ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Liesebach, Mirko (Ed.)

Research Report

FastWOOD II: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb - Erkenntnisse aus 6 Jahren FastWOOD

Thünen Report, No. 26

Provided in Cooperation with:
Johann Heinrich von Thünen Institute, Federal Research Institute for Rural Areas, Forestry and Fisheries

Suggested Citation: Liesebach, Mirko (Ed.) (2015) : FastWOOD II: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb - Erkenntnisse aus 6 Jahren FastWOOD, Thünen Report, No. 26, ISBN 978-3-86576-131-6, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig, https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:253-201503-dn054837-5

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/108517

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

THÜNEN

FastWOOD II: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus 6 Jahren FastWOOD

Mirko Liesebach (Hrsg.)

Thünen Report 26

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliography; detailed bibliographic data is available on the Internet at www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter www.ti.bund.de

Volumes already published in this series are available on the Internet at www.ti.bund.de

Zitationsvorschlag – *Suggested source citation:*
Mirko Liesebach (ed) (2015) FastWOOD II: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus 6 Jahren FastWOOD. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 210 p, Thünen Rep 26

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are responsible for the content of their publications.

THÜNEN

Thünen Report 26

Herausgeber/Redaktionsanschrift – *Editor/address*

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-report@ti.bund.de
www.ti.bund.de

ISSN 2196-2324
ISBN 978-3-86576-131-6
DOI:10.3220/REP_26_2015
urn:nbn:de:gbv:253-201503-dn054837-5

FastWOOD II: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus 6 Jahren FastWOOD

Mirko Liesebach (Hrsg.)

Thünen Report 26

Mirko Liesebach (Hrsg.)
Thünen-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstr. 2
22927 Großhansdorf

Telefon: +49 4102 696156
Fax: +49 4102 696200
E-Mail: mirko.liesebach@ti.bund.de

Thünen Report 26

Braunschweig/Germany, März 2015

Zusammenfassung

In den 1980er und 1990er Jahren förderte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) den Bereich der Energieholzproduktion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen mit der Finanzierung von Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben. Mit Gründung der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) im Jahr 1993 ging die Projektträgerschaft auf diese über. Die Ergebnisse des Modellvorhabens „Schnellwachsende Baumarten“, die u.a. Fragen des Anbaus und Abstandsversuche beinhalteten, wurden in der Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 13 (1999) veröffentlicht.

Ab dem Jahr 2006 wurde die Förderung wieder intensiviert und die züchterische Verbesserung der relevanten Baumarten für den Kurzumtrieb als wichtige Forschungsaufgabe benannt. Im Oktober 2008 startete das Verbundvorhaben FastWOOD mit Beteiligung von 8 Partnern, staatliche und private Forschungseinrichtungen sowie Universitäten, das den Neubeginn der Pappelzüchtung in Deutschland darstellt.

Gegenstand des Verbundvorhabens FastWOOD „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb“ ist die Entwicklung und Bereitstellung von Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“ als Voraussetzungen für einen großflächigen und wirtschaftlichen Anbau von Pappeln, Weiden und Robinien zur Produktion von Biomasse. Dazu gehören die Erzeugung und Prüfung von in ihrer Leistungsfähigkeit und Widerstandskraft verbesserten Klone, Klonmischungen und Nachkommenschaften. Forstpflanzenzüchtung ist eine langfristige Aufgabe. Erste Neuzulassungen beruhen auf der Auswertung von Versuchen, die vor der Förderung von FastWOOD angelegt wurden. Mit Neuzulassungen aus FastWOOD ist erst in etwa 5 Jahren zu rechnen.

Die Ergebnisse der ersten Projektperiode (2008-2011) wurden in Hann. Münden vorgestellt (Beiträge aus der NW-FVA, Band 8, 2012).

Das Abschluss-Symposium der zweiten Förderperiode (2011-2014) wurde vom Thünen-Institut für Forstgenetik in Berlin ausgerichtet und endete mit einer Exkursion zu Versuchsflächen, die während des FastWOOD-Projekts in Müncheberg und Buckow/Märkische Schweiz angelegt wurden. Im vorliegenden Band werden die Vorträge des Abschluss-Symposiums 2014 der Öffentlichkeit bekannt gemacht. Dem BMEL ist für die Förderung über die FNR gedankt.

Schlüsselworte: Züchtung, Pappel, Weide, Robinie, Kurzumtrieb

Abstract

In the 1980s and 1990s the German Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) supported research and development projects to produce energy wood on agricultural sites. In 1993 the Agency for Renewable Resources e.V. (FNR) was established to coordinate research, development and demonstration projects in the field of renewable raw materials. The results of the demonstration project “Fast growing tree species” (eg. testing the suitability of species, clones and spacing) were published in the series “Nachwachsende Rohstoffe” (No. 13, 1999).

Since 2006, the funding was intensified and the improvement of fast growing tree species for short rotation coppice plantations was identified as relevant research topic. In October 2008 the joint project FastWOOD (8 partners: state owned and private research intitutes and universities) was launched, and with the project a new phase of poplar breeding within Germany.

The aim of the joint project ’Breeding of fast growing varieties of the genus *Populus*, *Robinia* and *Salix* for the production of renewable resources in short rotation intensive cultures’ (FastWOOD) is the improvement and development of forest reproductive material in the category “Tested” to establish productive short rotation coppice plantations. These include the improvement and testing of progenies, clones and clone mixtures with regard to yield and pest and disease resistant. Forest tree breeding is a long process, therefore, new varieties and forest reproductive material of the category “Tested” are based on trials established before FastWOOD. The first approvals from the FastWOOD project will take approximately another five years.

The results of the first funding period (2008-2011) were presented at a meeting in Hannoversch Münden and the presentations published in the “Beiträge aus der NW-FVA” (No. 8, 2012).

The final meeting of the second funding period (2011-2014) was organised by the Thünen Institute of Forest Genetics in Berlin, on September 2.-3., 2014, and included an excursion to project sites near Müncheberg and Buckow / Märkische Schweiz (Brandenburg). This Thünen Report presents twenty-four symposium papers. Although most of the papers are written in theGerman language, two are in English.

