trichocarpa* haben GILCHRIST et al. (2006) insgesamt 63 neue SNPs in 8.191 bp von neun Genen gefunden.

Nach DEGEN & FLADUNG (2008) existieren im Gen der Polyphenoloxidase (CONSTABEL et al., 2000) in

einem 1.689 bp großen Abschnitt 66 SNPs, die eine Differenzierung von Arten erlauben. Andere Gene, wie leafy, GA20-Oxidase oder CAD-like können ebenfalls für genetische Differenzierung von Arten oder Hybriden herangezogen werden (FLADUNG & BUSCHBOM, 2009). Interessant ist beim Vergleich der Sequenzen aus dem gleichen Gen (z.B. Polyphenoloxidase, Leafy, GA20-Oxidase) der verschiedenen *Populus*-Arten, dass Nukleotid-Variationen auftreten, die an den gleichen Positionen auftreten („Gattung-spezifische“ SNPs; FLADUNG & BUSCHBOM, 2009). Nukleotid-Variationen, die zwischen den verschiedenen *Populus*-Arten vorkommen („Spezies-spezifische“ SNPs), sind zufällig verteilt.

4 IDENTIFIZIERUNG VON PAPPELARTEN

Für die Identifizierung von SNPs in der Gattung *Populus* haben wir sowohl Primer, die bereits für die molekulare Differenzierung von Arten („Barcoding“) eingesetzt werden (z.B. HOLLINGSWORTH et al., 2009; CHASE et al., 2005) verwendet und an verschiedenen *Populus*-Arten ausprobiert, als auch aus dem *Populus trichocarpa*-Chloroplastengenom eigene Primer entwickelt.

Insgesamt haben wir 42 Primer-Kombinationen aus 16 Chloroplastengenomen getestet. Für die Etablierung haben wir die Arten *Populus trichocarpa*, *P. tremula*, *P. tremuloides*, *P. alba*, *P. deltoides* und *P. nigra* verwendet. Mit einigen Markern wurde inzwischen zusätzlich *P. maximowiczii* überprüft.

Bisher konnten wir daraus drei SNPs identifizieren, mit denen über PCR-RFLPs eine positive Identifizierung von drei Arten der Sektion *Populus* (*P. tremula*, *P. tremuloides*, *P. alba*) möglich ist (Abbildung 1 und Abbildung 2).

Für die vier weiteren Arten haben wir SNPs gefunden, die anhand von Sequenzierungen eine Artbestimmung zulassen. Zur Ergänzung sind bisher 12 Primerkombinationen aus dem Kern-Gen (Polyphenoloxidase – PPO) verwendet worden, mit denen ebenfalls über Sequenzierung die Zuordnung aller sieben untersuchten Arten realisiert werden kann.

Abbildung 1 / Figure 1

SNP in der barcoding-Sequenz trnH-psbA, der die Unterscheidung von *Populus alba* und *P. tremuloides* ermöglicht

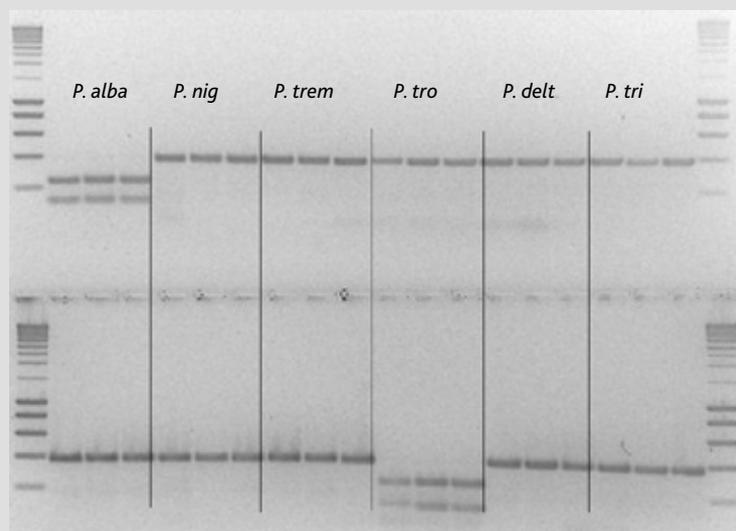
SNP in the barcoding sequence trnH-psbA allowing the discrimination of *Populus alba* and *P. tremuloides*



Abbildung 2 / Figure 2

Beispiel des Restriktionsergebnisses von trnH-psbA mit Alw26I (oben) (*P. alba* wird geschnitten) und *DraI* (unten) (*P. tremuloides* wird geschnitten); nig = *P. nigra*, trem = *P. tremula*, tro = *P. tremuloides*, delt = *P. deltoides* und tri = *P. trichocarpa*

Example of the restriction result of trnH-psbA with Alw26I (top): (*P. alba* is cut) and *DraI* (bottom) (*P. tremuloides* is cut); nig = *P. nigra*, trem = *P. tremula*, tro = *P. tremuloides*, delt = *P. deltoides* und tri = *P. trichocarpa*



5 IDENTIFIZIERUNG

Ein weiterer Schritt ist die Erkennung von Hybriden der Gattung *Populus*. Mit Hilfe der SNPs im Chloroplastengenom können die Mütter von Kreuzungen erkannt werden. SNPs im Kerngenom ermöglichen die Erkennung beider Kreuzungspartner. Im einfachsten Fall eines F1-Hybriden aus reinen Arten genügt es, einen Kern-SNP-Marker zu verwenden, um beide Kreuzungspartner zu identifizieren. Ein zusätzlicher SNP-Marker des Chloroplastengenoms ermöglicht dann noch die Zuordnung der Kreuzungsrichtung (Abbildung 3A). Ist bereits ein Elternteil ein Hybrid, so ist nur aus der Kombination eines cp-Markers und eines Kern-Markers die Art bzw. Hybridisierung zu determinieren, wie im Beispiel in Abbildung 3B dargelegt, wenn die

F1-Hybride am Kern-Marker homozygot ist. Die Kombination aus einem cp- und einem Kern-Marker ist in zwei von drei Fällen auch noch für die Erkennung von F2-Hybridisierungen ausreichend: AT und TT am Kern-Marker in Abbildung 3C. Für die Erkennung der dritten F2-Kombination (AA) wird mindestens ein zweiter Kern-Marker benötigt, an dem die zu identifizierende F2-Variante nicht homozygot ist (Abb. 3D)

Die Anzahl an benötigten Markern für die Identifizierung des Hybridisierungs-Status (bzw. der Generation) auch über die F2-Generation hinaus werden wir experimentell ermitteln und mit Hilfe von „Sättigungskurven“ validieren.

Abbildung 3 / Figure 3

Identifizierung von Hybriden / Generationen mit Hilfe von SNPs im Chloroplastengenom kombiniert mit SNPs im Kern-Genom. **A**: beide Eltern sind homozygot; **B**: ein Elternteil ist heterozygot, **C**: die F1-Hybride werden untereinander gekreuzt, **D**: Hinzunahme eines zweiten Kern-SNPs ermöglicht die Identifizierung der F2-Hybride. Weitere Erläuterungen siehe Text.

Identification of hybrids / generations by applying SNPs of the chloroplast genome combined with SNPs in the nuclear genome. **A**: both parents are homozygous; **B**: one parent is heterozygous; **C**: the F1 hybrids are crossed among each other; **D**: adding another nuclear SNP allows the identification of F2 hybrids. For more details, cf. text.

A	Chloroplast	Kern 1
Parental	♀ : A x ♂ : T	♀ : AA x ♂ : TT
F1-Generation	A	AT

B	Chloroplast	Kern 1
Parental	♀ : A x ♂ : T	♀ : AT x ♂ : TT
F1-Generation	A	AT, TT

C	Chloroplast	Kern 1
Parental	♀ : A x ♂ : T	♀ : AT x ♂ : AT
F2-Generation	A	AA, AT, TT

D	Chloroplast	Kern 1	Kern 2
F1-Generation	♀ : A x ♂ : T	♀ : AT x ♂ : AT	♀ : GC x ♂ : GC
F2-Generation	A	AA, AT, TT	GC, GG, CC

6 LITERATUR / REFERENCES

- CHASE, M.W., SALAMIN, N., WILKINSON, M., DUNWELL, J.M., KESANAKURTHI, R.P., HAIDAR, N. & SAVOLAINEN, V. (2005): Land plants and DNA barcodes: short-term and long-term goals. *Phil Trans R Soc* 360: 1889-1895.
- CHO, R.J., MINDRINOS, M.; RICHARDS, D.R.; SAPOLSKY, R.J. et al. (1999): Genome-wide mapping with biallelic markers in *Arabidopsis thaliana*. *Nat Genet* 23: 203-207.
- CONSTABEL, C.P., YIP, L., PATTON, J.J. & CHRISTOPHER, M.E. (2000): Polyphenol oxidase from hybrid poplar. Cloning and expression in response to wounding and herbivory. *Plant Physiology* 124: 285-295.
- DEGEN, B. & FLADUNG, M. (2008): Use of DNA-markers for tracing illegal logging. *Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research* 321: 6-14.
- ECKENWALDER, J. E. (1996): Systematics and evolution of *Populus*. In: STETTLER, R. F., H. D. BRADSHAW JR; P. E. HEILMAN & T. M. HINCKLEY (eds). *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*, Part I, Chapter 1. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada, 7-32.
- FLADUNG, M. & BUSCHBOM, J., 2009: Identification of Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) in different *Populus* species. *Trees* 23: 1199-1212.
- GARCIA-GIL, M.R.; MIKKONEN, M. & SAVOLAINEN, O., 2003: Nucleotide diversity at two phytochrome loci along a latitudinal cline in *Pinus sylvestris*. *Mol Ecol* 12: 1195-1206.
- GILCHRIST, E.J., HAUGHN, G.W., YING, C.C., OTTO, S.P., ZHUANG, J., CHEUNG, D., HAMBERGER, B., ABOUTORABI, F., KALYNYAK, T., JOHNSON, L., BOHLMANN, J., ELLIS, B.E., DOUGLAS, C.JJ & CRONK, Q.C.B. (2006): Use of Ecotilling as an efficient SNP discovery tool to survey genetic variation in wild populations of *Populus trichocarpa*. *Mol Ecol* 15: 1367-1378.
- HOLLINGSWORTH, M.L., CLARK, A.A., FORREST, .L.L., RICHARDSON, J., PENNINGTON, R.T., LONG, D.G., COWAN, R., CHASE, M.W., GAUDEUL, M. & HOLLINGSWORTH, P.M. (2009): Selecting barcoding loci for plants: evaluation of seven candidate loci with species-level sampling in three divergent groups of land plants. *Mol Ecol Resources* 9: 439-457.
- INGARVSSON, P.K. (2005): Nucleotide polymorphism and linkage disequilibrium within and among natural populations of European aspen (*Populus tremula* L., Salicaceae). *Genetics* 169: 945-953.
- JONES, N., OUGHAM, H., THOMAS, H. & PASAKINSKIENE, I. (2009): Markers and mapping revisited: finding your gene. *New Phytologist* 183: 935-966.
- LICHT, A. & ISEBRANDS, J.G. (2005): Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities. *Biomass & Bioenergy* 28: 203-218.
- TUSKAN, G.A., DIFAZIO, S., JANSSON, S., BOHLMANN, J. et al. (2006): The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray). *Science* 313: 1596-1604.
- VANDE WALLE, I., VAN CAMP, N., VAN DE CASTEELE, L., VERHEYEN, K. & LEMEUR, R. (2007): Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) II. Energy production and CO2 emission reduction potential. *Biomass & Bioenergy* 31: 276-283.
- XING, C., SCHUMACHER, F.R., XING, G., LU, Q., WANG, T. & ELSTON, R.C. (2005): Comparison of microsatellites, single-nucleotide polymorphisms (SNPs) and composite markers derived from SNPs in linkage analysis. *BMC Genetics* 6 (suppl. 1): p.29.
- ZANG, D.Q. & ZHANG, Z.Y. (2005): Single nucleotide polymorphisms (SNPs) discovery and linkage disequilibrium (LD) in forest trees. *For Stud China* 7: 1-14.

BESTIMMEN VON KULTURFERNE BEI WILDOBST - BEISPIEL *MALUS SYLVESTRIS* (L.) MILL. (POSTER)

ASSESSING THE DISTANCE TO CULTIVATION IN WILD FRUIT - EXAMPLE *MALUS SYLVESTRIS* (L.) MILL.

I. Wagner

Forschungsinstitut Pro Arbore Dresden, D-01219 Dresden

ABSTRACT

Wild apple (*Malus sylvestris* (L.) Mill.), native to Central Europe, belongs to the rare and highly endangered tree species. Genetic pollution by domesticated apples is supposed to be one major threat to the wild gene pool. So far, the real degree of hybridization has hardly been investigated.

Within the present study multilocus genotypes based on selected isozyme gene markers of 716 apples have been analysed for the first time in Germany in order to determine how distinct putative wild apples are from 'culture' (cultivated apples as reference). A quantifying procedure is provided by a model-based cluster analysis using the statistical program STRUCTURE.

Based on plant material originating from Rhineland-Palatinate, Saxony-Anhalt and North Rhine-Westphalia, and based on the actual marker set conclusions are as follows: no complete admixture between wild apples and cultivated apples did occur in the past. Only few hybrids exist on average (12.9%)

with similar values as reported from DNA analyses performed in Belgium and Denmark. Differences between wild apples growing in three different states in Germany are obvious regarding hybridization. And last but not least wild apples tend to be closer to old cultivars than to more recent cultivars. Genetic results are compared with morphological results available.

Keywords: Wild apple, *Malus sylvestris*, interspecific hybridization, distance to cultivation, STRUCTURE genetic evaluation program

Bestimmen von Kulturferne bei Wildobst – Beispiel *Malus sylvestris* (L.) Mill.

Iris Wagner, Pro Arbore, Dresden



Wärmeliebende Wildobstarten können bei fortschreitendem Klimawandel forstwirtschaftlich an Bedeutung gewinnen. Es wird erwartet, dass insbesondere die Wild-Birne von den prognostizierten klimatischen Veränderungen profitieren kann.

Die beiden in Mitteleuropa heimischen Wildarten *Malus sylvestris* und *Pyrus pyraeaster* gelten im gesamten Verbreitungsgebiet als ausgesprochen selten und existenziell stark bedroht. Als eine Gefährdungsursache wird die genetische Verunreinigung durch das Kultur-Obst angesehen. Genetische Barrieren für interspezifische Hybridisierung innerhalb der Maloideae in Rosaceae werden als schwach, prae- und postzygotische Hybridisierungsschranken bei Wild-Äpfel als nicht vorhanden beschrieben. Das tatsächliche Ausmaß von Hybridisierung ist allerdings bis heute wenig untersucht worden. Am Beispiel von Wildäpfeln in Deutschland werden Möglichkeiten der Quantifizierung aufgezeigt.

Das Grundprinzip dabei ist das Bestimmen der Kulturferne bzw. der Kulturmähe. In Ermangelung einer echten Referenz von *M. sylvestris* wird es immer darum gehen, vergleichende Messungen zu Kulturäpfeln als Hybridisierungsquelle durchzuführen. Genetische Merkmale eignen sich aufgrund der bekannten Vorteile (Umwelt, Ontogenese) für Abstandsmessungen, Clusterbildungen sowie zur Erkennung artspezifischer Varianten und sollten zur Plausibilitätsüberprüfung mit morphologischen Merkmalen ergänzt werden. Eine einzelbaumweise gut differenzierende Methode ist die modellbasierte Clusteranalyse mittels STRUCTURE (Pritchard et al., 2000). Auf Basis von Multilocus-Genotyp-Daten (hier Isoenzyme) kann für jeden Baum seine Zugehörigkeitswahrscheinlichkeit (q_i) in jedes abgeleitete Cluster angegeben werden.

Hauptergebnisse der vorzustellenden Untersuchungen an vermeintlichen Wild- (310) und Kulturäpfeln (406) sind:

- Ausweisung von zwei deutlich getrennten Genpools. In der Vergangenheit hat keine vollständige Vermischung zwischen Wild- und Kultur-Äpfel stattgefunden.
- Wenig Vermischung („admixture“). Bei einem festgelegten Grenzwert von 15% für q_4 werden 12,9% aller untersuchten Vertreter von *M. s.* intermediär (Hybriden) und 1,6% Sorten (Verwilderungen) zugeordnet. Gute Übereinstimmung mit Angaben auf der Basis von Mikrosatelliten aus Belgien (Coart et al., 2006) und Dänemark (Larsen et al., 2006).
- Unterschiede zwischen den Bundesländern. Rh-Pf hat mit 2,3% den geringsten Hybrid-Anteil, NRW den höchsten und Sa-An nimmt eine Mittelstellung ein.
- Enger Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der differenzierten STRUCTURE-Analyse und denen des groben Schnelltest.
- Tendenzielle Übereinstimmung von genetischen und morphologischen Ergebnissen auf Gruppenebene. Keine sichere Übereinstimmung auf Individualebene (nicht im Poster gezeigt).

Das Bestimmen von Hybriden setzt die Wahl eines geeigneten Markersets voraus und liefert immer nur relative Werte im Vergleich zu einer Referenzgruppe. Die Festlegung ist aber für eine gezielte - gezielter als bisher - Pflanzenproduktion unerlässlich. Populationsstatistische Analysemethoden können dabei hilfreiche Tools sein.



Gruppenebene

Tabelle 1 Genetischer Abstand d_0 (Software GSED) von rezenten Wildäpfeln in Rheinland-Pfalz (85), Sachsen-Anhalt (124) und Nordrhein-Westfalen (101) zu Kulturäpfeln (max. 436, Sorten-Referenz) auf der Basis von 10 Isoenzym-Genorten (TPI-5, AAT-1, AAT-2, PGM-1, PGM-5, DIA-2, DIA-4, 6PGD-1, MDH-4, IDH-1)

	Rh-Pf		Sa-An		NRW	
d_0	0.384	0.319	0.305 _{alt}	0.285	0.318	0.272
zu Sorten	0.377 _{alt} - 0.393 _{neu}	0.349	0.305 _{alt} - 0.343 _{neu}	0.270 _{alt} - 0.304 _{neu}	0.318	0.272
	K	B		M	D	S

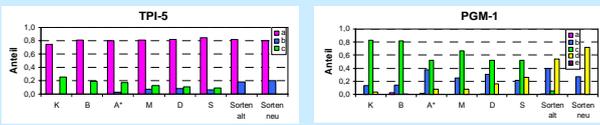


Abb. 1 Allelhäufigkeiten an den Genorten TPI-5 und PGM-1. *M. sylvestris*-Untergruppen aus NRW & Rh-Pf (K bis S) nach ihrem jeweiligen genetischen Abstand (d_0) zu *M. domestica* (Referenz: 436 Sorten) gruppiert. Gradienten bestimmter Geovariante deuten auf jeweilige Arzspezifität hin. *Md*-typisch erscheinen: TPI5'b, PGM1'd', AAT1'd', AAT2'b', PGM5'b', 6PGD1'd', [PGM4'1'] (letzte 5 nicht gezeigt).