The BMEL and the FNR are thanked for their financial support of the project.

Keywords: Breeding, poplar, willow, black locust, short rotation coppice

Inhalt

1 Vorwort, Abstract

3 Inhalt

Frithjof Oehme
5 **Forschungsprojekte zur Züchtung schnellwachsender Baumarten für den Kurzumtrieb im Rahmen des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ des BMEL**

Alwin Janßen, Christina Fey-Wagner
9 **Verbundvorhaben „FastWOOD“**

Volker Schneck, Mirko Liesebach
15 **Potenziale von Aspe im Kurzumtrieb**

Marek Schildbach, Kai-Uwe Hartmann, Heino Wolf
28 **Überblick über die Neuzüchtung von Aspen- (*Populus tremula* L.) Nachkommenschaften in Sachsen**

Randolf Schirmer, Anna Haikali
42 **Alte Pappelsorten mit Kurzumtriebspotential**

Meike Borschel, Christina Fey-Wagner, Steffen Fehrenz, Alwin Janßen
52 **Kreuzungszüchtung bei Schwarz- und Balsampappeln**

Alwin Janßen, Helmut Grotehusmann, Matthias Moos, Thilo Schuppelius, Christoph Stiehm
59 **Pappel-Sortenprüfung im Kurzumtriebs-Verbundobjekt FastWOOD: Ergebnisse der Versuchsserien 2010 und 2011**

Dirk Knoche, Christian Lange, Jan Engel
71 **Entwicklung von innovativen Bewirtschaftungsverfahren für Robinienbestände (*Robinia pseudoacacia* L.)**

Thomas Guse, Volker Schneck, Georg von Wühlisch, Mirko Liesebach
85 **Untersuchungen der Ertragsleistung und -stabilität bei Robinien-Jungpflanzen verschiedener Herkunft auf einem Standort im Land Brandenburg**

Kristina Ulrich, Heike Liesebach, Dietrich Ewald
98 **Erzeugung, Nutzung und genetische Charakterisierung polyploider Pappeln**

Matthias Meyer, Alexander Solger, Laura Panitz, Alwin Janßen, Doris Krabel
111 **Auswirkungen der Züchtung auf einen optimierten nachwachsenden Rohstoff Holz – Beispiel Pappelzüchtung**

Hilke Schröder, Matthias Fladung
123 **Anwendung und Nutzen molekularer Marker innerhalb der Gattung *Populus* für den Einsatz in der Züchtung**

Christina Fey-Wagner, Natalia Klippert, Alwin Janssen
129 **Untersuchungen zum Resistenzverhalten der in FastWOOD gezüchteten Leistungsträger von Schwarz- und Balsampappeln gegenüber dem Pappelblattrost *Melampsora larici-populina***

Kai-Uwe Hartmann, Marek Schildbach, Heino Wolf
140 **Trockenheits- und Frostresistenz – Untersuchungsmethoden und Ergebnisse**

Felix Staeps, Birgit Ziegenhagen, Meike Borschel, Ronald Bialozyt
157 **In-situ und ex-situ Untersuchungen sowie Modellierung zur Bewertung des Introgressionsrisikos in heimische Pappel-Populationen**

Karl Gebhardt, Marion Hoffmann, Matthias Fladung, Alwin Janßen
164 **Associations of SNPs with phenotypic variables of breeding value in poplars**

Karl Gebhardt, Marion Hoffmann, Birgit Ziegenhagen, Sascha Liepelt, Alwin Janßen
168 **SNPs of the Clavata1-Gene exhibit associations with growth characters of willows (*Salix spp.*)**

Karl Gebhardt, Birgit Ziegenhagen, Alwin Janßen, Marion Hoffmann, Sascha Liepelt
173 **SNP-Variation in Kandidatengenen bei *Salix* – Vergleich zwischen natürlichen *S. viminalis*-Populationen und einer Zuchtpopulation von *S. spp.***

Aletta Grimrath, Annika Müller-Navarra, Volker Schneck, Mirko Liesebach
177 ***Melampsora*-Rost an Pappeln der Sektion *Populus***

Imke Hennemann-Kreikenbohm, Leena Jennemann, Wolfgang Peters
181 **Naturverträgliche Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen**

Renate Lührs, Nadia Efremova, Peter Welters, Thomas Teichmann, Matthias Fladung, Anne Hennig, Andreas Meier-Dinkel, Alwin Janßen
185 **Entwicklung polyploider Pappellinien von verschiedenen Arten mit Hilfe der Protoplastenfusion**

Dietmar Lüttschwager, Lucia Atanet Alia, Dietrich Ewald
192 **Auswirkungen von moderatem Trockenstress auf Photosynthesekapazität, Wassernutzungseffizienz und Biomasseproduktion von drei Pappelklonen**

Gisela Naujoks, Ute-Katrin Krakau
197 **Erfolgreiche Pillierung von *Populus*-Saatgut**

Steffen Fehrenz, Karl Gebhardt, Thilo Schuppelius, Serge Havel
202 **Neue Weiden für den Ertragsanbau - Prüfung von neu gekreuzten und heimischen Weiden als Ergebnis der Weidenzüchtung der Jahre 2009 und 2010**

Forschungsprojekte zur Züchtung schnellwachsender Baumarten für den Kurzumtrieb im Rahmen des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“ des BMEL

Frithjof Oehme

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow

Zusammenfassung

Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) wurde gegründet, um Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte im Bereich nachwachsender Rohstoffe zu koordinieren. Das Förderprogramm "Nachwachsende Rohstoffe" des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft gibt dafür die Regeln vor. Die Fördermittel für die Umsetzung des Programms stehen aus dem Bundeshaushalt zur Verfügung. Zusätzlich verfügt die FNR über Gelder aus dem Energie- und Klimafonds für Forschung und Entwicklung im Bioenergie-Bereich. Hauptaufgabe der FNR ist die fachliche und administrative Betreuung von Forschungsvorhaben zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe. Aktuelles Fachwissen zum Thema wird gesammelt und steht über Veröffentlichungen allen Interessenten zur Verfügung. Die Koordinierung von EU-Projekten rundet ihre Tätigkeit auf europäischer Ebene ab. Die Projektträgertätigkeit der FNR ist zertifiziert nach ISO 9001.