Einzelbaumebene - Schnelltest

Tabelle 2 Rezente Wildäpfel in drei Bundesländern sowie Kulturäpfel mit und ohne genet. Kultur-Hinweis - TPI-5'b, AAT-1'd', AAT-2'b', PGM-1'd', PGM-5'b', 6PGD-1'd', [PGM-4'1'] - (links) und Verifizierung durch Morphologie (Mitte und rechts)

Kultur-Indiz	<i>M. sylvestris</i>			<i>M. domestica</i>		
	Rh-Pf	Sa-An	NRW	Gesamt	Alt	Neu
Anzahl	%	%	%	%	%	%
0	84,9	58,1	46,4	1,5 [1,0]	2,3 [1,4]	0 [0]
1	14,0	30,7	34,0	9,1 [6,9]	9,5 [7,2]	9,0 [6,6]
2	1,2	10,5	12,4	26,3 [23,8]	26,1 [23,4]	27,1 [23,9]
3	0	0,8	4,1	32,7 [29,7]	35,1 [28,8]	28,7 [30,3]
4	0	0	1,0	19,9 [25,3]	19,4 [27,0]	22,1 [25,4]
5	0	0	1,0	9,3 [10,4]	7,2 [9,9]	10,7 [10,7]
6	0	0	0	1,2 [2,7]	0,5 [2,3]	2,5 [3,3]

Kultur-Indiz	Mittlere Fruchtbreite (mm)		
	Rh-Pf	Sa-An	NRW
Anzahl	(63)	(97)	(24)
0	31,1 (56)	29,3 (56)	38,6 (14)
1	30,0 (00)	29,0 (29)	37,6 (00)
2	45,0 (01)	35,4 (00)	45,9 (03)
3	-	50,3 (02)	46,5 (01)
4	-	-	-
5	-	-	-

Kultur-Indiz	Mittlere Blattbearbeitung Herbst (Stufe 0-3)		
	Rh-Pf	Sa-An	NRW
Anzahl	(85)	(100)	(40)
0	0,07 (72)	0,48 (56)	0,85 (17)
1	0,14 (12)	0,62 (29)	0,83 (08)
2	0,30 (01)	0,69 (13)	1,50 (10)
3	-	1,50 (02)	1,67 (03)
4	-	-	2,00 (01)
5	-	-	2,00 (01)

(N): Anzahl fruktifizierender/bonitierter Bäume; Mittelung über Stufen soll Trend beschreiben

Einzelbaumebene – STRUCTURE Analyse

Tabelle 3 Zusammenfassung der Ergebnisse einer modellbasierten Cluster-Analyse mit Multilocus-Genotyp-Daten (Software STRUCTURE mit „admixture model“). Angegeben sind die Anteile der geschätzten Zugehörigkeit von Genotypen einer vorgegebenen Kategorie zu einem der beiden abgeleiteten Genpools (Cluster). Daten auf der Basis von Isoenzymen und 10 Genorten

Kategorie	Genpool 1 (<i>M. sylvestris</i>)	Genpool 2 (<i>M. domestica</i>)
Ursprung/Alter		
<i>M. sylvestris</i> Rheinland-Pfalz (Grp 13)	0,968	0,032
<i>M. sylvestris</i> Sachsen-Anhalt (Grp 15)	0,930	0,070
<i>M. sylvestris</i> Nordrhein-Westfalen (Grp 10)	0,853	0,147
<i>M. sylvestris</i> Gesamt	0,917	0,083
<i>M. domestica</i> alte Sorten (Grp 2)	0,084	0,916
<i>M. domestica</i> mittelalte Sorten (Grp 3)	0,049	0,951
<i>M. domestica</i> neue Sorten (Grp 4)	0,046	0,954
<i>M. domestica</i> Gesamt	0,060	0,940

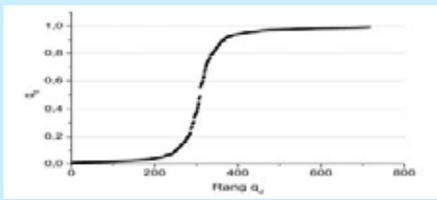


Abb. 3 Einzelbaum-Zuordnung in das abgeleitete „domestica“ Cluster anhand von q_4 . Abszisse: Werte nach ihren Rängen geordnet. Von links nach rechts zunehmende Kulturmähe.

Bei einem Grenzwert von $q_4 = 15\%$:
 Intermediäre Zuordnung von *M. s.* Vertretern = 12,9% (NRW: 23% Sa-An: 12,1% Rh-Pf: 2,3%)
 Sorten-Zuordnung von *M. s.* Vertretern = 1,6% (NRW: 4% Sa-An: 0,8% Rh-Pf: 0%)

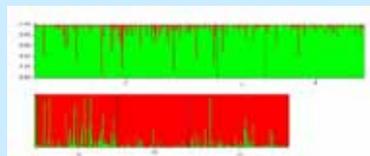


Abb. 2 Proportionale Zuordnung (q_4) der einzelnen Genotypen in die beiden K=2 abgeleiteten Cluster. Gruppierung der Individuen nach geschätztem Züchtungsalter für *M. domestica* (Grp 2, 3, 4) oben und Ursprung für *M. sylvestris* (Grp 10, 13, 15) unten

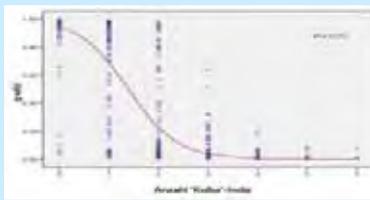


Abb. 4 Zusammenhang zwischen STRUCTURE Analyse ($q_{4,ind}$) und Schnelltest (Kultur-Indiz Anzahl); logistische Ausgleichsfunktion

Literatur

COART, E., VEKEMANS, X., SMULDERS, M.J.M., WAGNER, I., VAN HUYLENBROECK, J., VAN BOCKSTAELE, E. and ROLDÁN-RUIZ, I.; 2003: Genetic variation in the endangered wild apple (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) in Belgium as revealed by amplified fragment length polymorphism and microsatellite markers. *Molecular Ecology* 12, 845-857
 COART, E., VAN GLABEKE, S., DE LOOSE, M., LARSEN, A. S. and ROLDÁN-RUIZ, I.; 2006: Chloroplast diversity in the genus *Malus*: new insights into the relationship between the European wild apple (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) and the domesticated apple (*Malus domestica* Borkh.). *Molecular Ecology* 15, 2171-2182
 GILLET, E.M.; 2001: GSED "Genetic Structures from Electrophoresis Data". User's Manual, Version 1.1b - Aug. '01; <http://www.uni-forst.gwdg.de/forst/fg/software.htm>
 LARSEN, A.S., ASSMUSSEN, C.B., COART, E., OLRIK, D.C. and KJÆR, E.D.; 2006: Hybridization and genetic variation in Danish populations of European crab apple (*Malus sylvestris*). *Tree Genet. Genom.* 2, 86-97
 LARSEN, A.S., JENSEN, M., KJÆR, E.D.; 2008: Crossability between wild (*Malus sylvestris*) and cultivated (*M. domestica*) apples. *Silvae Genetica* 57, 3, 127-130
 PRITCHARD, J.K., STEPHENS, M. and DONNELLY, P.; 2000: Inference of Population Structure Using Multilocus Genotype Data. *Genetics* 155, 945-959
 PRITCHARD, J.K., WEIN, X. and FALUSH, D.; 2007: Documentation for structure software: Version 2.2; <http://pritch.bsd.uchicago.edu/software>
 WAGNER, I., SCHMITT, H.P., MAURER, W. and TABEL, U.; 2004: Isozyme Polymorphism and Genetic Structure of *Malus sylvestris* (L.) Mill. Native in Western Areas of Germany with Respect to *Malus x domestica* Borkh. *XIII. EUCARPIA Symp. On Fruit Breeds. & Genetics* (Eds. F. Laurens and K. Evans) 1.-5.9.2003 in Angers, Frankreich. Acta Horticulturae 663, 545-550
 WAGNER, I.; 2005: *Malus sylvestris* (L.) Mill. In: (Hrsg. Schütt, Weisgerber, Lang, Roloff, Stimm) *Enzyklopädie der Holzgewächse*. 42. Erg. Lfg. 1205, Kap. III-2, 1-16, Ecomed Biowissenschaften
 WAGNER, I.; 2008: Genetische Analysen an Wild-Äpfeln im Biosphärenreservat Mittenlebe. In: (Hrsg. Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt) *Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt*. Sonderheft 2, 29-36
 WAGNER, I.; 2009: *Pyrus pyraeaster* (L.) BURGD. In: (Hrsg. Roloff, Weisgerber, Lang, Stimm) *Enzyklopädie der Holzgewächse*. 52. Erg. Lfg. 409, Kap. III-2, 1-20, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Dank

Für die technische Assistentin im Labor ist Christine Geibel und Heike Ribbeck, für die Mitgestaltung des Posters Christine Geibel sehr herzlich gedankt. Ich bedanke mich bei der FAWF Rheinland-Pfalz, der Forstgenbank Nordrhein-Westfalen und dem FÖLV Biosphärenreservat „Mittenlebe“ e.V. Sachsen-Anhalt dafür, dass das vorliegende Datamaterial weitestgehend statistisch bearbeitet werden durfte.

Pro Arbore
 Gustav-Adolf-Str. 3, D-01219 Dresden
 Tel./Fax: 0351 4759619
 e-mail: IrisWagner@aol.com

ZUSAMMENFASSUNG

Der in Mitteleuropa heimische Wild-Apfel (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) gilt als selten und existenziell bedroht. Eine wesentliche Gefährdung wird in der genetischen Verunreinigung durch den Kultur-Apfel gesehen. Das tatsächliche Ausmaß von Hybridisierung ist allerdings bis heute nur wenig untersucht worden.

In der vorliegenden Studie werden Multilocus-Genotypen auf Basis ausgewählter Isoenzym-Genmarker von 716 Apfel-Herkünften und -sorten erstmalig in Deutschland analysiert, um die Kulturferne bzw. Kulturnähe vermeintlicher Wildäpfel zu Kulturäpfeln (Referenz) zu bestimmen. Eine Quantifizierung erfolgt hierbei durch eine modellgestützte Clusteranalyse mit dem Statistikprogramm STRUCTURE.

Auf der Grundlage des Wild-Apfel-Untersuchungsmaterials aus Rheinland-Pfalz, Sachsen-Anhalt und Nordrhein-Westfalen sowie des verwendeten Markersatzes ergibt sich, dass in der Vergangenheit keine vollständige genetische Vermischung zwischen Wild- und Kultur-Apfel stattgefunden hat. Es sind durchschnittlich wenig Hybriden (12.9%) vorhanden bei prozentual ähnlichen Angaben, wie von DNA-Analysen aus Belgien und Dänemark berichtet wird. Auch existieren Unterschiede der Hybridisierung zwischen den drei Vorkommen in Deutschland. Und schließlich stehen Wildäpfel alten Kultur-Apfel-Sorten näher als neuen Sorten. Ein Abgleich mit morphologischen Ergebnissen wird ebenfalls vorgenommen.

Schlagwörter: Wild-Apfel, *Malus sylvestris*, interspezifische Hybridisierung, Kulturferne, STRUCTURE genetisches Evaluierungsprogramm

1 EINLEITUNG

Wärmeliebende Wildobstarten können bei fortschreitendem Klimawandel forstwirtschaftlich an Bedeutung gewinnen. Es wird erwartet, dass insbesondere die Wild-Birne (*Pyrus pyraeaster*) von den prognostizierten klimatischen Veränderungen profitieren kann.

Die beiden in Mitteleuropa heimischen Wildobstarten Wild-Apfel (*Malus sylvestris*) und Wild-Birne (*Pyrus pyraeaster*) gelten im gesamten Verbreitungsgebiet als ausgesprochen selten und als existenziell stark bedroht. Als eine Gefährdungsursache wird die genetische Verunreinigung durch das Kultur-Obst angesehen.

Genetische Barrieren für interspezifische Hybridisierung innerhalb der *Maloideae* in den Rosaceen werden als schwach, prä- und postzygotische Hybridisierungsschranken bei Wild-Apfel als nicht vorhanden beschrieben. Das tatsächliche Ausmaß von Hybridisierung ist allerdings bis heute wenig untersucht worden. Am Beispiel von Wildäpfeln in Deutschland werden Möglichkeiten der Quantifizierung aufgezeigt.

Das Grundprinzip dabei ist das Bestimmen der Kulturferne bzw. der Kulturnähe. In Ermangelung einer echten Referenz von *M. sylvestris* wird es immer darum gehen, vergleichende Messungen zu Kulturäpfeln als Hybridisierungsquelle durchzuführen.

Genetische Merkmale eignen sich aufgrund der bekannten Vorteile (Umwelt, Ontogenese) für Abstandsmessungen, Clusterbildungen sowie zur Erkennung artspezifischer Varianten und sollten zur Plausibilitätsüberprüfung mit morphologischen Merkmalen ergänzt werden. Eine einzelbaumweise gut differenzierende Methode ist die modellbasierte Clusteranalyse mittels STRUCTURE (PRITCHARD et al., 2000). Auf Basis von Multilocus-Genotyp-Daten (hier Isoenzyme) kann für jeden Baum seine Zugehörigkeitswahrscheinlichkeit (q) in jedes abgeleitete Cluster angegeben werden.

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Untersuchung detailliert dargestellt.

2 ERGEBNISSE

Hauptergebnisse der vorzustellenden Untersuchungen an vermeintlichen Wild- (310) und Kultur-Äpfeln (406) sind:

Ausweisung von zwei deutlich getrennten Genpools: In der Vergangenheit hat keine vollständige Vermischung zwischen Wild- (310) und Kulturäpfeln (406) stattgefunden.

Wenig Vermischung („admixture“): Bei einem festgelegten Grenzwert von 15 % für qd werden 12.9 % aller untersuchten Vertreter von *Ms* intermediär (Hybriden) und 1.6 % Sorten (Verwildierungen) zugeordnet. Gute Übereinstimmung mit Angaben auf der Basis von Mikrosatelliten aus Belgien (COART et al. 2006) und Dänemark (LARSEN et al. 2006).

Unterschiede zwischen den Bundesländern: In den jeweiligen Einsammlungen hat Rheinland-Pfalz (Rh-Pf) mit 2,3 % den geringsten Hybrid-Anteil, Nordrhein-Westfalen (NRW) den höchsten mit 23 % und Sachsen-Anhalt (Sa-An) einen mittleren von 12,1 %.

Zusammenhang zwischen STRUCTURE-Analyse und Schnelltest: Zwischen den Ergebnissen der differenzierten STRUCTURE-Analyse (q-Wert) und den Ergebnissen

eines groben Schnelltests („Kultur“-Indiz-Anzahl) besteht ein enger Zusammenhang.

Zusammenhang zwischen genetischen und morphologischen Merkmalen: Auf Gruppenebene gibt es tendenziell eine Übereinstimmung von genetischen und morphologischen Ergebnissen. Auf Individuumebene ist eine Übereinstimmung nicht sicher.

Unterschiedliche Beziehung zum Sortenalter: *Malus sylvestris* zeigt zu alten Apfelsorten eine größere Nähe als zu neuen Apfelsorten.

Das Bestimmen von Hybriden setzt die Wahl eines geeigneten Markersets voraus und liefert immer nur relative Werte im Vergleich zu einer Referenzgruppe. Die Festlegung ist aber für eine gezieltere Pflanzenproduktion als bisher unerlässlich. Populationsstatistische Analysemethoden können dabei hilfreiche *Tools* sein.

2.1 Gruppenebene

Tabelle 1 / Table 1

Genetischer Abstand d_0 (Software GSED) von rezenten Wildäpfeln aus Einsammlungen in Rheinland-Pfalz (Rh-Pf; 86), Sachsen-Anhalt (Sa-An; 124) und Nordrhein-Westfalen (NRW; 101) zu Kulturäpfeln (max. 436, Sorten-Referenz) auf Basis der 10 Isoenzym-Genorte TPI-5, AAT-1, AAT-2, PGM-1, PGM-5, DIA-2, DIA-4, 6PGD-1, MDH-4, IDH-1

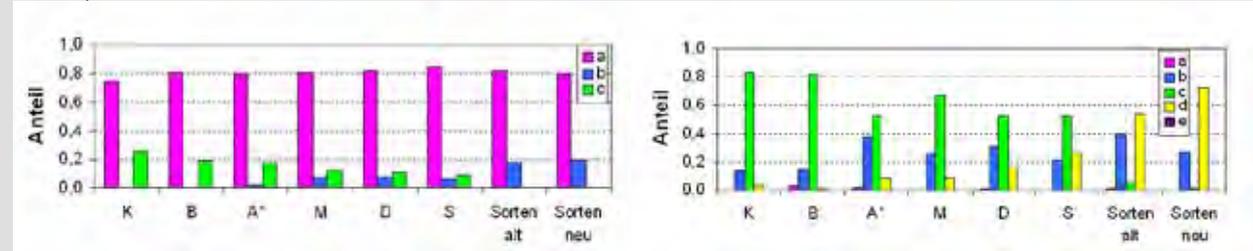
Genetic distance d_0 (Software GSED) between recent wild apple trees of collections from Rhineland-Palatinate (Rh-Pf; 86), Saxony-Anhalt (Sa-An; 124) and North Rhine-Westphalia (NRW; 101) and cultivated apples (max. 436; cultivar reference) as based on 10 isozyme gene loci TPI-5, AAT-1, AAT-2, PGM-1, PGM-5, DIA-2, DIA-4, 6PGD-1, MDH-4, IDH-1

	Rh-Pf		Sa-An		NRW			
	0.384		0.319		0.285			
	0.377 _{alt}	-	0.393 _{neu}	0.305 _{alt}	-	0.343 _{neu}	0.270 _{alt} - 0.304 _{neu}	
d_0								
	K		B			M	D	S
	0.405		0.374			0.318	0.272	0.270

Abbildung 1 / Figure 1

Allelhäufigkeiten an den Genorten TPI-5 (links) und PGM-1 (rechts). *M. sylvestris*-Untergruppen aus NRW & Rh-Pf (K bis S) nach ihrem jeweiligen genetischen Abstand (d_0) zu *M. domestica* (Referenz: 436 Sorten) gruppiert. Gradienten bestimmter Genvarianten deuten auf jeweilige Artspezifität hin. *Md*-typisch (,Kultur'-Hinweis) erscheinen: TPI-5'b', PGM-1'd', AAT-1'd', AAT-2'b', PGM-5'b', 6PGD-1'd', [PGM-4'1'] (letzte 5 nicht gezeigt)

Allelic frequencies at the loci TPI-5 (left) and PGM-1 (right). *M. sylvestris* sub-groups from NRW and Rh-Pf (K to S) grouped by their respective genetic distance (d_0) grouped to *M. domestica* (reference 436 cultivars). Gradients of particular gene variants point to the respective species specification. *Md*-typical (indicating cultivation) appear to be: TPI-5'b', PGM-1'd', AAT-1'd', AAT-2'b', PGM-5'b', 6PGD-1'd', [PGM-4'1'] (residual 5 are not shown)



2.2 Einzelbaumbene - Schnelltest

Tabelle 2 / Table 2

Rezente Wildäpfel aus drei Bundesländern sowie Kulturäpfel mit und ohne genetischem/n ,Kultur'-Hinweis (oben) und Verifizierung durch morphologische Merkmale (unten)

Presently growing wild apple trees from three German Federal States as well as cultivated apples with and without indication of ,cultivation' (top section) and verification by morphological traits (bottom section)

Kultur-Indiz	<i>M. sylvestris</i>			<i>M. domestica</i>		
	Rh-Pf %	Sa-An %	NRW %	Gesamt %	Alt %	Neu %
0	84.9	58.1	46.4	1.5 [1.0]	2.3 [1.4]	0 [0]
1	14.0	30.7	34.0	9.1 [6.9]	9.5 [7.2]	9.0 [6.6]
2	1.2	10.5	13.4	26.3 [23.8]	26.1 [23.4]	27.1 [23.8]
3	0	0.8	4.1	32.7 [29.7]	35.1 [28.8]	28.7 [30.3]
4	0	0	1.0	19.9 [25.3]	19.4 [27.0]	22.1 [25.4]
5	0	0	1.0	9.3 [10.6]	7.2 [9.9]	10.7 [10.7]
6	0	0	0	1.2 [2.7]	0.5 [2.3]	2.5 [3.3]

Kultur-Indiz	Mittlere Fruchtbreite (mm)			Mittlere Blattbehaarung (Stufe 0-3)		
	1999	2005	2007	1999	2005	2007
Anzahl N	Rh-Pf (63)	Sa-An (97)	NRW (24)	Rh-Pf (85)	Sa-An (100)	NRW (40)
0	31.1 (56)	29.3 (56)	38.6 (14)	0.07 (72)	0.48 (56)	0.85 (17)
1	30.0 (06)	29.0 (29)	37.6 (06)	0.14 (12)	0.62 (29)	0.83 (08)
2	45.0 (01)	35.4 (10)	45.9 (03)	0.30 (01)	0.69 (13)	1.50 (10)
3	-	50.3 (02)	46.5 (01)	-	1.50 (02)	1.67 (03)
4	-	-	-	-	-	2.00 (01)
5	-	-	-	-	-	2.00 (01)

(N): Anzahl fruktifizierender / bonitierter Bäume. Behaarung Herbst: Mittelung über Stufen soll Trend beschreiben

2.3 Einzelbaumebene - STRUCTURE Analyse

Tabelle 3 / Table 3

Zusammenfassung der Ergebnisse einer modellbasierten Cluster-Analyse mit Multilocus-Genotyp-Daten (Software STRUCTURE mit ‚admixture model‘). Angegeben sind die Anteile der geschätzten Zugehörigkeit von Genotypen einer vorgegebenen Kategorie zu einem der beiden abgeleiteten Genpools (Cluster). Daten auf der Basis von 10 Isoenzym-Genorten.