Schlüsselworte: Züchtung, Förderung, FNR, KUP

Abstract

Research projets for the breeding of fast-growing tree species for short rotation coppices in the BMEL funding program “renewable raw material”

The FNR was established in 1993 on the initiative of the Federal Government with the proviso in the life to coordinate research, development and demonstration projects in the field of renewable raw materials. The funding programme "Renewable raw materials" of the Federal Ministry of food and agriculture is above the rules. The funding for the implementation of the programme are available from the federal budget available. In addition, the FNR has funds from the energy and climate fund for research and development in the field of bio-energy. Main task of the FNR is the technical and administrative supervision of research projects for the use of renewable raw materials. Current knowledge on the subject is collected and is interested scientists, individuals, politicians, economic and media representatives on publications available. The coordination of EU projects completes their activities at European level. The FNR project carrier activity is certified according to ISO 9001. FNR funds and supervises more than 400 projects per year that focus on the energetic or material use of renewable resources.

Keywords: Breeding, funding, FNR, SRC

Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) wurde 1993 auf Initiative der Bundesregierung mit der Maßgabe ins Leben gerufen, Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsprojekte im Bereich nachwachsender Rohstoffe zu koordinieren. Das Förderprogramm "Nachwachsende Rohstoffe" des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) bildet dafür die Grundlage. Hauptaufgabe der FNR ist die fachliche und administrative Betreuung von Forschungsvorhaben zur Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

Entsprechend der stofflichen bzw. energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe erfolgt auch im Programm ‚Nachwachsende Rohstoffe' die Einteilung der einzelnen Förderbereiche. Derzeit werden in den einzelnen Produktlinien 515 Projekte mit einer Fördersumme von rd. 170 Mio. € gefördert (Abb. 1). Die Pflanzenzüchtung ist dabei Bestandteil aller Produktlinien von der Stärke über Lignocellulose/Holz bis hin zu den Besonderen Inhaltsstoffen sowie im energetischen Bereich. Während Projekte zur Züchtung landwirtschaftlich genutzter Kulturpflanzen mit der Nutzungsrichtung nachwachsende Rohstoffe seit Bestehen der FNR zum festen Bestandteil der Forschungsförderung gehören, wurde ab 2006 auch die züchterische Verbesserung relevanter Baumarten als Forschungsaufgabe benannt. Aktuell werden 116 Züchtungsvorhaben mit rd. 28,2 Mio. € gefördert, davon 18 im Bereich schnellwachsender Baumarten in den Produktlinien Holz/Lignocellulose und Bioenergie mit rd. 6,6 Mio. €.

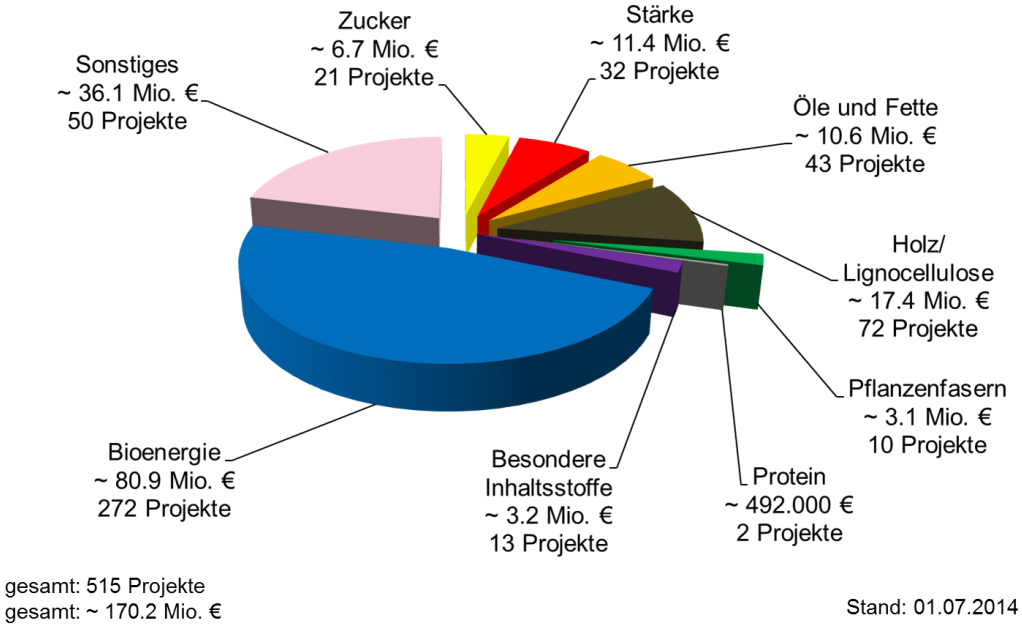


Abb. 1: Fördersumme laufender Projekte nach Produktlinien (Stand 01.07.2014)

Erste Fördermaßnahmen zu schnellwachsenden Baumarten in Rahmen der nachwachsenden Rohstoffe, vom Anbau bis zur Verwertung waren im Zeitraum von 1991 bis 2001 mit rd. 4 Mio. € zu verzeichnen.

Ab 2006 folgten erste Forschungsprojekte unter Einbeziehung von Sorten und zur Bereitstellung von Vermehrungsgut. Der Start des Verbundprojektes FastWOOD I „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb" erfolgte im Oktober 2008. FastWOOD stellt den Neubeginn der Züchtung bei schnellwachsenden Baumarten (Pappel, Weide, Robinie) in Deutschland dar. Gegenstand des Forschungsvorhabens ist die Schaffung von Voraussetzungen für einen großflächigen und wirtschaftlichen Anbau von Pappeln, Weiden und Robinien zur Produktion von Biomasse durch die Entwicklung und Bereitstellung von geprüften, in ihrer Leistungsfähigkeit und Widerstandskraft verbesserten Klonen, Klonmischungen und Nachkommen auch durch kontrollierte Kreuzungen. Im Zeitraum 2006 bis 2008 wurden eine ganze Reihe von Forschungsprojekten mit einem Fördervolumen von rd. 4 Mio. € zur Züchtungsforschung und Züchtung schnellwachsender Baumarten gefördert (Abb. 2).