Summarizing the results of a model-based cluster analysis for multilocus data (Software STRUCTURE with ‚admixture model‘). The proportions of estimated assignment of genotypes of a given category to one of the both inferred gene pools (cluster) are listed. Data are based on 10 isozyme gene loci.

Kategorie	Genpool 1	Genpool 2
Ursprung/Alter	(<i>M. sylvestris</i>)	(<i>M. domestica</i>)
<i>M. sylvestris</i> Rheinland-Pfalz (Grp 13)	0.968	0.032
<i>M. sylvestris</i> Sachsen-Anhalt (Grp 15)	0.930	0.070
<i>M. sylvestris</i> Nordrhein-Westfalen (Grp 10)	0.853	0.147
<i>M. sylvestris</i> gesamt	0.917	0.083
<i>M. domestica</i> alte Sorten (Grp 2)	0.084	0.916
<i>M. domestica</i> mittelalte Sorten (Grp 3)	0.049	0.951
<i>M. domestica</i> neue Sorten (Grp 4)	0.046	0.954
<i>M. domestica</i> gesamt	0.060	0.940

Abbildung 2 / Figure 2

Proportionale Zuordnung (qk) der einzelnen Genotypen in die beiden K=2 abgeleiteten Cluster. Gruppierung der Individuen nach geschätztem Züchtungsalter für *M. domestica* (oben: Grp 2, 3, 4) und Ursprung für *M. sylvestris* (unten: Grp 10, 13, 15)

Proportional assignment (qk) of individual genotypes to each of the two K=2 inferred clusters. Grouping of the individuals according to estimated breeding age for *M. domestica* (top: groups 2, 3, 4) and origin for *M. sylvestris* (bottom: groups 10, 13, 15)

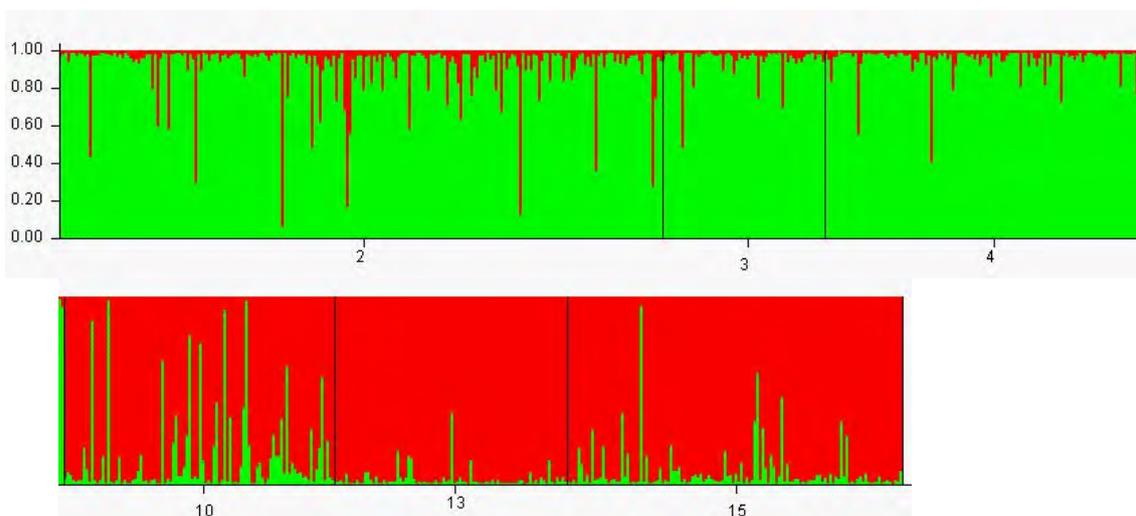


Abbildung 3 / Figure 3

Einzelbaum-Zuordnung in das abgeleitete ‚domestica‘ Cluster anhand von q_d . Abszisse: Werte nach ihren Rängen geordnet. Von links nach rechts zunehmende Kulturnähe. Bei einem Grenzwert von $q_d = 15\%$: Intermediäre Zuordnung von *Ms*-Vertretern = 12,9 % (NRW 23 %; Sa-An 12,1 %; Rh-Pf: 2,3 %). Sorten-Zuordnung von *Malus sylvestris*-Vertretern = 1.6 % (NRW 4 %; Sa-An 0.8 %; Rh-Pf: 0 %)

Assignment of inferred trees to the deviated ‚domestica‘ cluster by means of q_d . Abscissa: values arranged according to their ranks. From left to right: affinity to cultivation is increasing. At a threshold value of $q_d = 15\%$: Intermediate assignment of *Malus sylvestris* representatives = 12,9 % (NRW 23 %; Sa-An 12.1 %; Rh-Pf: 2.3 %)

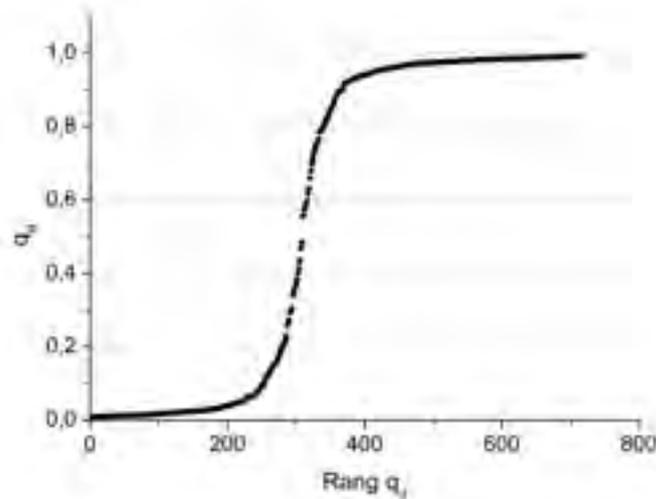
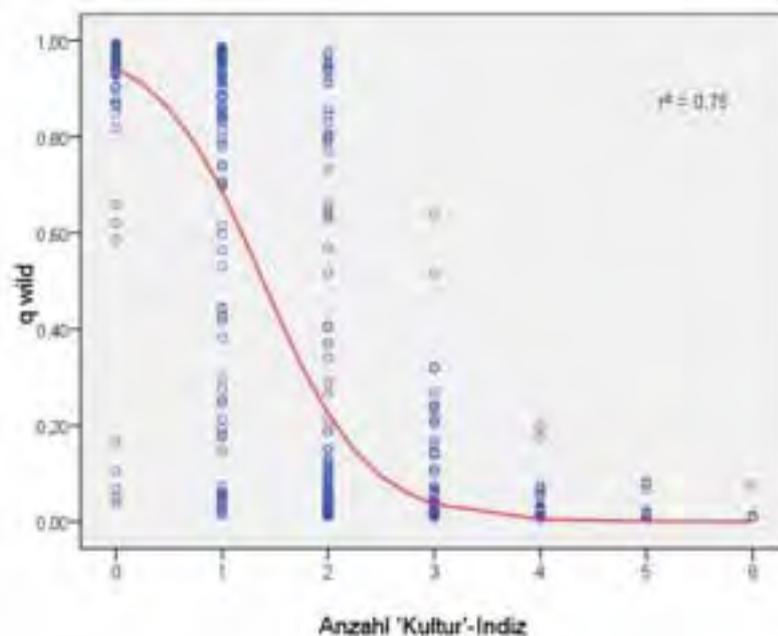


Abbildung 4 / Figure 4

Zusammenhang zwischen STRUCTURE-Analyse (q_{wild}) und Schnelltest (Anzahl ‚Kultur‘-Indiz); logistische Ausgleichsfunktion

Correlation between STRUCTURE analysis (q_{wild}) and rapid test (number ‚Kultur‘-Indiz); logistic function



3 LITERATUR / REFERENCES

- CORAT, E., VEKEMAN, X., SMULDERS, M.J.M., WAGNER, I., VAN HUYLENBROECK, J., VAN BOCKSTAELE, E. & ROLDÁN-RUIZ, I. (2003): Genetic variation in the endangered wild apple (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) in Belgium as revealed by amplified fragment length polymorphism and microsatellite markers. *Molecular Ecology* 12: 845-857.
- COART, E., VAN GLABEKE, S., DE LOOSE, M., LARSEN, A.S. & ROLDÁN-RUIZ, I. (2006): Chloroplast diversity in the genus *Malus*: new insights into the relationship between the European wild apple (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) and the domesticated apple (*Malus domestica* Borkh.). *Molecular Ecology* 15: 2171-2182.
- GILLET, E.M. (2001): GSED "Genetic Structures from Electrophoresis Data". User's Manual, Version 1.1h – Aug. '01; <http://www.uni-forst.gwdg.de/forst/fg/software.htm>.
- LARSEN, A.S., ASMUSSEN, C.B., COART, E., OLRİK, D.C. & KJÆR, E.D. (2006): Hybridization and genetic variation in Danish populations of European crab apple (*Malus sylvestris*). *Tree Genet. Genom.* 2: 86-97.
- LARSEN, A.S., JENSEN, M., KJÆR, E.D. (2008): Cross ability between wild (*Malus sylvestris*) and cultivated (*M. domestica*) apples. *Silvae Genetica* 57(3): 127-130.
- PRITCHARD, J.K., STEPHENS, M. & DONNELLY, P. (2000): Inference of Population Structure Using Multilocus Genotype Data. *Genetics* 155: 945-959.
- PRITCHARD, J.K., WEN, X. AND FALUSH, D. (2007): Documentation for structure software: Version 2.2; <http://pritch.bsd.uchicago.edu/software>.
- WAGNER, I., SCHMITT, H.P., MAURER, W. & TABEL, U. (2004): Isozyme Polymorphism and Genetic Structure of *Malus sylvestris* (L.) Mill. Native in Western Areas of Germany with Respect to *Malus x domestica* Borkh. *Acta Horticulturae* 663: 545-550.
- WAGNER, I. (2005): *Malus sylvestris* (L.) Mill. In: *Enzyklopädie der Holzgewächse*. (P. SCHÜTT, H. WEISGERBER, U. LANG, A. ROLOFF, B. STIMM, Hrsg.) 42. Erg.-Lfg. 12/05, Kap. III-2, S.1-16, Ecomed Biowissenschaften.
- WAGNER, I. (2008): Genetische Analysen an Wild-Äpfeln im Biosphärenreservat Mittelelbe. In: *Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Hrsg.), Sonderheft 2, S.29-36.*
- WAGNER, I. (2009): *Pyrus pyrastris* (L.) BURGSD. In: *Enzyklopädie der Holzgewächse* (A. ROLOFF, H. WEISGERBER, U. LANG, B. STIMM, Hrsg.). 52. Erg Lfg. 4/09, Kap. III-2, S.1-20, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KG aA.
- WAGNER, I. & WEEDEN, N.F. (2000): Isozymes in *Malus sylvestris*, *Malus sylvestris*, *Malus domestica* and in Related *Malus* Species. *Acta Horticulturae* 538: 51-56.

Danksagung

Für die technische Assistenz im Labor ist Christine Geibel und Heike Ribbeck, für die Mitgestaltung des Posters Christine Geibel sehr herzlich gedankt. Ich bedanke mich bei der FAWF Rheinland-Pfalz, der Forstgenbank Nordrhein-Westfalen und dem FÖLV Biosphärenreservat „Mittelelbe“ e.V. Sachsen-Anhalt dafür, dass das vorliegende Datenmaterial weiterführend statistisch bearbeitet werden durfte.

DER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DER GENETISCHEN DIVERSITÄT UND DER SEKUNDÄRSUKZESSION IN CHARAKTERISTISCHEN WALDGESELLSCHAFTEN THÜRINGENS (POSTER)

GENETIC DIVERSITY AND ITS RELATIONSHIP WITH SECONDARY SUCCESSION OF CHARACTERISTIC TREE COMMUNITIES IN THURINGIA (GERMANY)

Ch. Wehenkel¹, J.J. Corral-Rivas² & J.C. Hernández-Díaz¹

¹Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, 34120-Durango, Mexico

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, 34120-Durango, Mexico

ABSTRACT

Forest succession is a fundamental ecological process, which has significant implications for sustainable natural resource management and for the biological, biophysical, and biogeochemical processes in an ecosystem.

Genetic diversity is not only a product of the number of species present in a given area, but also of successional change from colonization of gaps by pioneer species to mature climax forest. Genetic diversity should be higher in earlier successional stages than in later stages because high environmental predictability in later successional stages favours low genetic diversity.

In this study we explored the relationship between secondary succession and genetic diversity in eight stands of characteristic tree communities in the Thuringian forest area (Germany). For defining

secondary succession, we used the mean Ellenberg indicator values for light and nitrogen in the herb layer, weighted for coverage, as well as the percentage of climax tree species in naturally regenerated stands.

The stabilizing effects of the demographic structure of individual species, which reduce the risks of inbreeding and genetic drift in late stages of succession caused by more individuals per species, could not compensate for the reduction in trans-specific genotype diversity per species in some enzyme systems which are affected by light and nitrogen. Hence, selection effects during replacement of light and nitrogen demanding species and plant communities by more economical and competitive species such as *Abies alba* MILL. and *Fagus sylvatica* L. probably dominated in the study.

Keywords: Climax tree species, rarefaction curve, covariation, permutation test, isozyme, AFLP

GENETIC DIVERSITY AND ITS RELATIONSHIP WITH SECONDARY SUCCESSION OF CHARACTERISTIC TREE COMMUNITIES IN THURINGIA, GERMANY

Christian WEHENKEL¹, Javier CORRAL-RIVAS², José Ciró HERNÁNDEZ-DÍAZ¹

¹Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, México.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, México

Contact: wehenkel@ujed.mx

Introduction

Forest succession is a fundamental ecological process, which has significant implications for sustainable natural resource management as well as ecosystem biological, biophysical, and biogeochemical processes. Determining the factors that drive successional changes in ecosystems is difficult, because various interacting factors influence the course of succession (Dölle and Schmidt 2008).

In this study we explored the relationship between secondary succession and genetic diversity of tree communities in a Thuringian forest area (Germany). We used the mean Ellenberg's indicator values for light and nitrogen for the herb layer weighted by coverage as well as the percentage of the climax tree species in the natural regeneration, for defining secondary succession.

Material and Methods

Study sites and populations studied

Data of nine forest stands located in the Thuringian forest area (Germany) were used in the study. The sites are characterized by different tree and shrub species and present earlier and later stages of forest succession. Each of the nine stands was subdivided into six plots of the size 40x40 m and most of the regeneration of the trees and shrubs in these plots comprising about 5000 individuals in total was used as study material for the genetic surveys. The tree species investigated, the total number of individuals per species, the frequency of occurrence of individuals of each species, and the mean Ellenberg's indicator values for light and nitrogen and their arithmetical mean for the herb layer (Ellenberg et al. 2001) in the eight stands are listed in Table 1. Apart from the three climax species (belonging to the genera *Abies*, *Fagus* and *Picea*), three intermediary tree species (of the genera *Acer*, *Carpinus* and *Tilia*), and four pioneer species (of the genera *Betula*, *Pinus*, *Rhamnus* and *Sorbus*) were included in the study. Dölle and Schmidt (2007, 2008) showed in a study in Lower Saxony, Germany that the Ellenberg's indicator values for light and nitrogen for the herb layer (Ellenberg et al. 2001) as well as the herbaceous cover significantly decreased during succession.

Table 1: Natural regeneration of the investigated tree species, the total number of individuals per species, the mean Ellenberg's indicator values for light and nitrogen and their arithmetical mean for the herb layer weighted by coverage, the percentage of herbaceous cover as well as the percentage of the climax tree species in the natural regeneration.

Tree species	Stand								Sum
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
<i>Fagus sylvatica</i> L.	105	123	1116	783				146	2273
<i>Picea abies</i> L.	44	426			344	389	699		1902
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	253	274		35					562
<i>Tilia cordata</i> M.		34	193						227
Individual number of tree species			176				28	27	55
<i>Betula pendula</i> Roth									52
<i>Abies alba</i> Mill.									29
<i>Pinus sylvestris</i> L.			52						22
<i>Carpinus betulus</i> L.		29							22
<i>Rhamnus frangula</i> L.			22						19
<i>Sorbus aucuparia</i> L.							9	10	
Total number per stand	402	460	676	1309	818	344	426	882	
Mean Ellenberg's indicator values for the herb layer weighted by coverage	for light	4.47	5.02	5.84	3.58	3.34	5.13	4.89	4.30
	for nitrogen	6.18	5.07	3.35	5.55	5.35	3.28	3.00	2.63
Mean indicator values for light and nitrogen	5.33	5.05	4.60	4.57	4.35	4.21	3.95	3.47	
Percentage of herbaceous cover [%]	25	69	55	35	17	12	12	2	
Percentage of the climax tree species [%]	37	27	63	85	96	100	98	99	

Diversity measures

All diversities based on the tree species and multilocus genotypes were calculated by the well-known measure v_2 ($v_2 = 1/\sum p_i^2$), which is frequently referred to as the "effective number" of variants (of the species under study). The effective number of species, v_2 , is one measure from an infinite family v_a of measures, where a is a real number ranging from zero to infinity (Hill 1973). Formally,

$$v_a = v_a(p) = \left(\sum_i p_i^a \right)^{\frac{1}{1-a}}$$

The genetic diversity of the community was then calculated by the transspecific genetic diversity ($v_{a,lg}$) and the transspecific genetic diversity per species ($v_{a,lg}/v_{a,species}$) (Gregorius 2003).

AFLP and enzyme system data

DNA data were obtained by amplified fragment length polymorphism (AFLP) technology. AFLP fingerprints were generated by use of the modified protocol described by Vos et al. (1995).

Starch gel electrophoresis was used to assay five enzyme systems: aspartate aminotransferase (AAT, E.C. 2.6.1.1), phosphoglucose isomerase, (PGI, E.C. 5.1.3.9) and hexokinase (HEK, E.C. 2.7.1.1), malate dehydrogenase (MDH, E.C. 1.1.1.37), and isocitrate dehydrogenase (IDH, E.C. 1.1.1.42).

Covariation of the mean Ellenberg's indicator values and the percentage of climax tree species with $v_{a,lg}$ and $v_{a,lg}/v_{a,species}$

The relationship between the mean Ellenberg's indicator values for light (le), nitrogen (ne) and their arithmetical mean (lne) for the herb layer weighted by coverage, the percentage of the climax tree species in the natural regeneration (fc) and the transspecific genetic diversity ($v_{a,lg}$) as well as the transspecific genetic diversity per species ($v_{a,lg}/v_{a,species}$) in the AAT, HEK, PGI, MDH, IDH, and AFLP system for $a=0$, $a=2$, and $a=\infty$ was measured by the Covariation (C) by Gregorius et al. (2007). By definition, two ordinal variables X and Y show entire covariation if one variable consistently increases or consistently decreases as the other variable increases. The covariation C varies between -1 and $+1$, where $C = 1$ refers to an entirely positive covariation and $C = -1$ to a strictly negative covariation. If its denominator is zero, C is undefined (Gregorius et al. 2007). C can be produced solely by random events rather than directed forces, a permutation test based on randomly chosen reassignments was performed. Formally

$$C = \frac{\sum_{i \in C_i} (X_i - \bar{X}_i) \cdot (Y_i - \bar{Y}_i)}{\sum_{i \in C_i} |(X_i - \bar{X}_i) \cdot (Y_i - \bar{Y}_i)|}$$

Results and conclusions

Assuming that the mean Ellenberg's indicator values for light (le), nitrogen (ne) and their arithmetical mean (lne) for the herb layer weighted by coverage decrease (Dölle and Schmidt 2008) and the percentage of the climax tree species (Pidwirny 2006) in the natural regeneration (fc) increases during secondary succession, then the transspecific genetic diversity ($v_{a,lg}$) is almost always significant larger in the earlier successional stages than in the later stages in AAT, HEK, PGI, and AFLP system for $a = 0$, $a = 2$ and $a = \infty$ of the observed tree communities (Fig. 1). The same applies to the transspecific genetic diversity per species ($v_{a,lg}/v_{a,species}$), i.e. also excluding the effects of species diversity, only in the AAT, HEK, and PGI system.

Stabilizing effects of demography of individual species and reducing risks of inbreeding and genetic drift in late stages of succession caused by more individual per species could not compensate the reduction of transspecific genotype diversity per species in some genetic enzyme systems relating to light and nitrogen as main driving forces for successional change. Hence, selection effects during replacements of light and nitrogen demanding genotypes, species, and plant communities by more humble and higher competitive individuals and species such as *Abies alba* MILL. and *Fagus sylvatica* L. probably dominated in our study.

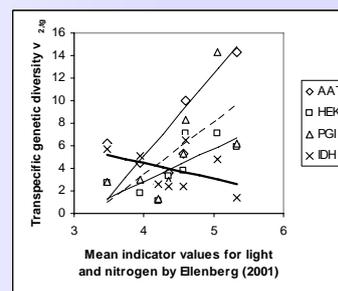


Fig. 1: Relationship between the mean indicator values for light and nitrogen by Ellenberg (2001) and the transspecific genetic diversity $v_{2,lg}$ for the AAT, HEK, PGI, and IDH system

Aknowledgments

This study was supported by a grant (Gr 435/23-1) from the Deutsche Forschungsgemeinschaft. We are grateful for permission granted by Stadt Mühlhausen and Freistaat Thüringen to use the study sites and for the technical assistance provided by Dr. Markussen.

REFERENCES

Dölle M, and Schmidt W (2007) Changes in plant species diversity during thirty-six years of undisturbed old-field succession. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 178: 225-232
 Dölle M, and Schmidt W (2008) Impact of tree species on nutrient and light availability: Evidence from a permanent plot study of old-fields. Plant Ecol. DOI 10.1007/s11258, accepted
 Ellenberg H, Weber HE, Dull R, Wirth V, Werner W (2001) Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Scripta Geobot 18: 1-262
 Gregorius HR, Bergmann F, Wehenkel C (2003) Analysis of biodiversity across levels of biological organization: a problem of defining traits. Perspect Plant Ecol. Evol. Syst 5: 209-218
 Gregorius HR, Degen B, König A (2007) Problems in the analysis of genetic differentiation among populations - a case study in *Quercus robur*. Silvae Genetica 56: 190-199
 Hill MO (1973) Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. Ecology 54: 427-432
 Vos P, Hogers R, Bleeker M et al. (1995) AFLP: a new concept for DNA fingerprinting. Nucleic Acids Research 23: 4407-4414
 Pidwirny M (2006) Plant Succession. Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition. Date Viewed



ZUSAMMENFASSUNG

Waldsukzession ist ein grundlegender ökologischer Prozess, der weitreichende Folgen für die nachhaltige Bewirtschaftung von natürlichen Ressourcen als auch für andere ökosystemare Prozesse hat.

Die genetische Diversität wird auch durch sukzessionale Veränderungen beeinflusst und sollte in früheren Sukzessionsstadien einer Waldgesellschaft größer sein als in späteren, weil eine größere Umweltvorhersagbarkeit in späteren Stadien eine geringere genetische Diversität unterstützt.

In dieser Studie untersuchten wir den Zusammenhang zwischen sekundärer Sukzession und genetischer Diversität in Waldbaumbeständen Thüringens. Die sukzessionale Reihenfolge der Bestände wurde mit Hilfe der Zeigerwerte für Licht und Nitrat der Krautschicht sowie des Anteils an Klimaxbaumarten in der Naturverjüngung definiert.

Demografische Stabilisierungseffekte der einzelnen Arten und die Reduzierung des Inzuchtrisikos und der genetischer Drift in den späteren Sukzessionsstadien, verursacht durch mehr Individuen pro Art, konnten die Verringerung der transspezifisch genetischen Diversität pro Art von einigen licht- und nitratbeeinflussten Enzymsystemen nicht kompensieren. Folglich dominieren in unserer Studie wahrscheinlich Selektionseffekte während der Substitution von licht- und nitratbedürftigeren Arten und Pflanzengemeinschaften durch sparsamere und konkurrenzstärkere Arten, wie zum Beispiel *Abies alba* MILL. und *Fagus sylvatica* L..

Schlagwörter: Klimax-Baumarten, Individuen-kumulative Genotypen-Kurven, Covariation, Permutations-Test, Isoenzyme, AFLP

1 EINLEITUNG

Waldsukzession ist ein grundlegender ökologischer Prozess, der weitreichende Folgen für die nachhaltige Bewirtschaftung von natürlichen Ressourcen als auch für andere ökosystemare Prozesse hat (SONG et al., 2002).

Die Bestimmung der Hauptfaktoren, welche sukzessionale Veränderungen in Ökosystemen vorantreiben, ist schwierig, weil eine Vielzahl interagierender Variablen den Sukzessionsverlauf beeinflusst (DÖLLE & SCHMIDT, 2008).

In den gemäßigten Zonen ist die Sukzession stark von mehreren lokalen Faktoren abhängig, wie zum Beispiel die Samenverbreitung (Abstandseffekte), die Samenbanken im Boden (Effekte der Bodenstörung) und die potenzielle Klimaxstufe (ELLENBERG, 1996). Die entscheidenden Kräfte für Änderungen in der Artenzusammensetzung könnten allerdings die geringere Verfügbarkeit von Licht, bedingt durch die zunehmende Bestandesdichte, und die Nitratanreicherung im Ökosystem sein (DÖLLE & SCHMIDT, 2007). DÖLLE & SCHMIDT (2009) zeigten in einer Studie in Niedersachsen, dass die ELLENBERG'schen Zeigerwerte für Licht und Nitrat der Krautschicht (ELLENBERG et. al., 2001) sowie der Bedeckungsgrad der Krautschicht mit zunehmender Sukzession deutlich abnahmen, während der Zeigerwert zur Bodenreaktion nur einen schwach fallenden Trend

aufwies.

Die genetische Diversität wird auch durch sukzessionale Veränderungen beeinflusst (KEMP, 1992) und sollte in früheren Sukzessionsstadien einer Waldgesellschaft größer sein als in späteren, weil eine größere Umweltvorhersagbarkeit in späteren Stadien eine geringere genetische Diversität unterstützt (LEVINS, 1968). Umwelten, die unvorhersehbar schwanken, lassen weniger Zeit für Spezialisierung zu, sie könnten aber eine höhere intraspezifische adaptive Kapazität erforderlich machen, was sich beides in der höheren genetischen Diversität manifestiert (WEHENKEL et al., 2006). Eine Meta-Analyse von HAMRICK et al. (1992) kam aber an Hand von Isoenzym-Daten zu gegenteiligen Ergebnissen, die allerdings nur für intraspezifisch-genetische Diversitäten gelten.

In dieser Studie untersuchten wir den Zusammenhang zwischen sekundärer Sukzession und genetischer Diversität in thüringischen Baumbeständen. Die sukzessionale Reihenfolge der Bestände wurde mit Hilfe der Zeigerwerte für Licht und Nitrat der Krautschicht (ELLENBERG et. al., 2001) sowie des Anteils an Klimaxbaumarten in der Naturverjüngung definiert.

2 MATERIAL UND METHODIK

Die acht untersuchten Baumbestände befinden sich in Thüringen und sind charakterisiert durch verschiedene Baum- und Straucharten sowie ihre Begleitvegetation. Über 5.000 Baumindividuen wurden insgesamt als Studienmaterial für die genetische Untersuchung verwendet.

Außerdem wurden die gemittelten Zeigerwerte für Licht und Nitrat der Krautschicht, gewichtet nach dem Bedeckungsgrad der einzelnen Pflanzenarten in der Krautschicht, das arithmetische Mittel der beiden Zeigerwerte für Licht und Nitrat (ELLENBERG et al., 2001), der Bedeckungsgrad der Krautschicht sowie der prozentuale Anteil an Klimaxbaumarten in der Naturverjüngung ermittelt.

Die horizontalen Stärkegel-Elektrophorese wurde genutzt, um die fünf artübergreifend vorkommenden Enzymsysteme Phosphoglucose-Isomerase (PGI, E.C. 5.1.3.9), Hexokinase (HEK, E.C. 2.7.1.1), Aspartatamino-Transferase (AAT, E.C. 2.6.1.1), Malat-Dehydrogenase (MDH, E.C.1.1.1.37) und Isocitrat-Dehydrogenase (IDH, E.C. 1.1.1.42) zu untersuchen. Das Auftrennen und Anfärben der Enzymsysteme wurde für alle Baumarten nach der Methode und Rezeptur von KONNERT & MAURER (1995) für die Baumart *Abies alba* MILL. durchgeführt. Ferner wurde aus den bereits isoenzymatisch erfolgreich untersuchten Individuen eine Zufallsstichprobe (ohne Zurücklegen) von insgesamt ca. 1.000 Individuen baumartenweise gezogen und einer einheitlichen modifizierten AFLP-Analyse (Vos et al., 1995) unterzogen.

Danach wurden die transspezifisch-genetische Diversität ($v_{a,tg}$) und die transspezifisch-genetische

Diversität pro Art ($v_{a,tg}/v_{a,species}$) (GREGORIUS et al., 2003) berechnet. Die transspezifisch-genetische Diversität ist als Variation über die Artgrenzen hinweg definiert, d.h. alle genetischen Varianten, unabhängig von ihrer Artzugehörigkeit, wurden gezählt. Der Einfluss der Artendiversität ($v_{a,species}$) auf die transspezifisch-genetische Diversität ($v_{a,tg}$) wird eliminiert, wenn $v_{a,tg}$ durch $v_{a,species}$ geteilt wird (pro Art; $v_{a,tg}/v_{a,species}$).

Um Stichprobeneffekte zu verringern und damit auch die Vergleichbarkeit der Diversitäten zwischen den acht Beständen zu verbessern, wurde zuvor der Datensatz mit Hilfe von auf Individuen basierenden geglätteten (mittleren) Individuen-kumulativen Genotypen-Kurven (*individual-based rarefaction curve*) standardisiert (GOTELLI & COLWELL, 2001), d.h. die Diversitäten pro Bestand wurden auf der Basis von 100 Individuen für die Systeme AAT, HEK, PGI, MDH und IDH und von 60 Individuen für den AFLP-Marker kalkuliert.

Anschließend wurden die Covariationen (C) (GREGORIUS et al., 2007) zwischen den gemittelten Zeigerwerten für Licht (le) und Nitrat (ne) der Krautschicht, gewichtet nach dem Bedeckungsgrad der einzelnen Pflanzenarten in der Krautschicht, den arithmetischen Mitteln der beiden Zeigerwerte für Licht und Nitrat (lne) (ELLENBERG et al., 2001) sowie den prozentuale Anteilen an Klimaxbaumarten in der Naturverjüngung (f_{ct}) und den transspezifisch-genetischen Diversitäten ($v_{a,tg}$) sowie den transspezifisch-genetischen Diversitäten pro Art ($v_{a,tg}/v_{a,species}$) ermittelt. Die statistische Absicherung erfolgte mit Permutationstests.

3 ERGEBNISSE

Unter der Annahme, dass während der Sekundärsukzession die gemittelten Zeigerwerte für Licht (le) und Nitrat (ne) der Krautschicht, gewichtet nach dem Bedeckungsgrad der einzelnen Pflanzenarten in der Krautschicht, und somit auch das arithmetische Mittel der beiden Zeigerwerte für Licht und Nitrat (lne) abnehmen (DÖLLE & SCHMIDT, 2009) und der prozentuale Anteil an Klimaxbaumarten (PIDWIRNY, 2006) in der Naturverjüngung (f_{ct})

zunimmt, dann ist die transspezifisch genetische Diversität ($v_{a,tg}$) der genetischen Systeme AAT, HEK, PGI und von AFLP in den früheren Sukzessionsstadien fast immer signifikant größer als in späteren. Das Gleiche wurde auch in den Systemen AAT, HEK und PGI für die transspezifisch-genetische Diversität pro Art ($v_{a,tg}/v_{a,species}$), d.h. auch ohne den Einfluss der Artendiversität, beobachtet.

4 DISKUSSION UND FOLGERUNGEN

Demografische Stabilisierungseffekte der einzelnen Arten und die Reduzierung des Inzuchtrisikos und der genetischer Drift in den späteren Sukzessionsstadien, verursacht durch mehr Individuen pro Art, konnten die Verringerung der transspezifisch-genetischen Diversität pro Art von einigen licht- und nitrat- und damit sukzessionsbeeinflussten

Enzysystemen nicht kompensieren. Folglich dominieren in der Studie wahrscheinlich Selektionseffekte während der Substitution von licht- und nitratbedürftigeren Arten und Pflanzengemeinschaften durch sparsamere und konkurrenzstärkere Arten, wie zum Beispiel *Abies alba* MILL. und *Fagus sylvatica* L..

5 LITERATUR

- DÖLLE, M. & SCHMIDT, W. (2007): Changes in plant species diversity during thirty-six years of undisturbed old-field succession. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 178: 225-232.
- DÖLLE, M. & SCHMIDT, W. (2009): Impact of tree species on nutrient and light availability: Evidence from a permanent plot study of old-fields. *Plant Ecology* 203: 273-287.
- ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- ELLENBERG, H., WEBER, H.E., DULL, R., WIRTH, V. & WERNER, W. (2001): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18: 1-262.
- GOTELLI, N.J. & COLWELL, R.K. (2001): Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. *Ecology Letters* 4: 379-391.
- GREGORIUS, H.R., BERGMANN, F. & WEHENKEL, C. (2003): Analysis of biodiversity across levels of biological organization: a problem of defining traits. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 5: 209-218.
- GREGORIUS, H.R., DEGEN, B. & KÖNIG, A. (2007): Problems in the analysis of genetic differentiation among populations - a case study in *Quercus robur*. *Silvae Genetica* 56: 190-199.
- HAMRICK, J.L.; GODT, M.J.W. & SHERMAN-BROYLES, S.L. (1992): Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New Forestry* 6: 95-124.
- KEMP, H.R. (1992): The conservation of genetic resources in managed forests. *Unasylva*, 43(169): 34-40.
- KONNERT, M. & MAURER, W. (1995): Isozymic investigations on Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst.) and European silver fir (*Abies alba* Mill.): A practical guide to separation methods and zymogram evaluation. Laboratory Manual (edited by the German Federal and State Working Group "Conservation of Forest Genetic Resources", ISBN 3-00-000042-9, 79 pages.
- LEVINS, R. (1968): *Evolution in Changing Environments*. Princeton Univ. Press, Princeton.
- PIDWIRNY, M. (2006): *Plant Succession. Fundamentals of Physical Geography*, 2nd Edition. Date Viewed.
- POTT, R. (1992): *Die Pflanzengesellschaften Deutschlands*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- SONG, C., WOODCOCK, C.E. & LI, X. (2002): The spectral / temporal manifestation of forest succession in optical imagery. The potential of multitemporal imagery. *Remote Sensing and Environment* 82: 285-302.
- VOS, P., HOGERS, R., BLEEKER, M. et al. (1995): AFLP: a new concept for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research* 23: 4407-4414.
- WEHENKEL, C., BERGMANN, F. & GREGORIUS, H.R. (2006): Is there a trade-off between species diversity and genetic diversity in forest tree communities? *Plant Ecology* 185: 151-161.

Danksagung

Diese Studie wurde von der Deutschen Forschungsgesellschaft (Gr 435/23-1) finanziell unterstützt.

AN ALTERNATIVE METHOD OF ASSESSING HABITAT FRAGMENTATION BY ANALYSIS OF GENETIC DIVERSITY AND STRUCTURE: A CASE STUDY WITH *FAGUS SYLVATICA* L.

Christian WEHENKEL¹, José Javier CORRAL-RIVAS², Raúl SOLÍS-MORENO¹, Francisco CRUZ-COBOS³

¹Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, Km 5. Carretera Mazatlan, 34120 Durango, México. ²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango s/n, Col. Valle del Sur, 34120 Durango, México. ³Instituto Tecnológico de El Salto, Mesa del Tecnológico, 34942 El Salto, Durango, México.

Corresponding author: Christian Wehenkel (e-mail: wehenkel@ued.mx)

Introduction

This poster presents an alternative approach that can be used to measuring habitat fragmentation. The method is based on genetic diversities, genetic differentiation among populations, and randomization permutation and bootstrap methods. Data of three differently large beech-collectives (*Fagus sylvatica* L.) from Germany were utilized in the examples. The AFLP technology was used to identify the genetic types.

The example

Study sites and populations studied



Fig. 2: Map showing the location of the beech study sites Hainich, Bleiberg, and Burgk.

Table 1: The three beech study sites (*Fagus sylvatica* L.), their geographical locations surface areas, total adult population } sizes, and number of individuals genetically analyzed.

Study site	Geographical location	Surface area [ha]	Total adult population size [N]	No. of Individuals analyzed [N]
Hainich	51°12'18.10" N 10°23'20.67" O	> 8000	> 1.000.000	60
Bleiberg	50°31'42.03" N 11°43'03.79" O	12	1500 - 2000	60
Burgk	50°33'21.39" N 11°42'45.06" O	2	< 400	60

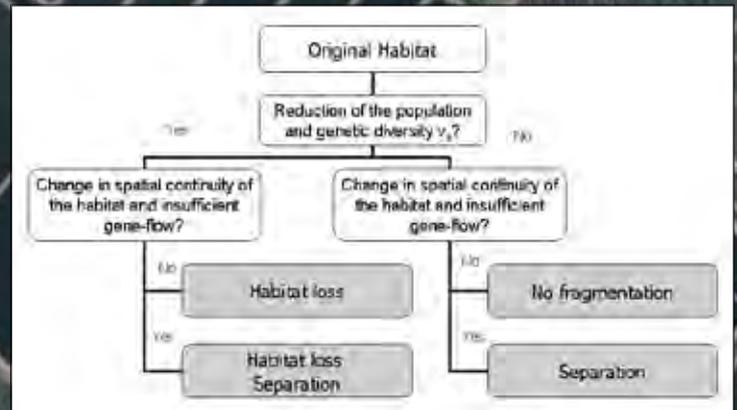


Fig. 1: Flow diagram to the distinction of habitat loss and habitat separation (fragmentation)

Results

Tab. 2: Estimated degrees of change in habitat qualities $Q_{h,a}$ and degrees of change in habitat quality Q_h in average, probability of error $P(Z \geq Q_{h,a})$ for the degrees of change in habitat qualities $Q_{h,a}$, each calculated from 10000 permutations.

Collective	$Q_{h,0}$	$P(Z \geq Q_{h,0})$	$Q_{h,2}$	$P(Z \geq Q_{h,2})$	$Q_{h,00}$	$P(Z \geq Q_{h,00})$	Q_h
Hainich	-0.222	0.001*	-0.243	0.005*	-0.202	0.072	-0.222
Bleiberg	0.000	0.941	-0.099	0.411	-0.334	0.112	-0.144
Burgk	-0.148	0.034*	-0.457	0.0001*	-0.532	0.010*	-0.379

Note: Asterisk (*) indicates a significant degree of change in habitat quality at a probability level of 5%

Tab. 3: Estimated genetic differentiation δ between the collectives Hainich, Bleiberg, and Burgk, and its significance probability $P(Z > \delta)$. The $P(Z > \delta)$ relates to the proportion of the δ -values and will be referred as the significance probability. For the descriptor δ , $K'_{0.05}$ and $K''_{0.05}$ denote the lower and upper critical values, determined by permutations at 5% of significance level, and therefore they are empirical quantiles. If $K'_{0.05} > \delta > K''_{0.05}$, we can expect random effects (habitat fragmentation), otherwise homogenizing or diversifying directed forces.

Beech collective	Burgk	Bleiberg
Hainich	$\delta = 0.439$ $K'_{0.05} = 0.217$ $K''_{0.05} = 0.357$ $P(Z \geq \delta) = 0.0001$	$\delta = 0.423$ $K'_{0.05} = 0.222$ $K''_{0.05} = 0.366$ $P(Z \geq \delta) = 0.0026$
Bleiberg	$\delta = 0.234$ $K'_{0.05} = 0.206$ $K''_{0.05} = 0.343$ $P(Z \geq \delta) = 0.1864$	

Discussion and Conclusion

On the basis of the new approach (see also Fig. 1) we conclude that:

1. For the **beech collective at Hainich**, the genetic differentiation is probably due to diversifying forces (differential selection or mutation, for example). In brief, the **habitat heterogeneity** has presumably caused the genetic differentiation.
2. For the **beech collective at Bleiberg**, we do not always observe a significant habitat quality loss in this forest, but, rather, a significant separation from the collective Burgk collective on the basis of random-effects (insufficient gene-flow). In short, the collective Bleiberg collective constitutes a separate population in a **habitat fragment**.
3. For the **beech collective at Burgk**, we can describe a significant change in habitat quality in this forest and a significant separation from the Bleiberg collective because of random-effects (insufficient gene-flow). In brief, the Burgk collective forms a separate population in a **habitat fragment** with a lower quality than the original one. Hence, there exists a significant **habitat loss**.