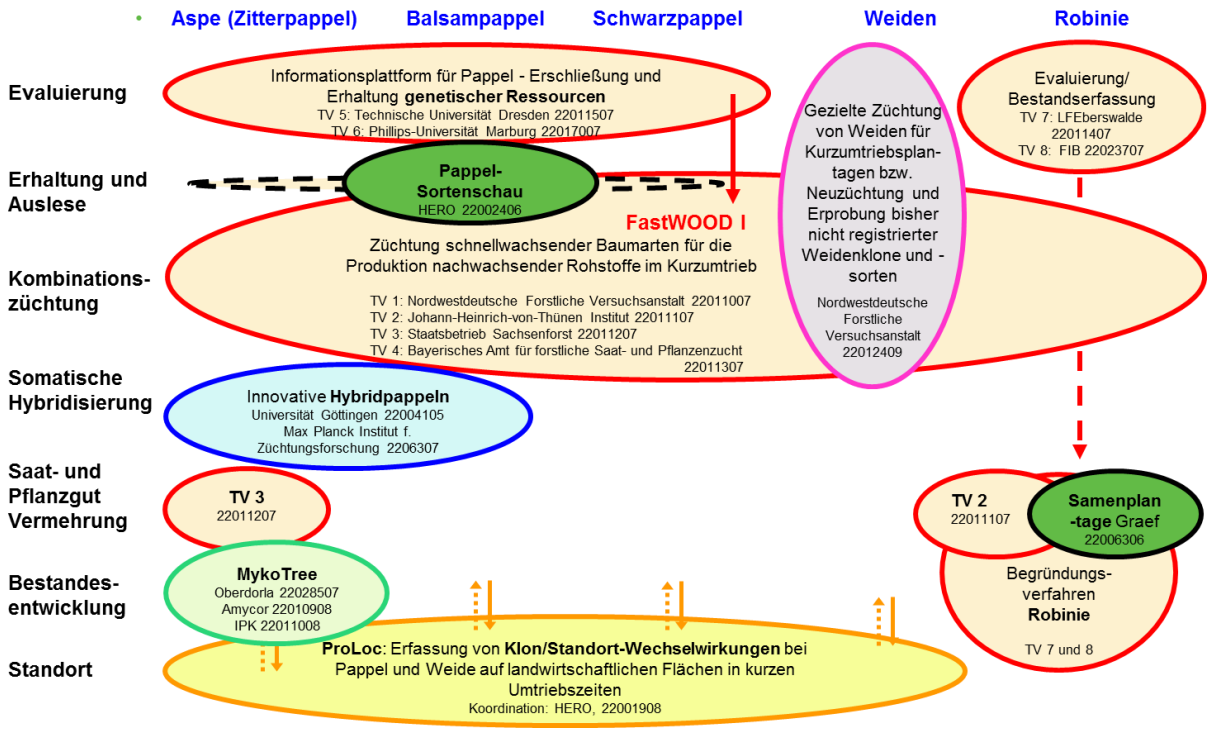


Abb. 2: Projektübersicht Züchtung schnellwachsender Baumarten, einschließlich Erzeugung von Saat- und Pflanzgut (Zeitraum 04/2006 bis 10/2008, Fördersumme rd. 4 Mio. €

An FastWOOD I schloss sich ab 2011 die zweite Förderphase, die jetzt ausläuft an. Parallel zu FastWOOD II, welches ein Fördervolumen von rd. 3,78 Mio. € aufweist wurden weitere Projekte zu Pappeln, Aspe, Weide und Robinie aber erstmals auch zur Douglasie aus dem Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe finanziert (Volumen 6,96 Mio. €):

- Verbundvorhaben: Züchtung schnellwachsender Baumarten der Gattungen Populus, Robinia und Salix für den Kurzumtrieb (FastWOOD II) (FKZ 22002511)
- SNP-Diagnose züchtungsrelevanter Eigenschaften von Salicaceaen (FKZ: 22013709)
- ZUEND - Züchtung neuer Energiepappeln für Deutschland (FKZ: 22014709)
- Züchtung neuer Biomasseklone der Weide durch intra- und interspezifische Kreuzung zur Gewinnung ertragreichen und trockenheits-toleranten Pflanzgutes mit hoher Rostpilzresistenz (FKZ: 22015011)
- Dendromax - Entwicklung der biotechnologischen Grundlagen und praxisnaher Anbauverfahren zur Steigerung der Dendromasseproduktion durch Züchtung und Massenvermehrung von Sorten ausgewählter Baumarten (FKZ: 22017009)
- Biotechnologische Erzeugung tetraploider Elternpflanzen von Pappel und Robinie mit dem Ziel ihrer Verwendung für die Züchtung leistungsfähiger triploider Klone für die Biomasseproduktion (FKZ: 22013409)
- Physiologische Untersuchungen zur photosynthetischen Leistungsfähigkeit und zur Wasser-nutzungseffizienz (WUE) von Leistungsklonen der Pappel im Hinblick auf unterschiedliche Ploidiestufen (FKZ: 22012510)
- Selektion trockentoleranter Robinien aus internationalen Herkünften für die Energieholz-erzeugung (FKZ: 22024011)

Da die Pflanzenzüchtung und insbesondere die Züchtung schnellwachsender Baumarten bzw. die Forstpflanzenzüchtung eine langwierige Angelegenheit ist, soll das Verbundvorhaben FastWOOD in einer dritten Förderphase fortgesetzt werden.

Damit das Förderprogramm dem Erkenntnisgewinn und Entwicklungen im Bereich der nachwachsenden Rohstoffe gerecht werden kann, werden Schwerpunkte bei den Forschungs- und Entwicklungsaufgaben nach Bedarf angepasst. Hinzuweisen ist in diesem Zusammenhang auch auf aktuelle Schwerpunktsetzungen unter http://www.fnr.de/projekte-foerderung/energie-und-klimafonds/foerderschwerpunkte/ .