EINE ALTERNATIVE METHODE ZUR MESSUNG VON HABITATFRAGMENTIERUNG DURCH ANALYSE DER GENETISCHEN DIVERSITÄT UND STRUKTUR: EINE FALLSTUDIE MIT *FAGUS SYLVATICA* L. (POSTER)

AN ALTERNATIVE METHOD OF ASSESSING HABITAT FRAGMENTATION BY ANALYSIS OF GENETIC DIVERSITY AND STRUCTURE: A CASE STUDY WITH *FAGUS SYLVATICA* L.

Ch. Wehenkel¹, J.J. Corral-Rivas², R. Solís-Moreno¹ & F. Cruz-Cobos³

¹Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango, 34120-Durango, Mexico.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, 34120-Durango, Mexico.

³Instituto Tecnológico de El Salto. Mesa del Tecnológico, 34942 El Salto, Durango, México.

ABSTRACT

The term 'habitat fragmentation' is often used inconsistently as a broad umbrella for many patterns and processes that accompany landscape change. Research has shown that direct and indirect approaches can be used to measure habitat fragmentation. Some studies have found evidence of strong interaction between biological indicators and habitat fragmentation. Populations are of particular interest as products of habitat fragmentation because the process of adaptation takes place at the population level.

This paper presents an alternative approach that can be used to measure habitat fragmentation, based on determination of multilocus genotypes. The method measures genetic diversity (ν_a), genetic differentiation (δ) among populations, and includes the use of randomized permutation methods. Data corresponding to three large beech stands (*Fagus sylvatica* L.) in Thuringia (DE) are used in the examples provided. Amplified fragment length polymorphism (AFLP) technology was used to identify the genetic types.

Keywords: beech stands, *Fagus sylvatica*, AFLP, genetic diversity, genetic differentiation, permutation test

ZUSAMMENFASSUNG

Der Term „Habitatfragmentierung“ wird oft widersprüchlich als Deckmantel für viele Muster und Prozesse verwendet, die Landschaftsänderungen begleiten. Habitatfragmentierung kann direkt durch Habitateigenschaften oder indirekt durch Individuen- oder Populationsparameter in unterschiedlichen Habitaten gemessen werden. Einige Studien zeigen starke Wechselwirkungen zwischen biologischen Indikatoren und Habitatfragmentierung. Dabei sind Populationen als Produkte von Fragmentierung von besonderem Interesse, weil Adaptionsprozesse auf der Populationsebene stattfinden.

Diese Studie präsentiert eine alternative Methode, beruhend auf der Messung von Multilocus-Genotypen, zur Messung von Habitatfragmentierung (FRANKLIN et al., 2002). Die Methode basiert auf genetischen Struktur-Indizes und kann sowohl bei Pflanzen als auch bei Tieren angewendet werden. An drei Buchenkollektiven in Thüringen, wurde die Methode beispielhaft angewendet. Die AFLP-Technologie wurde genutzt, um die genetischen Typen zu identifizieren.

Schlagwörter: Buchenbestände, *Fagus sylvatica*, AFLP, genetische Diversität, genetische Differenzierung, Permutationstest

1 EINLEITUNG

Der Term „Habitatfragmentierung“ wird oft widersprüchlich als Deckmantel für viele Muster und Prozesse verwendet, die Landschaftsänderungen begleiten (LINDENMAYER & FISCHER, 2006). Fragmentierung kann in drei unterschiedliche Formen klassifiziert werden: i) Habitatverlust (Ressourcenreduktion); ii) extern hervorgerufene Isolation (Zersplitterung in Teile / Fragmente; Separation) und iii) Änderung der Habitatqualität. Kombinationen aller drei Formen sind möglich (FRANKLIN et al., 2002).

Habitatfragmentierung kann direkt durch Habitateigenschaften oder indirekt durch Individuen- oder Populationsparameter gemessen werden (JOHNSON, 2007). Studien hinsichtlich der Beschreibung von Räumustern, wie zum Beispiel Landschaftsstrukturen trugen beträchtlich zu neuen Kenntnissen über Habitatverlust und –zersplitterung bei (FRANKLIN et al., 1981; SPIES et al., 1990; RUGGIERO et al., 1991). Allerdings ist die Charakterisierung von Räumustern nicht immer ein zuverlässiges Werkzeug zur Messung von Habitatfragmentierung (MCALPINE & EYRE, 2002).

Einige Studien zeigen starke Wechselwirkungen zwischen biologischen Indikatoren und Habitatfragmentierung (TEMPLETON et al., 1990; HALFFTER & PINEDA, 2004; VELLEND, 2003, DIXON et al., 2007). Dabei sind Populationen als Produkte von Fragmentierung von besonderem Interesse, weil Adaptionsprozesse auf der Populationsebene stattfinden.

Genetische Diversität ist oft mit der Habitatgröße (TEMPLETON et al., 1990; HAMRICK et al., 1992;

FRANKHAM, 1996; LEDIG et al., 1997; VELLEND, 2003) positiv korreliert. Deshalb ist die genetische Diversität gut geeignet, um die Änderung der Habitatqualität und den Habitatverlust indirekt zu schätzen.

Aus genetischer Sicht führt die Habitatfragmentierung zu einer von außen hervorgerufenen Verinselung (Separation) von Teilen einer ursprünglich zusammenhängenden Population, zwischen denen der Genfluss stark reduziert oder unterbrochen ist. Wenn die Habitatfragmentierung eine komplette genetische Separation der Habitatinseln verursacht, dann entwickelt sich jedes Fragment demographisch unabhängig (TEMPLETON et al., 1990). Diese Tendenz kann durch Selektion, die ähnliche allelische Varianten bevorzugt, oder an selektionsneutralen Loci in anhaltend großen Populationen gehemmt werden (GREGORIUS et al., 2007). In den meisten Fällen ist starker Genfluss direkt extrem schwer zu beobachten. Daher werden allgemein indirekte (modellbasierte) Methoden der Genflussschätzung genutzt (WHITLOCK & McCAULEY, 1999; HEUERTZ et al., 2004). Solche Schätzungen beruhen normalerweise auf Beobachtungen von Differenzen in genetischen Strukturen zwischen Individuengruppen.

Die vorliegende Studie präsentiert eine alternative Methode, beruhend auf der Messung von Multilocus-Genotypen, zur Messung von Habitatfragmentierung. Die Methode basiert auf genetischen Struktur-Indizes und kann sowohl bei Pflanzen als auch bei Tieren angewendet werden. An drei Buchenkollektiven in Thüringen wurde die Methode

beispielhaft angewendet. Es wird zunächst angenommen, dass die Kollektive Fragmente einer ehemals zusammenhängenden Population darstel-

len und sich die Qualitäten ihrer Habitate verschlechtern haben.

2 MATERIAL UND METHODEN

In drei Thüringer Buchenvorkommen der Waldgesellschaft *Galio odorati-Fagetum luzuletosum* (POTT, 1992) wurden jeweils 60 Individuen aus Naturverjüngungen einer modifizierten AFLP-Analyse (Vos et al., 1995) unterzogen. Ein Kollektiv hatte mehr als 1 Million reproduktionsfähige Buchen und befindet sich ca. 100 km von den zwei weiteren Kollektiven mit 2.000 sowie weniger als

400 reproduktionsfähigen Individuen entfernt. Die zwei letzteren lagen ca. 2 km auseinander. Als Ersatz für die ungestörte zusammenhängende ursprüngliche Gesamtpopulation wurde das Gesamtkollektiv aus den drei Vorkommen durch zufälligere Unterstrichproben von 20 je Vorkommen (insgesamt 60 Buchen) repräsentiert.

3 SCHÄTZUNG DER HABITATQUALITÄT UND DES GRADES AN HABITATVERLUST

Zunächst wurden die genetischen Diversitäten (ν_a) nach HILL (1973) auf der Basis von Multilocus-Genotypen sowohl für jedes der drei eventuell fragmentierten Teilvorkommen (ν_f) als auch für das Gesamtkollektiv aus den drei Vorkommen (ν_o) bestimmt. Danach wurden die Habitatqualitäten (Q_h) der einzelnen Teilvorkommen aus dem Verhältnis von ν_f zu ν_o berechnet ($Q_h = (\nu_f / \nu_o) - 1$). Ist Q_h

negativ und Selektion nicht anzunehmen (siehe unten), liegt wahrscheinlich ein Habitatverlust vor. Aus Vergleichsgründen wurden ebenfalls die Habitatqualitäten (Q_h) mit NEI's (1973) Gene Diversity (H) auf der allelischen Ebene berechnet ($Q_h = (H_f / H_o) - 1$). Mit der Hilfe von Permutationstests wurde Q_h auf statistische Signifikanz geprüft.

4 SCHÄTZUNG DER SEPARATION (FRAGMENTIERUNG)

Die genetische Differenzierung (δ) und deren Komponenten (D_i) können die genetische Differenzierung zwischen Kollektiven gut beschreiben (GREGORIUS & ROBERDS, 1986). Der bereits kontrovers diskutierte Fixationsindex (F_{ST}) von WEIR & COCKERHAM (1984) als Schätzer von genetischer Differenzierung wurde zusätzlich berechnet.

Beide Parameter wurden zusammen mit einer speziellen Auswertung von Permutationstests genutzt, um Genfluss nachzuweisen und von Zufallsprozessen, nicht wiederkehrender Mutation und differenzierender Selektion abzugrenzen (Details in GREGORIUS et al., 2007; WEHENKEL et al., 2009).

5 ERGEBNISSE UND FOLGERUNGEN

Im Gegensatz zur Genetischen Diversität (ν_a) von HILL (1973) und der Genetischen Differenzierung (δ), berechnet auf der Basis von Multilocus-Genotypen, zeigten NEI's (1973) Gene Diversity (H) und der Fixationsindex (F_{ST}) von WEIR und COCKERHAM (1984) keinerlei Übereinstimmungen mit den ökologischen und räumlichen Parametern. Folglich

raten wir von der Nutzung dieser beiden Maße in Verbindung mit Analysen zur Schätzung von Habitatfragmentation ab und stimmen mit den Kritiken verschiedener Autoren (z.B. GREGORIUS et al., 2007; JOST, 2008) hinsichtlich der Anwendung von F_{ST} und G_{ST} als Indizes für genetische Differenzierung überein.

6 LITERATUR / REFERENCES

- DIXON, J.D.; OLI, M.K.; WOOTEN, M.C.; EASON, T.H.; MCCOWN, J.W. & CUNNINGHAM, M.W. (2007): Genetic consequences of habitat fragmentation and loss: the case of the Florida black bear (*Ursus americanus floridanus*). *Conservation Genetics* 8: 455–464.
- FRANKHAM, R. (1996): Relationship of genetic variation to population size in wildlife. *Conservation Biology* 10(6): 1500–1508.
- FRANKLIN, A.B., NOON, BR., GEORGE, T.L. (2002): What is habitat fragmentation? *Studies in Avian Biology*: 25, 20–29.
- FRANKLIN, J.F., CROMACK, J.R.K., DENISON, W., MCKEE, A., MASER, C., SEDELL, J., SWANSON, F. & JUDAY, G. (1981): Ecological characteristics of old-growth Douglas-fir forest. USDA Forest Service, GTR-PNW-118.
- GREGORIUS, H.R., DEGEN, B. & KÖNIG, A., (2007): Problems in the analysis of genetic differentiation among populations - a case study in *Quercus robur*. *Silvae Genetica* 56: 190–199.
- GREGORIUS, H.R. & ROBERDS, J.H. (1986): Measurement of genetical differentiation among subpopulations. *Theoretical and Applied Genetics* 71: 826–834.
- HALFFTER, G. & PINEDA, E. (2004): Species diversity and habitat fragmentation, frogs in a tropical montane landscape in Mexico. *Biological Conservation* 117(5): 499–508.
- HAMRICK, J.L., GODT, M.J.W. & SHERMAN-BROYLES, S.L. 1992: Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. *New For*, 6: 95–124.
- HEUERTZ, M., HAUSMAN, J.F., HARDY, O.J., VENDRAMIN, G.G., FRASCARIA-LACOSTE, N. & VEKEMANS, X. (2004): Nuclear microsatellites reveal contrasting patterns of genetic structure between western and southeastern European populations of the common ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Evolution* 58: 976–988.
- HILL, M.O., 1973: Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology* 54: 427–432.
- JOHNSON, M.D. (2007): Measuring habitat quality: A review. *The Condor* 109: 489–504.
- JOST, L. (2008): *Gst* and its relatives do not measure differentiation. *Molecular Ecology* 17(18): 4015–4026.
- LEDIG, F.T., JACOB-CERVANTES, V., HODGSKISS, P.D. & EGUILUZ-PIEDRA, T. (1997): Recent evolution and divergence among populations of a rare Mexican endemic, Chihuahua spruce, following Holocene climatic warming. *Evolution* 51: 1815–1827.
- LINDENMAYER, D.B. & FISCHER, J. (2006): Tackling the habitat fragmentation pantheon. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 127–132.
- MCALPINE, C.A. & EYRE, T.J. (2002): Testing landscape metrics as indicators of habitat loss and fragmentation in continuous eucalypt forests (Queensland, Australia). *Landscape Ecology* 17(8): 711–728.
- NEI, M. (1973): Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 70: 3321–3323.
- POTT, R. (1992): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. 1. Aufl. UTB Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- RUGGIERO, L.F., JONES, L.C. & AUBRY, K.B. (1991): Plant and animal habitats associations. In: *Wildlife and Vegetation of unmanaged Douglas-fir forest*. (RUGGIERO, L.F., AUBRY, K.B.; CAREY, A.B. & HUFF, H.M., Technical coordinators) USDA Forest Service, GTR-PNW-285, pp.447–462.
- SPIES, T.A., FRANKLIN, J.F. & KLOPSCH, M. (1990): Canopy gap in Douglas-fir forests of the Cascade Mountains. *Canadian Journal of Forest Research* 20: 649–658.
- TEMPLETON, A.R., SHAW, K., ROUTMAN, E. & DAVIS, S.K. (1990): The genetic consequences of habitat fragmentation. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 77(1): 13–27.
- VELLEND, M. (2003): Notes and comments. Island biogeography of genes and species. *The American Naturalist*, 162(3): 358–365.
- VOS, P., HOGERS, R. & BLEEKER, M. et al. (1995): AFLP: a new concept for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research* 23: 4407–4414.
- WEIR, B.S. & COCKERHAM, C.C. (1984): Estimating F Statistics for the analysis of population structure. *Evolution* 38: 1358–1370.
- WEHENKEL, C., CORRAL-RIVAS, J.J. & CASTELLANOS-BOCAZ, H.A. (2009): Is there selection by species diversity in *Picea abies* L.? *Plant Ecology*, DOI 10.1007/s11258-009-9685-1.
- WHITLOCK, M.C. & MCCAULEY, D.E. (1999): Indirect measures of gene flow and migration: F_{ST} not equal $1/(4Nm + 1)$. *Heredity* 82: 117–125.

Danksagung

Diese Studie wurde von der Deutschen Forschungsgesellschaft (Gr 435/23-1) finanziell unterstützt.

DIE VOGELKIRSCH (*PRUNUS AVIUM* L.) IM FOKUS DER HERKUNFTSFORSCHUNG: ERSTE ERGEBNISSE AUS ÖSTERREICH (POSTER)

WILD CHERRY (*PRUNUS AVIUM* L.) IN THE FOCUS OF PROVENANCE RESEARCH: FIRST RESULTS FROM AUSTRIA

L. Weißbacher

Bundesforschungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Genetik,
A-1140 Wien

ABSTRACT

Studies on growth and resistance characteristics of wild cherry (*Prunus avium* L.) have been performed on three field trials in the east of Lower Austria by the Dept. of Genetics of the Austrian Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape (BFW) now for more than three years.

In the age of 11 years the traits growth, diameter at 1,3 m (DBH), height, stem shape, and gummosis were analyzed in four provenances from Austria and six provenances from Germany. The German seed orchard provenance "Liliental" showed significant superiority in its DBH and height growth and also the best shape by the highest number (44 %) of straight branches.

Establishing more provenance trials is consequently inevitable due to this newly acquired knowledge obtained by this test series, the availability of seed orchard material of higher quality and the revision of the legal act for forest reproductive material in 2002 (FVG 2002).

In spring 2009 four new field trials were established by including wild cherry material from Austrian, German and Hungarian sources.

Keywords: wild cherry, *Prunus avium* L., field trials, provenance, provenance Liliental, Lower Austria

ZUSAMMENFASSUNG

Seit über zehn Jahren untersucht das Institut für Genetik des BFW (Bundesforschungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft) auf drei Versuchsflächen im östlichen Niederösterreich Wuchs- und Resistenzverhalten der Vogelkirsche (*Prunus avium* L.). Geprüft werden vier Herkünfte aus Österreich und sechs Herkünfte aus Deutschland. Elfjährig wurden die Merkmale Anwuchsverhalten, Durchmesser in 1,3 m Höhe (BHD), Höhe, Stammform und das Auftreten von Gummifluss erhoben. Die Plantagenherkunft Liliental überzeugt durch überlegenes BHD- und Höhenwachstum, des Weiteren zeigt sie mit 44 % geraden Stämmen die beste Wuchsform.

Die Vogelkirsche im Fokus der Herkunftsforschung

Erste Ergebnisse aus Österreich

Lambert Weißbacher

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,
Naturgefahren und Landschaft
A-1140 Wien, Hauptstraße 7
<http://bfw.ac.at>

Der Nordosten Österreichs ist durch den typisch pannonischen Klimaeinfluss geprägt. Charakteristisch für diesen Landstrich, dem so genannten „sommerwarmen Osten“ Österreichs sind geringe Niederschlagsmengen (mittlere Jahresniederschlagsmenge liegt unter 500 mm), sommerliche Trockenperioden mit vielen Sonnenstunden und oftmals trübe, mäßig kalte und schneearme Winter. Eichen-Hainbuchen-Mittelwälder und vereinzelt vorkommende Edellaubbölzer (Vogelkirsche, Elsbeere, Spierling) kennzeichnen das Waldbild im Weinviertel. Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf der Auswertung von drei 11-jährigen Versuchsfächen in dieser Region.

HERKÜNFTE AUS ÖSTERREICH

- Bad Hall-Pfarrkirchen/OÖ, 400 m, Kat: "ausgewählt"
- Bad Hall-Feyregg/OÖ 400 m, Kat: "ausgewählt"
- Hagenberg-Mitterteig/NÖ, 300 m, Kat: "ausgewählt"
- St. Andrä/KTN, 550 m, Kat: "ausgewählt"

HERKÜNFTE AUS DEUTSCHLAND

- P-Libenthal, 550 m, Kat: "qualifiziert"
- DKV-Miltenberg, Kat: "ausgewählt"
- DKV-Gräbeld, Kat: "ausgewählt"
- Schwarzwald, bis 600 m, Kat: "ausgewählt"
- Odenwald-Spessart, 400 bis 600 m, Kat: "ausgewählt"
- Süddeutschland, 300 bis 500 m, Kat: "ausgewählt"

Der Weiterverband lenkt den Blick auf die Genetik

Die Anlage erfolgte im Jahr 1998. Es wurden neben verschiedenen Herkünften auch zwei verschiedene Pflanzverbände getestet. Versuchsfäche 1 und 2 wurden im Verband von 1,5 m x 6,0 m gepflanzt, bei Versuchsfäche 3 wählte man den Verband von 2,0 m x 2,0 m x 8,0 m, d.h., zwei Kirschenreihen im 2 x 2 Meter Engverband – zwischen den Doppelreihen blieb ein Abstand von acht Meter frei. Einzelstich wurde auf allen Flächen Bergahorn als Füllholz im Abstand von zwei Metern zu den Kirschenreihen eingebracht.

Aufnahme im Alter von 11 Jahren

Elfjährig wurden von den zehn Herkünften die Durchmesser in 1,3 m Höhe (BH10), Baumhöhe, Stammform und der Astfall erhoben. In Summe wurden 1657 Versuchsbäume gemessen und in die Auswertung mit einbezogen.



Die Pflanzherkunft Libenthal zeigt nach 11 Jahren die beste Wuchshöhe.
Foto: Lambert Weißbacher



Lokale Herkunft (Hagenberg-Mitterteig) zeigt geringen Astfallquote. Alter: 11 Jahre.
Foto: Lambert Weißbacher

ERGEBNISSE

Wachstum

Der Kreisflächenmittelstamm über alle drei Versuchsfächen beträgt 6,8 cm und variiert von 6,1 cm (Bad Hall-Feyregg) bis 7,7 cm (Libenthal). Die Pflanzherkunft Libenthal aus Freiburg im Breisgau zeigt im Vergleich zu den anderen Herkünften ein statistisch signifikant besseres Durchmesserwachstum. Zwischen den anderen neuen Herkünften sind die Unterschiede weit geringer, einzig die niederösterreichische Herkunft Hagenberg-Mitterteig erwies sich besser als der Durchschnitt (Abb. 1).