Korreskondierender Autor:
Dr. Frithjof Oehme
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
OT Gülzow
Hofplatz 1
18276 Gülzow-Prüzen
f.oehme@fnr.de

Verbundvorhaben „FastWOOD“

Alwin Janßen, Christina Fey-Wagner

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Hann. Münden

Zusammenfassung

Das Verbundvorhaben „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD)“ setzt sich aus 8 Teilprojekten zusammen. In vier Teilprojekten werden neue Pappel- und Weidenklone über kontrollierte Kreuzungen für den Kurzumtrieb gezüchtet. Zusätzliche Untersuchungen hinsichtlich der Blattrostresistenz sowie zur Frost- und Trockenheitstoleranz werden durchgeführt. Genetische Untersuchungen und morphologische Beschreibungen der gezüchteten Pappel- und Weidenklone sollen die sichere Identifizierung ermöglichen.

In zwei Teilprojekten werden begleitende Forschungen zur Beurteilung und Optimierung wesentlicher physiologisch-anatomischer Eigenschaften des neu gezüchteten Materials und Genflussuntersuchungen an heimischen Schwarzpappeln durchgeführt. In zwei weiteren Teilprojekten wird ein Modellverfahren zur Optimierung der energetischen und stofflichen Nutzung von Robinie durch die Entwicklung von innovativen Bewirtschaftungsverfahren erarbeitet.

Eine Internetseite (www.fastwood.org) macht die Ergebnisse des Verbundvorhabens allen Interessierten zugänglich.

Stichworte: Züchtung, Pappel, Weide, Robinie, Kurzumtrieb, KUP

Abstract

Joint research project “FastWOOD”

The joint research project "Breeding of fast-growing tree species for the production of renewable resources in the short rotation coppices (FastWOOD)" consists of eight subprojects. New poplar and willow clones will be bred for short rotation coppice in four subprojects using controlled crosses. Additionally tests will be executed for leaf rust resistance, frost tolerance and drought resistance. Genetic studies and morphological descriptions allow identification of the new poplar and willows clones.

In two subprojects accompanying research is carried out to evaluate and optimize physiological and anatomical characteristics of the newly bred clones and gene flow of indigenous black poplars is analyzed. In two further subprojects a model process for optimized energy and material utilization of black locust will be developed by innovative management practices.

The results of the project are available at www.fastwood.org .

Keywords: breeding, poplar, willow, black locust, short rotation coppice, SRC

Einleitung

Nach einer Studie des Ölkonzerns Shell wird sich der Weltenergiebedarf bis zum Jahr 2050 weiterhin enorm erhöhen (ANONYMUS 2008). Während die fossilen Brennstoffe Öl und Gas etwa auf heutigem Niveau verbleiben, wird die Kohle als Energieträger deutlich zunehmen. Kernenergie spielt weltweit keine nennenswerte Rolle. Ihr Anteil wird sich von 5,8 % (2010) auf 4,9 % (2050) verringern. Der

Anteil der regenerativen Energien wird sich dagegen nach dieser Prognose deutlich von zurzeit 14,8 % auf 37 % im Jahr 2050 steigern. Der Anteil der Biomasse an der Primärenergieproduktion beträgt heute 9 % und soll im Jahr 2050 weltweit 14,9 % betragen (Abb. 1).

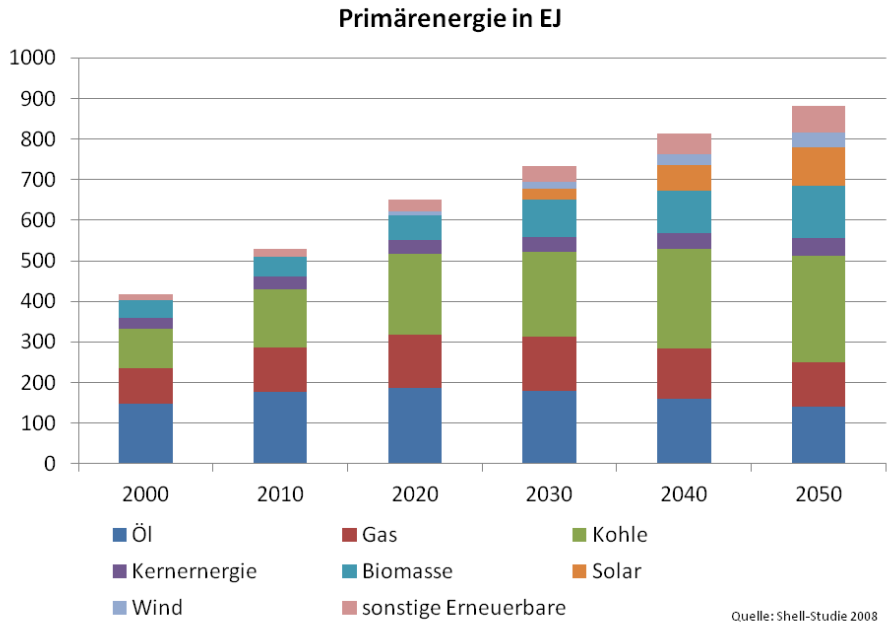


Abb. 1: Weltenergiebedarf nach einer Shell-Studie (Anonymus 2008)

Im Dezember 2008 hat sich die Europäische Union auf ein Richtlinienpaket für Klimaschutz und Energie geeinigt, welches ambitionierte Zielvorgaben zunächst bis 2020 enthält (häufig als "20-20-20-Ziele" bezeichnet).

Demnach gelten bis zum Jahr 2020 die folgenden europaweiten Vorgaben:

- 20 % weniger Treibhausgasemissionen als im Jahr 2005
- 20 % des Primärenergieverbrauchs soll aus erneuerbaren Energien erzeugt werden
- 20 % mehr Energieeffizienz

Die Bundesregierung hat ebenfalls anspruchsvolle Ausbauziele für erneuerbare Energien formuliert: Beim Gesamtenergieverbrauch sollen bis 2020 mindestens 18 % aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Bis 2050 soll sogar 60 % des deutschen Primärenergieverbrauchs aus regenerativen Quellen kommen (Anonymus 2010).

Eine Möglichkeit der Erzeugung regenerativer Energien ist die Nutzung von Biomasse. Es gibt unterschiedliche Biomassepfade: beispielsweise Biogaserzeugung aus Silomais, Biodieselgewinnung aus Raps oder Hackschnitzelnutzung aus Kurzumtriebsplantagen. Die Vorteile nachwachsender Rohstoffe gegenüber fossilen Energieträgern sind dabei vielfältig. So sind nachwachsende Rohstoffe weitgehend CO_2-neutral und verschärfen bei ihrer Nutzung nicht den Treibhauseffekt. Der Anbau von schnell wachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen kann zudem durch die erhöhte Bindung von CO_2 auch im Boden einen erheblichen Beitrag zur Entlastung der Umwelt leisten.

Nachwachsende Rohstoffe eröffnen Möglichkeiten zur Verwirklichung einer Kreislaufwirtschaft. Die Nutzung von Produkten auf Basis nachwachsender Rohstoffe 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 Anbaufläche nur ein Teil der notwendigen Energieerzeugung durch Biomasse erfolgen.

Im Vergleich mit landwirtschaftlich erzeugten, nachwachsenden Rohstoffen wie Mais, Getreide oder Raps, die in Deutschland für die Energieumwandlung bereits großräumig auf einer Fläche von über 2,1 Mio. Hektar angebaut werden, weisen forstlich erzeugte nachwachsende Rohstoffe (Holzbiomasse) auf Kurzumtriebsflächen eine sehr gute Energieumwandlungsrate auf. Die CO_2-Vermeidungskosten von Hackschnitzeln aus Kurzumtriebsflächen sind im Vergleich zu anderen Biomassepfaden, insbesondere gegenüber den Biotreibstoffen, sehr niedrig. Gleichzeitig ist die Vermeidungsleistung von CO_2 die höchste aller Biomassepfade, wie in Abbildung 2 zu sehen ist (ANONYMUS 2007). Je nach Verwendung der Hackschnitzel (Mitverbrennung in Kohlekraftwerken bis hin zum Einsatz in Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung) werden je Hektar Anbaufläche zwischen 10 und 18 Tonnen CO_2 eingespart. Mit den anderen Biomassepfaden kann nur eine Einsparung zwischen 2 und 8 Tonnen CO_2 je Hektar erreicht werden.

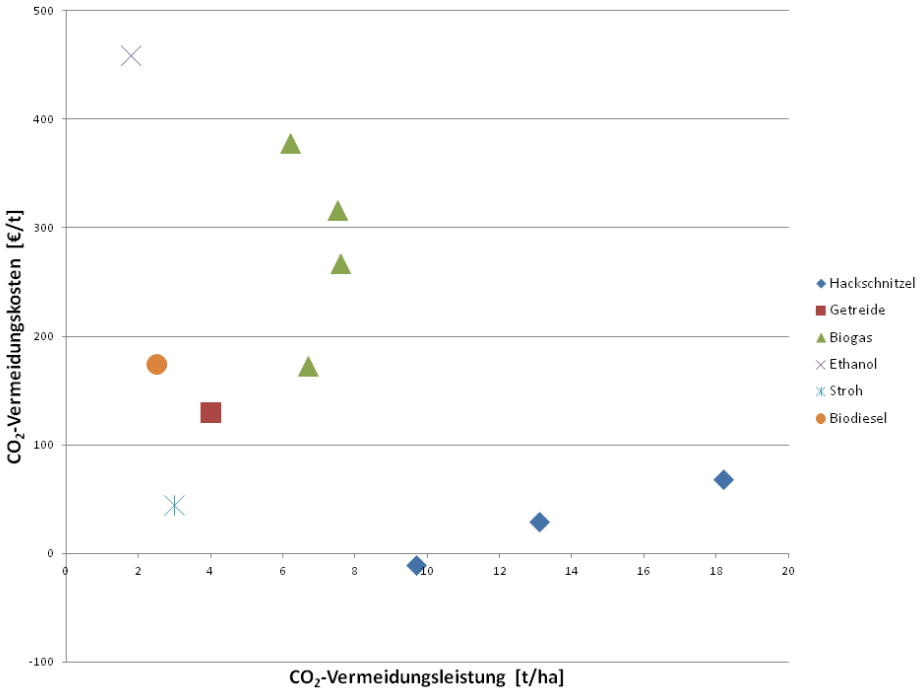


Abb. 2: Vergleich der CO_2-Vermeidungsleistung mit den CO_2-Vermeidungskosten verschiedener Biomassepfade (aus Anonymus 2007)

Kurzumtriebsplantagen können nach einer Studie des Naturschutzbundes Deutschland e.V. (NABU) die Biodiversität im Vergleich zu landwirtschaftlichen Nutzungen, insbesondere zu intensiver ackerbaulicher Nutzung, erhöhen (NABU 2008). Allerdings müssen für einen optimalen Gesamtnutzen bestimmte Anforderungen erfüllt werden. Das Bundesamt für Naturschutz hat hierfür Anbauempfehlungen herausgegeben (BfN 2010).

Leider steht bei Pappel, der neben Weide wichtigsten Gattung für den Kurzumtrieb, bisher nur eine begrenzte Anzahl von geeigneten Klonen zur Verfügung. Momentan werden hautsächlich die Klone 'Max 1', 'Max 3', 'Max 4', 'Hybride 275', 'Muhle Larsen' und 'Androscoggin' auf Kurzumtriebsflächen angepflanzt. Im Winter 2010/11 wurden 9,88 Millionen Steckhölzer geschnitten und in Verkehr gebracht (BLE 2011). Daran hatten die oben genannten Klone einen Anteil von 92 Prozent. Alle aufgeführten Klone wurden zudem für den Anbau im Wald gezüchtet, auch wenn eine Verwendung

im Kurzumtrieb möglich ist; eine spezielle Züchtung für den Anbau in kurzen Umtrieben fand in Deutschland bisher nur in Ansätzen statt.