Der Vergleich der mittleren Baumhöhen zeigt ein ähnliches Bild (Abb. 2). Auch hier liegen die Herkünfte Libenthal mit 6,9 m und Hagenberg-Mitterteig mit 6,8 m über dem Mittelwert aller Herkünfte (6,4 m). Die schlechtesten Wachstumsleistungen bezüglich BH10 und Höhe weisen die Herkünfte St. Andrä und Bad Hall-Feyregg, sowie die oft aus Deutschland nach Österreich verbrachte Herkunft Odenwald auf. Die minimalen Unterschiede zwischen diesen Herkünften sind statistisch nicht nachweisbar.

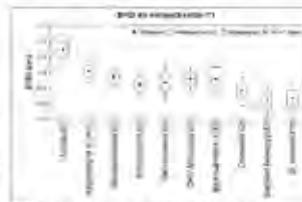


Abb. 1: Die Pflanzherkunft Libenthal zeigt im Vergleich mit anderen Provenienzen signifikant besseres BH10-Wachstum.



Abb. 2: Die Pflanzherkunft Libenthal zeigt im Vergleich mit anderen Provenienzen signifikant besseres BH10-Wachstum.

Wertleistung

Zur Qualitätsbeurteilung wurde eine einfache Stammformbewertung durchgeführt. 593 Stämme (30 %) wurden als gerade, 595 Stämme (36 %) als leicht gekrümmt und 559 Stämme (34 %) als stark gekrümmt qualifiziert. Die Pflanzherkunft Libenthal überzeugt mit 44 % gerade gewachsener Stämme, gefolgt von der österreichischen Herkunft Bad Hall-Pfarrkirchen mit 42 % geraden Stämmen. Als wenig geradewüchsig hingegen erwiesen sich in unseren Versuchen die Herkünfte Schwarzwald (21 %), Süddeutschland (24 %), Gräbeld (24 %) und die Herkunft St. Andrä (25 %) (Abb. 3). Diese großen Unterschiede in den Wuchsförderungseigenschaften sind möglicherweise eine Folge wenig angepasster Mutterbestände bzw. unzureichender Genetik des Ausgangsmaterials.

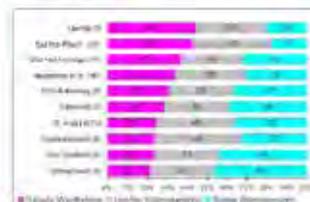


Abb. 3: Wertleistung (FQ) Indikator für option. Wertleistung

Lokale Herkunft zeigt geringsten Astfall

Von den 3004 ausgepflanzten Jungkirschen im Jahr 1998 waren elfjährig noch 1657 Pflanzen vorhanden, d.h. 45 % der ausgepflanzten Pflanzen sind ausgefallen. Die großen, statistisch abgesicherten Unterschiede im Anwuchsverhalten der einzelnen Herkünfte zeigen allerdings, dass ein Großteil der Ausfälle auf die verwendete Herkunft zurückgeführt werden kann. Die mit Abstand geringste Ausfallquote zeigt die Weinviertler Herkunft Hagenberg-Mitterteig mit 17 %, gefolgt von den Herkünften Süddeutschland (26%) und Schwarzwald (42%). Die höchsten Ausfallquoten weisen die Herkünfte Bad Hall-Pfarrkirchen (68 %) , Gräbeld (59 %) und Miltenberg (56 %) auf. Bei den verbliebenen vier Herkünften liegen die Pflanzenanzahlquoten zwischen 44 bis 49 %.

SCHLUSSFOLGERUNG

Wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen, sind bei der Vogelkirsche große Unterschiede zwischen den Herkünften zu beobachten, welche für die waldbauliche Behandlung und das Betriebsergebnis weit reichende Folgen haben können. Aus diesem Grund ist das BFW bemüht, einerseits die Saatgutversorgung mit Vogelkirschen aus Österreich sicherzustellen und andererseits die genetische Basis des Saatguts zu untersuchen und zu verbessern. Dies führte zur Anlage von sechs Saatgutplantagen für forstliche Zwecke im Zeitraum von 1996-2006. Darüber hinaus wurde die Vogelkirsche 2002 in das forstliche Vermehrungsgutgesetz (FVG 2002) aufgenommen.

Diese Versuchsergebnisse waren für das Genetikinstitut des BFW Auslöser für die Anlage einer zweiten Herkunftversuchsserie mit Vogelkirsche im Frühjahr 2009. Geprüft werden vorwiegend Pflanzungen aus Österreich und Deutschland. Zudem wird die Versuchsserie das vergleichsweise teure mikrovegetativ vermehrte Klonegemisch „silvaSELECT“ aus Deutschland enthalten. Im Gegensatz zu den vorliegenden Ergebnissen, welche auf den „sommerwarmen Osten“ Österreichs (Wuchsgebiet 8.1) beschränkt sind, enthält die neue Versuchsserie auch Flächen in den Wuchsgebieten 5.3 und 7.1.

Neu gewonnene Erkenntnisse dieser Versuchsserie, die Verfügbarkeit von höherwertigem Plantagensaatgut und die Neuregelung des Forstlichen Vermehrungsgutgesetzes (FVG 2002) machen weitere Herkunftsversuche unabdingbar. Im Frühjahr 2009 wurden vier neue Versuche mit Material aus Österreich, Deutschland und Ungarn angelegt.

Schlagwörter: Vogelkirsche, *Prunus avium*, Freilandversuche, Provenienz, Herkunft Liliental, Niederösterreich

1 KLIMA UND STANDORT

Den Nordosten Österreichs prägt ein typisch pannonischer Klimaeinfluss. Charakteristisch für diesen Landstrich, dem so genannten „sommerwarmen Osten“ Österreichs, sind geringe Niederschlagsmengen (mittlere Jahresniederschlagsmenge liegt unter 500 mm), sommerliche Trockenperioden

mit vielen Sonnenstunden und oftmals trübe, mäßig kalte und schneearme Winter. Eichen-Hainbuchen-Mittelwälder mit vereinzelt beigemischten Edellaubhölzern (Vogelkirsche, Elsbeere, Speierling) kennzeichnen das Waldbild im Weinviertel.

2 MATERIAL UND VERSUCHSANLAGE

Sechs Herkünfte aus Deutschland, davon eine Plantagenherkunft (Kategorie „qualifiziert“), zwei Herkünfte der Gütegemeinschaft für forstliches Vermehrungsgut DKV (Kategorie „ausgewählt“ mit besonderem Gütesiegel) und drei Bestandes-

absaaten (Kategorie „ausgewählt“) aus der Bundesrepublik Deutschland stehen im Test mit zwei Absaaten aus Oberösterreich und jeweils einer Bestandesbeerntung aus Niederösterreich und Kärnten (Tabelle 1).

Tabelle 1 / Table 1

Versuchsmaterial

List of the tested seed lots

Prüfmaterial	
Herkünfte aus Österreich	Kategorie
Bad Hall-Pfarrkirchen / Oberösterreich, 400m	„ausgewählt“
Bad Hall-Feyregg / Oberösterreich, 400m	„ausgewählt“
Hagenberg-Mittersteig / Niederösterreich, 300 m	„ausgewählt“
St. Andrä / Kärnten, 550 m	„ausgewählt“
Herkünfte aus Deutschland	Kategorie
Plantage Liliental, 350 m	„qualifiziert“
DKV-Miltenberg	„ausgewählt“
DKV-Grabfeld	„ausgewählt“
Schwarzwald, bis 600 m	„ausgewählt“
Odenwald-Spessart, 400-600 m	„ausgewählt“
Süddeutschland, 300-500 m	„ausgewählt“

Bei der Versuchsanlage wurden neben verschiedenen Herkünften auch zwei Anlage- und Pflanzweiteverbände getestet. Bei Hollabrunn wurden zwei Flächen im Verband von 1,5 X 6 m gepflanzt, während in Eibesthal bei Mistelbach ein Verband von 2 X 2 X 8 m gewählt wurde. Bei letzterer wurden zwei Kirschenreihen im „2 m Engverband“ gepflanzt, zwischen den Doppelreihen blieb ein Abstand von acht Metern frei. Einheitlich wurde auf allen Flächen Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) als Füllholz im Abstand von 2 Metern zu den Kirschenreihen eingebracht.

Der Weitverband setzt die Wahl der richtigen Herkunft voraus, denn nur wenn gut angepasstes und qualitativ hochwertiges Ausgangsmaterial

gepflanzt wird, lassen sich später genügend Z-Bäume als Wertholzträger ausweisen. Ein Vorteil der Weitverbandsbegründung gegenüber einem Engverband ist die Reduzierung der Kulturkosten, darüber hinaus ermöglicht er das Aufkommen eines natürlichen Begleitwuchses. Dieser übernimmt einerseits die nötige Beschattung der wertvollen unteren Stammabschnitte, andererseits kann er für ein rascheres Jugendwachstum von Vorteil sein. Dies führt zur Risikominimierung in der Jugendphase bei gleichzeitiger Wertsteigerung des späteren Bestandes durch das natürliche Aufkommen diverser Edellaubhölzer.

3 BISHERIGE MASSNAHMEN

Da die Kirsche ohne Formschnitt und spätere Wertastung für die Endnutzung kaum zu produzieren ist, wurden auf allen Flächen bis zum Kulturalter von fünf Jahren die erforderlichen Formschnitte und eine beginnende Wertastung durchgeführt. Elfjährig wurden die Z-Bäume selektiert und je nach Ober-

höhe bis zu einer Höhe von 4 - 5 Metern aufgeastet und freigestellt. Die Astungshöhe richtete sich nach der Höhe des Z-Baumes, daneben war der Verbleib einer kräftigen und vitalen Krone ausschlaggebend für die Stärke des Eingriffes.

4 ERGEBNISSE

Die vorgestellten Messdaten der Flächen wurden elfjährig erhoben und stammen aus dem Jahr 2008. Von den zehn Herkünften wurden die Merkmale Durchmesser in 1,3 m Höhe (BHD), Höhe, Stammform, Anwuchsverhalten und das Auftreten von

Gummifluss erhoben. In Summe wurden 1.657 Versuchsbäume gemessen und in die Auswertung mit einbezogen.

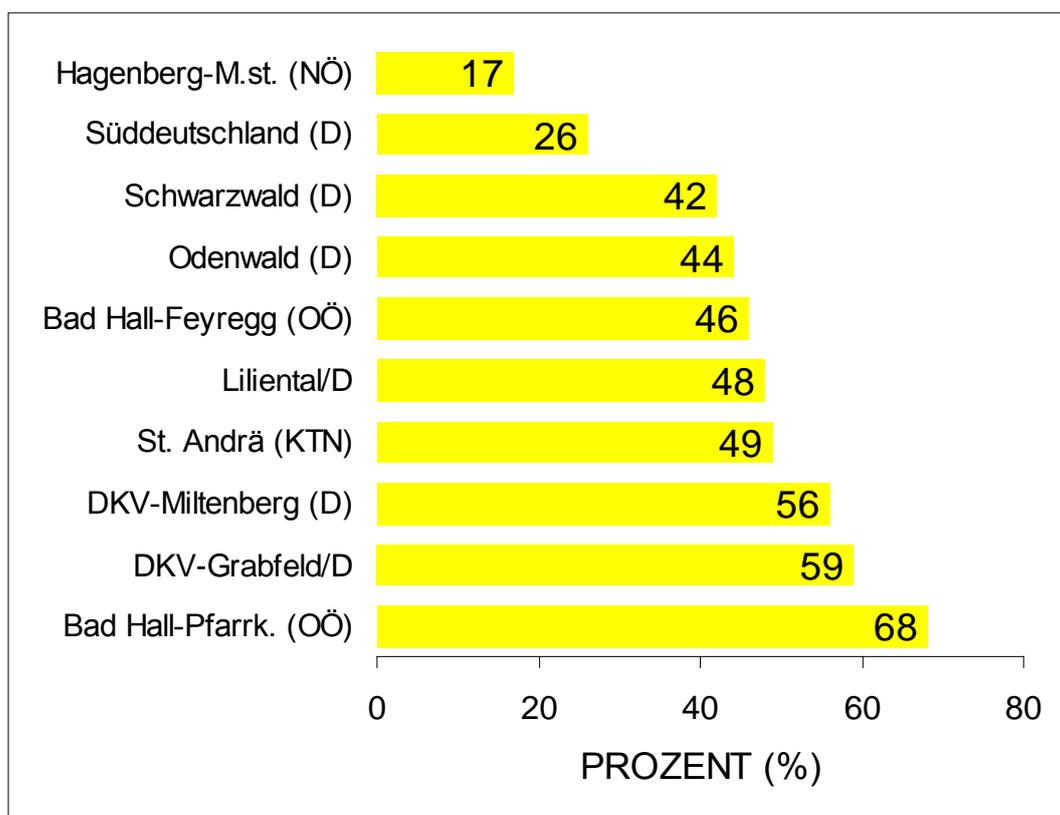
4.1 Ausfall - Jugendphase

Von den 3.004 gesetzten Jungkirschen im Jahr 1998 sind elfjährig noch 1.657 Pflanzen vorhanden, d.h. 45 % der ausgebrachten Pflanzen sind ausgefallen. Ein nicht quantifizierter Teil davon ist auf Schäden durch Mausfraß, Verbiss- und Fegschäden durch Reh- und Rotwild (trotz Einzelschutz!!), aber auch infolge Konkurrenzdruck des massiv aufkommenden Begleitwuchses (Verdämmung) zurückzuführen. Die großen, statistisch abgesicherten Unterschiede

im Anwuchsverhalten der einzelnen Herkünfte zeigen allerdings, dass ein Großteil der Ausfälle auf die verwendete Herkunft zurückgeführt werden kann (Abbildung 1).

Abbildung 1 / Figure 1

Herkunftsspezifischer Ausfall (%)
Provenance specific mortality rate (%)



Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann das sommerwarme, durch geringe Niederschläge gekennzeichnete Klima im Weinviertel, insbesondere das Trockenjahr 2003 als herkunftsspezifische Ausfallursache angesehen werden, denn die mit Abstand geringste Ausfallsquote zeigt die Weinviertler Herkunft Hagenberg-Mittersteig mit 17 %.

Es folgen die Herkünfte Süddeutschland mit 26 % und Schwarzwald mit 42 %. Die höchsten Ausfallsquoten weisen die Herkünfte Bad Hall-Pfarrkirchen (68 %), Grabfeld (59 %) und Miltenberg (56 %) auf. Bei den verbliebenen vier Herkünften liegen die Pflanzenausfälle zwischen 44 % und 49 %.

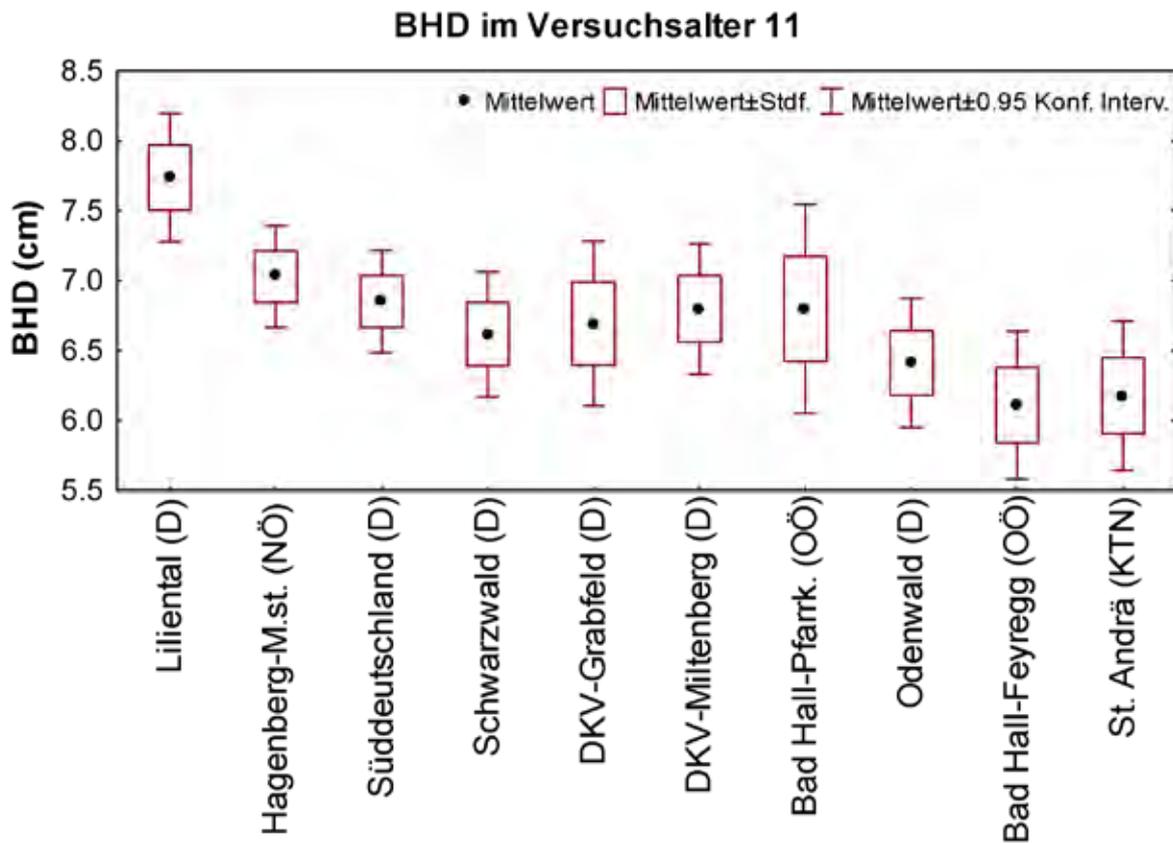
4.2 Durchmesser

Der Kreisflächenmittelstamm über alle drei Versuchsflächen beträgt 6,8 cm (100 %) und variiert von 6,1 cm (90 %: Herkunft Bad Hall-Feyregg) bis 7,7 cm (113 %: Herkunft Liliental). Die Plantagenherkunft Liliental aus Freiburg im Breisgau zeigt im Vergleich zu den anderen Herkünften ein statistisch signifikant besseres Durchmesserwachstum.

Zwischen den anderen neun Herkünften sind die Unterschiede weit geringer, einzig die niederösterreichische Herkunft Hagenberg-Mittersteig erwies sich besser als der Durchschnitt (Abbildung 2).

BHD-Entwicklung im Alter 11

Mean DBH at age 11



In absoluten Zahlen bedeutet dies, dass die Herkunft Liliental in den ersten elf Jahren im Mittel um 8 mm mehr Zuwachs hat als die auf Rang 2 platzierte Herkunft Hagenberg-Mittersteig.

Die Herkunft Süddeutschland (Rang 3) und die mattwüchsige Herkunft Bad Hall-Feyregg (Rang 10) trennen ebenso 8 mm.

4.3 Höhenwachstum

Der Vergleich der mittleren Baumhöhen zeigt ein ähnliches Bild (Abbildung 3). Auch hier liegen die Herkünfte Liliental mit 6,9 m (108 %) und Hagenberg-Mittersteig mit 6,8 m (106 %) über dem Mittelwert aller Herkünfte (6,4 m). Ebenso hat sich die unter der Bezeichnung Süddeutschland bezogene Herkunft mit 6,6 m im Höhenwachstum von den anderen abgesetzt.

Die schlechtesten Wachstumsleistungen bezüglich Höhe wiesen die Herkünfte St. Andrä (5,9 m) und Bad Hall-Feyregg (6,0 m) sowie die oft aus Deutschland nach Österreich verbrachte Herkunft Odenwald (6,1 m) auf. Die verbliebenen vier Herkünfte liegen im mittleren Höhenwachstum zwischen 6,1 m und 6,2 m.