Für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen gelten die Vorschriften des Forstvermehrungsgutgesetzes (Anonymus 2002) und der zugehörigen Durchführungsverordnungen. Im Gegensatz zur Weide unterliegt die Gattung Pappel diesen Rechtsvorschriften. Eine vegetative Vermehrung von Pappeln darf in Deutschland nur dann erfolgen, wenn die jeweiligen Pappelklone in der Kategorie „geprüftes Vermehrungsgut“ zugelassen sind. Mutterquartiere zur Erzeugung von Vermehrungsgut müssen zudem bei den zuständigen Landesstellen registriert sein.

Verbundvorhaben FastWOOD

In der Tabelle 1 sind die an dem Verbundvorhaben FastWOOD beteiligten Projektpartner und ihre Aufgaben aufgelistet.

Tabelle 1: Liste der Projektpartner mit den zugehörigen Aufgaben im Rahmen des Projektes FastWOOD

Projektpartner	Aufgaben
1 - Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung Waldgenressourcen Dr. Alwin Janßen	Koordination des Verbundvorhabens Evaluierung, Züchtung, genetische Charakterisierung sowie Sortenprüfung auf Leistung und Resistenz von Schwarz- und Balsampappeln und Weiden
2 - Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Forstgenetik Dr. Mirko Liesebach	Züchtung, genetische Charakterisierung sowie Potential- und Risikoabschätzung bei Weiß- und Zitterpappeln (Sektion *Populus*) und Robinie
3 - Staatsbetrieb Sachsenforst, Referat Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung Dr. Heino Wolf	Evaluierung, Züchtung und Charakterisierung von Pappeln (Sektion *Populus*) und Weiden unter besonderer Berücksichtigung abiotischer Faktoren
4 - Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP) Randolf Schirmer	Sortenprüfung und Anbaueignung vorhandener und neu gezüchteter Klone von Schwarz- und Balsampappel
5 - Technische Universität Dresden, Institut für Forstbotanik und -zoologie Prof. Dr. Doris Krabel	Erschließung und Erhaltung genetischer Ressourcen von Baumarten für den landwirtschaftlichen Anbau sowie physiologisch/anatomische Charakterisierung
6 - Philipps-Universität Marburg, Fachbereich Biologie, Naturschutzbiologie Dr. Ronald Bialozyt	Identifizierung, Kartierung und Genflussuntersuchungen von Schwarzpappeln in der Landschaft
7 - Landesforstanstalt Eberswalde (LFE) Dr. habil. Ralf Kätzel 8 - Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB) Dr. Dirk Knoche	Modellprojekt zur Entwicklung innovativer Bewirtschaftungsverfahren für Robinie (*Robinia pseudoacacia*) zur optimierten energetischen und stofflichen Holznutzung

Die ersten vier Teilprojekte haben das Ziel, neue Pappel- und Weidensorten für den Kurzumtrieb zu züchten und nach den Vorgaben des Forstvermehrungsgutgesetzes zu prüfen. Züchtungsziele sind vor allem

- schnelles und hohes Wachstum,
- gute Bewurzelungsfähigkeit der Steckhölzer,
- gute Stockausschlagsfähigkeit (bei Aspen ersatzweise Wurzelbrut),

- hohe Dichtstandstoleranz,
- lange Lebensdauer der Wurzelstöcke,
- hohe Toleranz gegen Blattrostpilze,
- hohe Vitalität und Viabilität,
- spezifische Eigenschaften (u. a. Inhaltsstoffe, Faserlänge, Ligninanteil) und
- hohe Toleranz gegenüber abiotischen Stressfaktoren.

Nach kontrollierten Kreuzungen vor allem der Arten *Populus nigra*, *P. deltoides*, *P. trichocarpa* und *P. maximowiczii* (Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca*) sowie *P. tremula* und *P. tremuloides* (Sektion *Populus*) werden die angezogenen Sämlinge vorselektiert und in Vorprüfungen auf ihre grundsätzliche Eignung in Bezug auf Bewurzelungsfähigkeit, Wuchsleistungen, Stockausschlagfähigkeit und Blattrosttoleranz getestet. Aus den Aufnahmen älterer Versuchsflächen sollen ebenfalls Pappelklone selektiert werden, die im Kurzumtrieb verwendet werden können. Die verklonten Selektionen werden mit Mikrosatellitenmarkern genetisch eindeutig charakterisiert, um eine sichere Identifikation zu ermöglichen. Anschließend werden mit diesen Klonen Versuchsflächen angelegt. Nach Auswertung der Versuchsflächenaufnahmen ist das Endziel die Zulassung bzw. Bereitstellung für den Kurzumtrieb geeigneter Pappel- und Weidenklone.

Die Teilprojekte 5 und 6 unterstützen mit zusätzlichen Untersuchungen die Züchtungsarbeiten. Im Teilprojekt 5 werden physiologisch-anatomische Untersuchungen mit dem Ziel der Charakterisierung der zellbiologischen Grundlagen zur züchterischen Verbesserung der Physiologie der neuen Sorten sowie holzchemische Untersuchungen vor dem Hintergrund der Verwertbarkeit des Rohstoffes Holz sowohl chemisch/stofflich als auch thermisch/energetisch durchgeführt. Zudem werden in Sukzessionsflächen natürlich entstandene Pappeln auf ihre mögliche Eignung im Kurzumtrieb oder als Kreuzungspartner selektiert. Das Teilprojekt 6 entwickelt für die sichere genetische Identifizierung allelische Leitern und erstellt Simmulationsmodelle zur Untersuchung von Genfluss- und Introgressionsereignissen zwischen Kurzumtriebsplantagen und lokalen einheimischen Populationen der Pappeln.