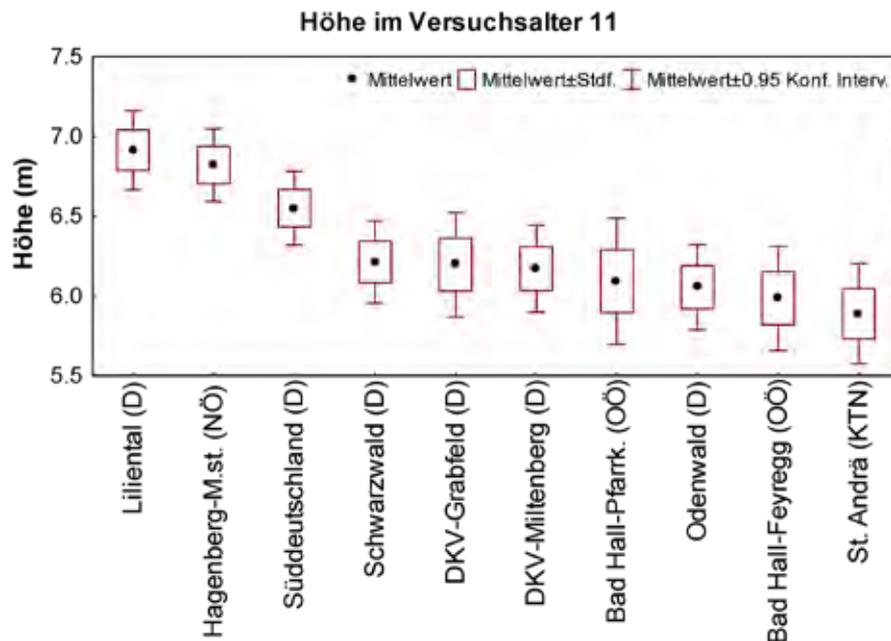
Die durchgeführte Signifikanzprüfung ergab statistisch abgesicherte Unterschiede im Höhenwachstum zwischen der Herkunft Liliental und den anderen Vergleichsherkünften (Ausnahme Herkunft

Hagenberg-Mittersteig). Die Herkunft Hagenberg-Mittersteig ist ihrerseits im Höhenwuchs allen

verbliebenen Herkünften (Ausnahme Herkunft Süddeutschland) signifikant überlegen.

Abbildung 3 / Figure 3

Mittlere Höhe der Prüfglieder im Alter 11
Mean height of the provenances at age 11



Die minimalen Unterschiede zwischen den verbliebenen Herkünften sind statistisch nicht nachweisbar.

4.4 Standort und Wuchsleistung

Abgesehen vom abweichenden Wuchsverhalten der untersuchten Herkünfte waren große Unterschiede zwischen den Versuchsfeldern zu erkennen. Ursache dafür sind enorme Standortunterschiede. Die höchsten Messwerte für Durchmesser und Höhe zeigte die Fläche „Schönborn-Äußere Langau“ bei Porrau mit einem mittleren BHD von 9,2 cm und einer mittleren Höhe von 7,6 m. Dagegen erreichten die Kirschen auf der Fläche „Eibesthal-Im Greut“ im Mittel nur einen BHD von 5,4 cm und eine Höhe von 5,6 m.

Der Einfluss des Standortes (Vergleich wüchsiger / karger Standort) auf das Wuchspotenzial der einzelnen Herkünfte ist erheblich. Die DKV-

Herkunft Miltenberg war am instabilsten. Mit 5,7 cm im Durchmesser- und 3,2 m im Höhenwachstum reagierte sie am meisten auf veränderte Boden- und Umweltverhältnisse. Die lokale Herkunft Hagenberg-Mittersteig zeigte hingegen kaum Reaktionen. Die Unterschiede liegen im Durchmesserbereich bei 1,5 cm und im Höhenwachstum bei 1,0 m.

4.5 Form- und Qualitätsmerkmale

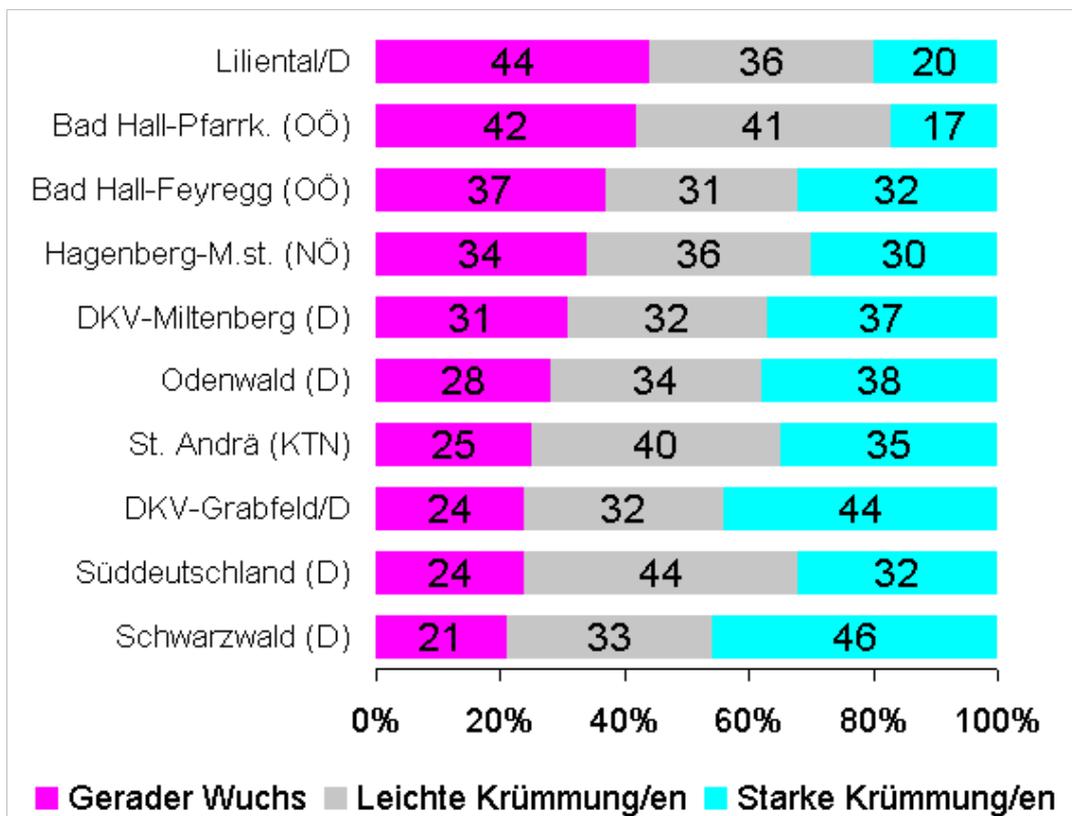
Neben der Volumenleistung ist bei der Vogelkirsche die Qualität (Formeigenschaften: Geradschäftigkeit und Wipfelschäftigkeit) ein den betriebswirtschaftlichen Erfolg bestimmendes Kriterium. Zur Qualitätsbeurteilung wurde eine Stammformbewertung mit einer Einteilung „gerader Wuchs“, „leicht gekrümmt“ und „stark gekrümmt“ durchgeführt. 503 Stämme (30 %) wurden als gerade qualifiziert, 595 (36 %) als leicht gekrümmt und 559 (34 %) als stark gekrümmt.

Bei genauerem Hinschauen lassen sich gravierende Unterschiede zwischen den Herkünften erkennen. Die Plantagenherkunft Liliental überzeugt mit 44 % gerade gewachsenen Bäumen. Auch die oberösterreichische Herkunft Bad Hall-Pfarrkirchen zeigt sich mit 42 % geraden Stämmen (22 von 52 Bäumen) als sehr formschön. Als wenig geradwüchsig zeigen sich in unseren Versuchen die Herkünfte Schwarzwald (21 %), Süddeutschland (24 %), Grabfeld (24 %) und die Herkunft St. Andrä (25 %) (siehe Abbildung 4).

Abbildung 4 / Figure 4

Schaftform in Prozent - Indikator für spätere Wertleistung

Stem form percentage of straight (pink), slightly curved (grey) and strongly curved (blue) stems



Diese großen Unterschiede in den Formmerkmalen sind möglicherweise eine Folge wenig angepasster Mutterbestände bzw. unzureichender Genetik des Ausgangsmaterials. In der späteren waldbaulichen

Behandlung wird dies unweigerlich zu zusätzlichen, mit weiteren Kosten verbundenen Pflegeeingriffen führen.

4.6 Gummifluss (Gumbose)

Der Gummifluss ist ein Zeichen einer physiologischen Störung des Baumes. Charakteristisch für dieses Schadbild ist der gummiartige, bernsteinfarbene Flüssigkeitsaustritt zwischen den Rindenschuppen, an Ästen und am Stamm. Als Auslöser dafür gelten Bakterieninfektionen (u.a. *Pseudomonas syringae*), Frost, Störungen im Wasserhaushalt, möglicherweise aber auch Verletzungen in Folge unsachgemäßer Wertastung.

Auf den untersuchten Flächen wurde an 48 Bäumen (3 % der Versuchspflanzen) Gummifluss diagnostiziert. Am stärksten betroffen ist die Herkunft Süddeutschland mit 12 %, gefolgt von der Herkunft Grabfeld mit 9 %. Die geringste Befallsquote zeigen die Herkünfte Bad Hall-Pfarrkirchen und Schwarzwald mit jeweils 1 %.

5 ERKENNTNISSE

Wie die Ergebnisse zeigen, sind bei der Vogelkirsche große Unterschiede zwischen den Herkünften zu beobachten, welche für die waldbauliche Behandlung und das Betriebsergebnis weit reichende Folgen haben können.

In der vorliegenden Versuchsserie hat sich das Plantagensaatgut aus Liliental mit der besten Wuchsleistung und den besten Formeigenschaften als überlegen erwiesen. Daneben überzeugt die lokale Herkunft Hagenberg-Mittersteig mit einer ausgezeichneten Wuchsleistung und den geringsten Ausfällen bei gleichzeitig guten Formeigenschaften.

Der besondere Wert von Plantagensaatgut wurde im vergangenen Jahrzehnt von den Forstleuten und Forstbauschulen erkannt. So wurden im Zeitraum von 1996 bis 2006 nicht weniger als sechs Saatgutplantagen für forstliche Zwecke in Österreich angelegt und zugelassen, von denen mittlerweile regelmäßig Vermehrungsgut auf den Markt kommt.

Um dieses Material in Vergleichsanbauten zu testen, startete das Institut für Genetik des BFW im Frühjahr 2009 zusammen mit den Bundesländern Oberösterreich, Niederösterreich, Steiermark und Burgenland eine neue Versuchsserie. Geprüft werden vorwiegend Plantagenbeerntungen aus Österreich, Plantagennachkommen und bewährte Herkünfte aus Deutschland sowie je eine Handelsherkunft aus Österreich und Ungarn. Zudem wird das vergleichsweise teure, mikrovegetativ vermehrte Klöngemisch „silvaSELECT“ aus Deutschland geprüft.

Im Gegensatz zu den vorliegenden Ergebnissen, welche auf den sommerwarmen Osten Österreichs (WG 8.1) beschränkt sind, beinhaltet die neue Versuchsserie auch Flächen in den Wuchsgebieten 5.3 und 7.1.

6 LITERATUR / REFERENCE

WEISSENBACHER, L. & SCHÜLER, S. (2009): Herkunftstests mit Vogelkirsche. Forstzeitung, Wien, 120(9): 41-43.

Exkursionsführer

für die

Exkursion

anlässlich der 28. ARGE-Tagung
Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung in Treis-Karden
in den Wäldern des Grafen von und zu Eltz

Thema: „Besondere Eichen an einem besonderen Standort - eine
Perspektive angesichts des Klimawandels?“



Burg Eltz

5. November 2009

Betriebsübersicht:

Waldfläche: 450 ha Wald, davon
285 ha Wirtschaftswald
130 ha sonstiger Wald
35 ha Nichtholzboden
weitgehend arrondiert um die Burg herum gelegen.

Sonstige Flächen: 120 ha landwirtschaftliche Flächen

Geschichte

Burg Eltz ist nun seit gut 850 Jahren urkundlich erwähnt. Wahrscheinlich gehörte der Waldbesitz von Anfang an dazu. Er diente mit Hoch- und Niederwaldbeständen der Versorgung mit Brenn- und Bauholz. Ab der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts veranlassten die **Grafen von und zu Eltz** den versuchsweisen Anbau verschiedener fremdländischer Baumarten. So wurde die Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) um 1880, die Weymouthkiefer (*Pinus strobus*) und die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) um 1900 eingebracht. Ab etwa 1905 folgten dann vor allem die Roteiche (*Quercus rubra*) und Einzelanbauten von Schwarznuss (*Juglans nigra*) und Hickory (*Carya*).

Aus ehemaligen Gräflichen Eltz'schen Besitzungen im Donau-Save-Gebiet (Vucovar) stammen Stieleichen slawonischer Herkunft, die zwischen 1880 oder früher und 1910 im Eltzer Wald auf ca. 20 ha in verschiedenen Beständen angebaut wurden.

Organisation

Bis 1980 erfolgte der Revierdienst mit eigenem Personal, dann über mehrere Jahre im Rahmen eines Vertrages mit dem Forstamt Mayen, später wieder mit einem eigenen Bediensteten und seit 2005 durch einen freiberuflichen Forstsachverständigen, der den Betrieb nach betrieblichem Bedarf betreut mit Schwerpunkt in der Einschlagssaison, die zwischen dem 1. November und dem 1. April, also außerhalb der Fremdenverkehrssaison der Burg liegt.

Hoheitlich zuständig ist das Forstamt Koblenz, im Einzelfall, z.B. bei Wertholz, erfolgt der Holzverkauf über das Forstamt.

Die landwirtschaftlichen Flächen sind weitestgehend an ortsansässige Landwirte verpachtet.

Die Bejagung des Eigenjagdbezirkes erfolgt in Eigenregie nach Maßgabe durch die forstliche Zielsetzung und wird durch einen Jagdaufseher koordiniert. Hauptwildarten sind Reh- und Schwarzwild, Muffelwild kommt in benachbarten Revieren vor. Angestrebt wird eine deutliche Reduktion des Rehwildbestandes zur Sicherung von Naturverjüngung und Stockausschlägen.

Schutzgebiete

Landesschutzgebiet (LSG) „Moselgebiet von Schweich bis Koblenz“ (ganz)

Vogelschutzgebiet (VSG) „Mittel- und Untermosel“ (ca. 300 ha Wald)

Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH) „Moselhänge und Nebentäler der unteren Mosel“ (ca. 200 ha innerhalb VSG)

Bodenschutz an den steilen Hängen und die Erholungsfunktion spielen eine herausragende Rolle. Im Sichtbereich der Burg dient der Wald zunächst als Kulisse.

Standort

Wuchsgebiet „Osteifel“, Wuchsbezirk „Moseleifel“

Hänge des Elztales und Plateaulagen des „Maifeldes“

Höhenlage: 100 – 284 m NN, planare Stufe

Klima: Jahresniederschlag 520 – 550 mm im Regenschatten der Eifelberge,
„Weinbauklima“ mit 15 °C in der Vegetationszeit

Geologie: Untergrund: unterschiedliche Tonschiefer des Unterdevon („Unterems“ und „Oberstes Siegen“)
– Felspartien des Elztales und Hangschuttlehme

Plateaulagen in etwa 280 m NN: Rand der altpleistozänen Moselhauptterrasse mit Quellhorizonten und Lößlehmauflage, teilweise mit jungvulkanischen Flugsanden und Aschen aus dem ca. 25 km entfernten Laacher-See-Gebiet durchmischt – Parabraunerden und Braunerden, teilweise mit Pseudovergleyung

Baumarten

(Forsteinrichtung 1999)

Eichen 100 ha im Wirtschaftswald (85 ha 110 – 150j.)

70 ha im sonstigen Wald

Buche u. s.Lb. 115 ha im Wirtschaftswald

45 ha im sonstigen Wald

Fichte 26 ha (abnehmend)

Douglasie 27 ha (12 ha 50–90j.)

Kiefer/Lärche 33 ha

Besonderheiten: Französischer Ahorn (*Acer monspessulanum*)

Raritäten: Schwarznuss (*Juglans nigra*), Butternuss (*Juglans cinerea*),
Hickory (*Carya*)

Hiebsatz: 1.300 Efm/a; 3,5 Efm/a*ha im Wirtschaftswald,

LZ = 4,5 Efm/a*ha

1.0 Waldbild 1: Stieleichen-Buchen-Mischbestand (150-jährig)

2.0 Waldort: Abt. 28 b4: 9,5 ha

3.0 Bestand:

■ Stieleiche	7,7 ha (81%): 150j.;	B°0,7; I. EKL; BHD 64 cm (1986: 53 cm)
■ Buche	0,9 ha (10%): 112–150j.;	B°0,7; II. EKL
	0,3 ha (3%): 22j.;	B°1,0; I. EKL
■ Esche	0,2 ha (2%): 83j.;	B°0,7; I.5 EKL
	0,3 ha (3%): 22j.;	B°1,0; I. EKL

Bisherige Maßnahmen:

Negativauslese und zufällige Nutzungen starker Eichen durch Windwurf und Kronenbrüche.
2008: Furnierholzerlöse auf der Wertholzsubmission bis zu 640,- €/fm.

Planung: weitere Negativauslese, geringe stammweise Entnahme zufällig und bei Bedarf.

langfristig: Waldumbau auf Buche aus dem Zwischenstand und Naturverjüngung mit Edellaubholz aus NV und aktiver Ergänzung, Partien mit schlechter Qualität werden nicht geduldet.

Die Stieleichen sind slawonischer Herkunft und zugelassen als Saatguternte-Bestand der Sonderherkunft „Späteiche Burg Eltz“.

Im Zusammenhang mit der Ausweisung von *in-situ*-Generhaltungsbeständen in Rheinland-Pfalz wurde der Bestand isoenzymatisch untersucht, jedoch (noch) nicht in das Generhaltungsprogramm aufgenommen.



1.0 Waldbild 2: Stieleichen-Buchen-Mischbestand (102-jährig)

2.0 Waldort: Abt. 28 b3: 1,7 ha

3.0 Bestand:

- Stieleiche (Saat) 1,5 ha (90 %): 102j.; B° 0,9; I. EKL; BHD 41 (1986: 30)
- Buche 0,2 ha (10 %): 50-102j.; B° 0,9; II. EKL

Bisherige Maßnahmen:

2005: verspätete Durchforstung, Entnahme bedrängender Buchen zur Kronenpflege der Stieleichen

2006: Schleimfluss und Kronentrocknis an zahlreichen Eichen (Folge des trockenen Sommers 2003) und Absterben einzelner Bäume (Prachtkäfer?).

Die Mehrzahl der betroffenen Eichen hat den Schaden überlebt.

Planung: behutsame Kronenpflege, im Zweifel Belassen kränkelder Eichen

langfristig wie b4: Waldumbau auf Buche aus Zwischenstand und NV mit Edellaubbäumen aus NV und aktiver Ergänzung



1.0 Waldbild 3: Roteichen-Buchen-Mischbestand (100-jährig)

2.0 Waldort: Abt. 28 b3: 2,3 ha

3.0 Standort (Profil):



Beschreibung:

Der mittel geneigte, nach Norden exponierte Mittelhangstandort wird geprägt durch eine rund 200 cm mächtige Decklehmauflage aus Löss, der wahrscheinlich periglazial hangabwärts aus dem oberhalb liegenden landwirtschaftlich genutzten Bereich des "Maifelds" verlagert wurde.

Im Oberboden entwickelte sich bis in eine Tiefe von 85 cm eine Parabraunerde mit Al- und Bt-Horizont über einer Mittellage aus unterschiedlich gefärbtem älterem Bt-Material.

Ab 120 cm bis rd. 200 cm handelt es sich noch um carbonatreichen ursprünglichen Löss, der auf altem entbasten, rötlich gefärbtem Lehm mit Kieseln einer ehemaligen Moselhöhenterrasse über skelettfreiem gelbem tonigem Lehm aufliegt.

Die Lösslage weist deutliche Merkmale einer Pseudovergleyung auf.

Die Bodenart reicht von schluffigem Lehm beim ursprünglichen Löss bis hin zu tonigerem Lehm in den Tonanreicherungshorizonten. Die Humusform ist ein sehr günstiger F-Mull.

Die Verlagerung und die bodenbildungsbedingt höheren Tongehalte führen zu einer relativ hohen Lagerungsdichte der tieferen Horizonte. Die Wuchsleistung der Stieleiche entspricht trotz vergleichsweise geringer Niederschläge der Frischestufe „sehr frisch“, wozu auch die Schattlage und die Stauwirkung des Untergrunds beitragen.

Die pH-Werte spiegeln die für eine Parabraunerde typische Tonverlagerung wider [pH(H₂O) 4.9 im Ah bis 6,2 im Bt]. Der pH-Wert(H₂O) im carbonathaltigen Löß liegt bei 7,7. In der Tiefe wechselt sich wieder schwach saures mit schwach basischem Substrat ab.

Die Bodenvegetation deutet auf den Zwiebelzahnwurz-Buchenwald (Dentario-Fagetum) als natürliche Waldgesellschaft hin. Es handelt sich um einen typischen Laubwaldstandort, der von wurzelintensiven Baumarten wie Stiel- und Traubeneiche ausreichend erschlossen werden kann.

4.0 Bestand: 2,3 ha

- Roteiche (Saat) 2,1 ha (90%): 102 J.; B°1,0; I. EKL; BHD 65 (1986: 41)
- Stieleiche (Saat) 1,5 ha (4%): 102 J.; B°1,0; I. EKL
- Buche 0,1 ha (6%): 40-102 J.; B°1,0; II. EKL

Bisherige Maßnahmen:

Nur geringe Entnahme von Buche und einzelne Roteichen-Windwürfen

Planung:

Behutsame Kronenpflege, EN zufällig und bei Bedarf

langfristig: Waldumbau auf Buche aus NV und Zwischenstand mit Edellaubbäumen incl. Roteiche aus NV und aktiver Ergänzung

Die Roteichen sind als Saatguternte-Bestand der Sonderherkunft „Roteiche Burg Eltz“ zugelassen. Eigene Absaaten aus diesem Bestand sind ca. 1,0 ha erfolgt. Jetziges Alter:14 Jahre.

Themen zur Diskussion:

- Können Bodeneigenschaften klimatische Einflüsse ausgleichen?
- Können und sollen wir die Eichen auf diesem Standort langfristig halten?
- Ist naturgemäße Waldbewirtschaftung dem Klimawandel gewachsen?
- Welche Möglichkeiten und Risiken bergen die nichtheimischen Eichen?

Autorenverzeichnis

Wolfgang Arenhövel

Thüringer Landesanstalt für Wald,
Jagd und Fischerei (TLWJF)
Jägerstrasse 1
D-99867 Gotha

E-mail: wolfgang.arenhoevel@forst.thueringen.de

Dr. Martin Bachmann

Bayerische Landesanstalt für Wald
und Forstwirtschaft (LWF),
Sachgebiet Waldbau
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1
D- 85354 Freising

E-mail: martin.bachmann@lwf.bayern.de

Dr. Eva Cremer

Bayerisches Amt für forstliche Saat- und
Pflanzenzüchtung (ASP)
Forstamtsplatz 1
D-83317 Teisendorf

E-mail: eva.cremer@asp.bayern.de

Prof. Dr. Bernd Degen

Johann Heinrich von Thünen-Institut,
vTi-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstraße 2
D-22927 Großhansdorf

E-mail: bernd.degen@vti.bund.de

Dr. rer.nat Dietrich Ewald

Johann Heinrich von Thünen-Institut,
vTi-Institut für Forstgenetik,
Standort Waldsieversdorf
Eberswalder Chaussee 3a
D-15377 Waldsieversdorf

E-mail: dietrich.ewald@vti.bund.de

Steffen Fehrenz

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abt. Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
D-34346 Hann. Münden

E-mail: steffen.fehrenz@nw-fva.de

Christina Fey-Wagner

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abt. Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
D-34346 Hann. Münden

E-mail: christina.fey-wagner@nw-fva.de

Prof. Dr. Reiner Finkeldey

Fakultät für Forstwissenschaften & Waldökologie,
Büsgen-Institut der Georg-August-Universität
Büsgenweg 2
D-37077 Göttingen

E-mail: rfinkel@gwdg.de

Privatdozent Dr. Matthias Fladung

Johann Heinrich von Thünen Institut,
vTi-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstraße 2
D-22927 Großhansdorf

E-mail: matthias.fladung@vti.bund.de

Nico Frischbier

Thüringer Landesanstalt für Wald,
Jagd und Fischerei (TLWJF)
Jägerstrasse 1
D-99867 Gotha

E-mail: nico.frischbier@forst.thueringen.de

Ursula Frühwacht-Wilms

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abt. Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
D-34346 Hann. Münden

E-mail: ursula.fruehwacht-wilms@nw-fva.de

Prof. Dr. Oliver Gailing

School of Forest Resources & Environmental
Science Houghton, Michigan (USA)
906-487-1615
Noblet Building 167

E-mail: ogailing@mtu.edu

Dr. Karl Gebhardt

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abt. Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
D-34346 Hann. Münden

E-mail: karl.gebhardt@nw-fva.de

Prof. Dr. Friedrich-Wilhelm Gerstengarbe

Potsdamer Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
Postfach 60 12 03
D-14412 Potsdam

E-mail: gerstengarbe@pik-potsdam.de

Bolko Haase

Forschungsanstalt für Waldökologie
und Forstwirtschaft
Ref. Nachhaltige Waldbewirtschaftung
Hauptstr. 16
D-67705 Trippstadt

E-mail: bolko.haase@wald-rlp.de

Dr. Bernhard Hosius

ISOGEN im Institut für Forstgenetik
Büsgenweg 2
D-37077 Göttingen

E-Mail: bernhard.hosius@isogen.de

Dr. Alwin Janßen
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abt. Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
D-34346 Hann. Münden

E-mail: alwin.janssen@nw-fva.de

Dr. Monika Konnert
Bayerisches Amt für forstliche Saat- und
Pflanzenzüchtung (ASP)
Forstamtsplatz 1
D-83317 Teisendorf

E-mail: monika.konnert@asp.bayern.de

Dr. Ludger Leinemann
Fakultät für Forstwissenschaften & Waldökologie,
Büsgen-Institut der Georg-August-Universität
Büsgenweg 2
D-37077 Göttingen

E-mail: lleinem@gwdg.de

Patrick Lemmen
Forschungsanstalt für Waldökologie
und Forstwirtschaft
Ref. Nachhaltige Waldbewirtschaftung
Hauptstr. 16
D-67705 Trippstadt

E-mail: patrick.lemmen@wald-rlp.de

Dr. rer.nat. Heike Liesebach
Johann Heinrich von Thünen-Institut,
vTi-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstr. 2
D-22927 Großhansdorf

E-mail: heike.liesebach@vti.bund.de

Dr. rer.nat. Mirko Liesebach
Johann Heinrich von Thünen-Institut,
vTi-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstr. 2
D-22927 Großhansdorf

E-mail: mirko.liesebach@vti.bund.de

Dr. Werner D. Maurer
Forschungsanstalt für Waldökologie
und Forstwirtschaft
Ref. Nachhaltige Waldbewirtschaftung
Hauptstr. 16
D-67705 Trippstadt

E-mail: werner.maurer@wald-rlp.de

Michael Mengl
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)
Institut für Genetik,
Abt. Populationsgenetik und Herkunftsforschung
Mariabrunn, Hauptstraße 7
A-1140 Wien

E-mail: michael.mengl@bfw.gv.at

Finnvid Prescher
Svenska Skogsplantor AB,
Forstsamenzentrale
SE-340 14 Lagan, Schweden

E-mail: finnvid.prescher@skogsplantor.se

Ingolf Profft
Thüringer Landesanstalt für Wald,
Jagd und Fischerei (TLWJF)
Jägerstrasse 1
D-99867 Gotha

E-mail: ingolf.profft@forst.thueringen.de

Hans-Martin Rau
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abt. Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
D-34346 Hann. Münden

E-mail: hans-martin.rau@nw-fva.de

Randolf Schirmer
Bayerisches Amt für forstliche Saat- und
Pflanzenzüchtung (ASP)
Forstamtsplatz 1
D-83317 Teisendorf

E-mail: randolf.schirmer@asp.bayern.de

Dipl.-Agraring. Volker Schneck
Johann Heinrich von Thünen-Institut
vTi-Institut für Forstgenetik,
Standort Waldsiefersdorf
Eberswalder Chaussee 3a
D-15377 Waldsiefersdorf

E-mail: volker.schneck@vti.bund.de

Dr. Hilke Schröder
Johann Heinrich von Thünen Institut,
vTi-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstraße 2
D-22927 Großhansdorf

E-mail: hilke.schroeder@vti.bund.de

Silvio Schüler
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)
Institut für Genetik,
Abt. Populationsgenetik und Herkunftsforschung
Mariabrunn, Hauptstraße 7
A-1140 Wien

E-mail: silvio.schueler@bfw.gv.at

Prof. Dr. Hermann Spellmann
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Grätzelstr. 2
D-37079 Göttingen

E-mail: hermann.spellmann@nw-fva.de

Dr. Barbara Vornam

Fakultät für Forstwissenschaften & Waldökologie,
Büsgen-Institut der Georg-August-Universität
Büsgenweg 2
D-37077 Göttingen

E-mail: bvornam1@gwdg.de

Dr. Iris Wagner

Forschungsinstitut Pro Arbore
Gustav-Adolf-Str. 3
D-01219 Dresden

E-mail: iriswagner@aol.com

Prof. Dr. habil. Sven Wagner

Technische Universität Dresden
Fachrichtung Forstwissenschaft,
Institut für Waldbau und Forstschutz
Piener Str. 8
D-01735 Tharandt

E-mail: wagner@tu-dresden.de

Prof. Dr. Christian Wehenkel

Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera,
Universidad Juárez del Estado de Durango,
Km 5.5 Carratera Mazatlán
34120 Durang, Mexico

E-mail: wehenkel@ujed.mx

Lambert Weißenbacher

Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für
Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW)
Institut für Genetik
Abt. Populationsgenetik und Herkunftsforschung
Mariabrunn, Hauptstraße 7
A-1140 Wien

E-mail: lambert.weissenbacher@bfw.gv.at

Dr. Heino Wolf

Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft,
Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS)
Referat Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung
Bonnewitzer Str. 34
D-01796 Pirna

E-mail: heino.wolf@smul.sachsen.de

Bisher sind folgende Mitteilungen aus der *Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz* erschienen:

69/2011	Maurer und Haase (Hrsg.): Holzproduktion auf forstgenetischer Grundlage. Tagungsbericht 28. Internationale Tagung ARGE Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, 4.-6. November 2009 in Treis-Karden (Mosel)	€ 18,--
68/2009	Engels, Jochum, Krug und Seegmüller (Hrsg.): Käferschäden im Buchenholz: Einbußen und Verwendungsoptionen ISSN 1610-7705	€ 10,--
67/2009	Phan Hoang Dong (Hrsg.): Zum Anbau und Wachstum von Vogelkirsche und Birke ISSN 0931-9662	€ 10,--
66/2008	Werner D. Maurer und Bolko Haase (Hrsg.): Walnuss-Tagung 2008 ISSN 1610-7705	€ 10,--
65/2008	Block (Hrsg.): Forstliche Forschung Grundlage für eine zukunftsfähige Forstwirtschaft ISSN 1610-7705	€ 10,--
64/2007	Schüler, Gellweiler und Seeling (Hrsg.): Dezentraler Wasserrückhalt in der Landschaft durch vorbeugende Maßnahmen der Waldwirtschaft, der Landwirtschaft und im Siedlungswesen ISSN 1610-7705	€ 15,--
63/2007	Dong (Hrsg.): Eiche im Pfälzerwald ISSN 0931-9662	€ 10,--
62/2007	Bücking, Moshammer und Roeder: Wertholzproduktion bei der Fichte mittels kronenspannungsarm gewachsener Z-Bäume ISSN 0931-9622	€ 15,--
61/2007	Jahresbericht 2006 ISSN 1610-7705 ISSN 1610-7713	
60/2006	Block und Schüler (Hrsg.): Stickstoffbelastung der rheinland-pfälzischen Wälder; Erschließung von Sekundärrohstoffen als Puffersubstanzen für Bodenmaßnahmen im Wald ISSN 1610-7705	€ 10,--
59/2006	Petercord und Block (Hrsg.): Strategien zur Sicherung von Buchenwäldern ISSN 0931-9662	€ 10,--
58/2006	Jahresbericht 2005 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
57/2005	Seegmüller (Hrsg.): Die Forst-, Holz- und Papierwirtschaft in Rheinland-Pfalz ISSN 0931-9662	€ 10,--

56/2005	Jahresbericht 2004 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
55/2005	Dong (Hrsg.): Zum Aufbau und Wachstum der Douglasie ISSN 0931-9662	€ 10,--
54/2004	Dong (Hrsg.): Kiefer im Pfälzerwald ISSN 0931-9662	€ 10,-- vergriffen
53/2004	Jahresbericht 2003 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
52/2004	Maurer (Hrsg.): Zwei Jahrzehnte Genressourcen-Forschung in Rheinland-Pfalz ISSN 1610-7705	€ 15,-- (vergriffen)
51/2003	Jahresbericht 2002 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
50/2003	Maurer (Hrsg.): Ökologie und Waldbau der Weißtanne – Tagungsbericht zum 10. Internationalen IUFRO Tannensymposium am 16-20. September 2002 an der FAWF in Trippstadt ISSN 1610-7705	€ 15,--
49/2002	Maurer (Hrsg.): Vom genetischen Fingerabdruck zum gesicherten Vermehrungsgut: Untersuchungen zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung forstlicher Genressourcen in Rheinland-Pfalz ISSN 1610-7705	€ 15,-- (vergriffen)
48/2002	Jahresbericht 2001 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
47/2001	Jahresbericht 2000 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
46/1999	Jahresbericht 1999 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
45/1999	Delb und Block: Untersuchungen zur Schwammspinnerkalamität von 1992–1994 in Rheinland-Pfalz ISSN 0931-9662	€ 13,--
44/1998	Jahresbericht 1998 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
43/1997	Jahresbericht 1997 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	

42/1997	Bücking, Eisenbarth und Jochum: Untersuchungen zur Lebendlagerung von Sturmwurfholz der Baumarten Fichte, Kiefer, Douglasie und Eiche ISSN 0931-9662	€ 10,--
41/1997	Maurer und Tabel (Hrsg.): Stand der Ursachenforschung zu Douglasienschäden – derzeitige Empfehlun- gen für die Praxis ISSN 0931-9662	€ 10,--
40/1997	Schröck (Hrsg.): Untersuchungen an Waldökosystemdauerbeobachtungsflächen in Rhein- land-Pfalz – Tagungsbericht zum Kolloquium am 04. Juni 1996 in Trippstadt - ISSN 0931-9662	€ 8,--
39/1997	Jahresbericht 1996 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
38/1996	Balcar (Hrsg.): Naturwaldreservate in Rheinland-Pfalz: Erste Ergebnisse aus dem Natur- waldreservat Rotenberghang im Forstamt Landstuhl ISSN 0931-9662	€ 13,--
37/1996	Hunke: Differenzierte Absatzgestaltung im Forstbetrieb - Ein Beitrag zu Strategie und Steuerung der Rundholzvermarktung ISSN 0931-9662	€ 10,--
36/1996	Jahresbericht 1995 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
35/1995	Block, Bopp, Butz-Braun und Wunn: Sensitivität rheinland-pfälzischer Waldböden gegenüber Bodendegradation durch Luftschadstoffbelastung ISSN 0931-9662	€ 8,--
34/1995	Maurer und Tabel (Hrsg.): Genetik und Waldbau unter besonderer Berücksichtigung der heimischen Eichenarten ISSN 0931-9662	€ 8,--
33/1995	Eisenbarth: Schnittholzeigenschaften bei Lebendlagerung von Rotbuche (<i>Fagus sylvatica</i> L.) aus Wintersturmwurf 1990 in Abhängigkeit von Lagerart und Lagerdauer ISSN 0931-9662	€ 6,--
32/1995	Autorenkollektiv: Untersuchungen an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in Rhein- land-Pfalz ISSN 0931-9662	€ 6,--
31/1995	Jahresbericht 1994 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
30/1994	Schüler: Ergebnisse forstmeteorologischer Messungen für den Zeitraum 1988 bis 1992 ISSN 0931-9662	€ 6,--

29/1994	Fischer: Untersuchung der Qualitätseigenschaften, insbesondere der Festigkeit von Douglasien-Schnittholz (Pseudotsuga Menziesii (Mirb.)Franco), erzeugt aus nicht-wertgeästeten Stämmen ISSN 0931-9662	€ 6,--
28/1994	Schröck: Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz - Entwicklung und Einflußfaktoren - ISSN 0931-9662	€ 6,--
27/1994	Oesten und Roeder: Zur Wertschätzung der Infrastrukturleistungen des Pfälzerwaldes ISSN 0931-9662	€ 6,--
26/1994	Jahresbericht 1993 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
25/1994	Wierling: Zur Ausweisung von Wasserschutzgebieten und den Konsequenzen für die Forstwirtschaft am Beispiel des Pfälzerwaldes ISSN 0931-9662	€ 6,--
24/1993	Block: Verteilung und Verlagerung von Radiocäsium in zwei Waldökosystemen in Rheinland-Pfalz insbesondere nach Kalk- und Kaliumdüngungen ISSN 0931-9662	€ 6,--
23/1993	Heidingsfeld: Neue Konzepte zum Luftbildeinsatz für großräumig permanente Waldzustandserhebungen und zur bestandesbezogenen Kartierung flächenhafter Waldschäden ISSN 0931-9662	€ 10,--
22/1993	Jahresbericht 1992 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
21/1992	Autorenkollektiv: Der vergleichende Kompensationsversuch mit verschiedenen Puffersubstanzen zur Minderung der Auswirkungen von Luftschadstoffeinträgen in Waldökosystemen - Zwischenergebnisse aus den Versuchsjahren 1988 - 1991 - ISSN 0931-9662	€ 6,-- vergriffen
20/1992	Jahresbericht 1991 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
19/1991	Autorenkollektiv: Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Sturm- und Immissionschäden im Vorderen Hunsrück - „SIMS“ - ISSN 0931-9662	€ 6,--
18/1991	Schüler, Butz-Braun und Schöne: Versuche zum Bodenschutz und zur Düngung von Waldbeständen ISSN 0931-9662	€ 6,--

17/1991	Block, Bopp, Gatti, Heidingsfeld und Zoth: Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden in Rheinland-Pfalz ISSN 0931-9662	€ 6,--
16/1991	Block, Bockholt, Borchert, Fingerhut, Heidingsfeld und Schröck: Immissions-, Wirkungs- und Zustandsuntersuchungen in Waldgebieten von Rheinland-Pfalz - Sondermeßprogramm Wald, Ergebnisse 1983-1989 ISSN 0931-9662	€ 6,--
15/1991	Jahresbericht 1990 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
14/1990	Block: Ergebnisse der Stoffdepositionsmessungen in rheinland-pfälzischen Waldgebieten 1984 - 1989 ISSN 0931-9662	€ 6,-- vergriffen
13/1990	Schüler: Der kombinierte Durchforstungs- und Düngungsversuch Kastellaun - angelegt 1959 - heute noch aktuell ? ISSN 0931-9662	€ 6,--
12/1990	Jahresbericht 1989 ISSN 0931-9662 ISSN 0936-6067	
11/1989	Block, Deinet, Heupel, Roeder und Wunn: Empirische, betriebswirtschaftliche und mathematische Untersuchungen zur Wipfelköpfung der Fichte ISSN 0931-9662	€ 6,--
10/1989	Heidingsfeld: Verfahren zur luftbildgestützten Intensiv-Waldschadenserhebung in Rheinland-Pfalz ISSN 0931-9662	€ 13,--
9/1989	Jahresbericht 1988 ISSN 0936-6067	
8/1988	Gerecke: Zum Wachstumsgang von Buchen in der Nordpfalz ISSN 0931-9662	€ 13,--
7/1988	Beutel und Block: Terrestrische Parkgehölzschadenserhebung (TPGE 1987) ISSN 0931-9662	€ 6,--
6/1988	Jahresbericht 1987 ISSN 0931-9662	
5/1988	Die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz im Dienste von Wald und Forstwirtschaft - Reden anlässlich der Übergabe des Schlosses Trippstadt als Dienstsitz am 10.04.1987 - ISSN 0931-9662	€ 6,--
4/1987	Beutel und Block: Terrestrische Feldgehölzschadenserhebung (TFGE 1986) ISSN 0931-9662	€ 6,-- vergriffen

3/1987	Block, Fraude und Heidingsfeld:Sondermeßprogramm Wald (SMW) ISSN 0931-9662	€ 6,--
2/1987	Block und Stelzer: Radioökologische Untersuchungen in Waldbeständen ISSN 0931-9662	€ 6,--
1/1987	Jahresbericht 1984-1986 ISSN 0931-9662	vergriffen