Die Teilprojekte 7 und 8 wollen das in Brandenburg vorhandene stoffliche und durch künftige, niederwaldartige Betriebssysteme energetisch nutzbare Potenzial der Robinienbestände ermitteln und Modellbestände für eine vereinfachte und effiziente Saatgutgewinnung (Samenplantagen) sowie für eine ertragsreichere Bewirtschaftung und erfolgversprechende Verjüngung der in Brandenburg vorhandenen Robinienbestände entwickeln.

In den nachfolgenden Beiträgen werden die einzelnen Teilprojekte näher vorgestellt.

Die Förderung des Verbundvorhabens FastWOOD erfolgte durch finanzielle Unterstützung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) im Rahmen des Förderprogramms „Nachwachsende Rohstoffe“.

Literatur

Anonymus, 2002: Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG). Bundesgesetzblatt I, 1658-1666.

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

Anonymus, 2008: Shell energy scenarios to 2050. 4th edition, 52 S. (http://www-static.shell.com/static/public/downloads/brochures/corporate_pkg/scenarios/shell_energy_scenarios_2050.pdf)

Anonymus, 2010: Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Beschluss Bundesregierung , 28.09.2010, 40 S. http://www.bundesregierung.de/nsc_true/Content/DE/StatischeSeiten/Breg/Energiekonzept/energiekonzept-final,property=publicationFile.pdf/energiekonzept-final - 20.10.2011

BLE [Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung], 2011: Erhebung zur Versorgungssituation von forstlichem Vermehrungsgut im Bundesgebiet (Erfassungszeitraum 01.07.2010 – 30.06.2011), 83 S.

BfN [Bundesamt für Naturschutz], 2010 : Energieholzanbau auf Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen: Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. Anbauempfehlungen und Empfehlungen des Bundesmates für Naturschutz, Leipzig, 18 S. (http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/bfn_energieholzanbau_landwirtschaftliche_flaechen.pdf)

NABU [Naturschutzbund Deutschland e. V.], 2008: Energieholzproduktion in der Landwirtschaft – Chancen und Risiken aus Sicht des Naturschutzes. Studie des Naturschutzbundes Deutschland, 70 S. (http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/nabu-studie_energieholz.pdf)

Korreskondierender Autor:
Dr. Alwin Janßen
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Straße 6
34346 Hann. Münden
alwin.janssen@nw-fva.de

Potenziale von Aspe im Kurzumtrieb

Volker Schneck[1], Mirko Liesebach[2]

[1]Thünen-Institut für Forstgenetik, Waldsieversdorf
[2]Thünen-Institut für Forstgenetik, Großhansdorf

Zusammenfassung

Aspen oder Zitter-Pappeln (*Populus tremula, P. tremuloides*) gehören wie die Silber-Pappel (*P. alba*) und weitere asiatische und nordamerikanische Arten zur Sektion *Populus* (Weiß- und Zitter-Pappeln). Die Pappeln der Sektion *Populus* haben einen von Schwarz- und Balsam-Pappel abweichenden Wuchsrhythmus, so kulminieren die Wachstumsparameter etwas später. Dafür tolerieren sie eine größere Standortbreite, d. h. sie gedeihen auch noch auf sandigen nährstoffarmen und trockenen Böden in den subkontinentalen Klimabereichen Deutschlands.

Seit den 1980er Jahren begann man die Aspen auch hinsichtlich ihrer Eignung im Kurzumtrieb zu prüfen. In entsprechenden Versuchen produzierte die Aspe im 10-jährigen Umtrieb um 10 t_{atro}/ha und Jahr an oberirdischer Holzbiomasse. Dabei schnitten die Hybridaspen aus Kreuzungen zwischen Europäischer und Amerikanischer Aspe meist besser ab als die Nachkommenschaften der reinen Europäischen Aspe.

Im Rahmen der von Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) geförderten Projekte „FastWOOD“ und „FastWOOD 2“ erfolgt auch eine intensive Züchtungsarbeit zur Verbesserung von Wuchsleistung und Resistenz von Aspen. Entsprechend eines für diese Züchtung erarbeiteten Konzepts wurden bisher 140 Plusbäume verschiedener Arten der Sektion *Populus* in älteren Versuchsflächen, noch vorhandenen Sammlungen und natürlichen Population selektiert und zum Teil für gelenkte Kreuzungen verwendet. Bis jetzt wurden 18 Nachkommenschaftsprüfungen mit insgesamt ca. 200 zu prüfenden Familien angelegt. Bereits die Ergebnisse der ersten Aufnahmen dieser Flächen belegen erhebliche Unterschiede in der Wuchsleistung, der Qualität und im Resistenzverhalten zwischen den Nachkommenschaften und den Standorten. Auf den ältesten Flächen erreichten Nachkommenschaften aus Kreuzungen zwischen Europäischen und Amerikanischen Aspen (Hybridaspen) nach vier Jahren Biomasseleistungen von 3-4,5 t_{atro}/(ha*a) und übertrafen damit den Standard und die Familien aus reinen Europäischen Aspen deutlich.

Bislang konnten drei Plusbäume als Familieneltern zweier Hybrid-Nachkommenschaften und vier Klone von Hybridaspen zur Zulassung Ausgangsmaterial für die Erzeugung von Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“ vorgeschlagen werden.

Schlüsselworte: Pappel, Züchtung, KUP, Hybridaspe

Abstract

Potential capacity of aspen in short rotation coppices

Aspen (*Populus tremula, P. tremuloides*) as well as white poplar (*P. alba*) belong to the poplar section *Populus*. Species of this section are different in growth compared to black and balsam poplars. Height and volume growth reach their highest annual values later. On the other hand aspen can grow well at poorer and dryer sandy sites in more continental influenced climate especially in the eastern part of Germany.

In the late 20th century first tests started to plant aspen for short rotation cropping. Different families of aspen produced up to 10 t dry matter per ha and year in such plantations after 10 years of growing. Hybrids between European and American aspen grew better than families of pure European aspen.

Since six years an intensive breeding work is carried out to improve the growth performance and disease resistance of aspen in Germany. This work is founded by the Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL) and the specialist agency renewable resources e.V. (FNR) within the frame of the projects “FastWOOD” and “FastWOOD 2”. According to a special scheme for breeding of aspen 140 plus trees of different species (mainly *P. tremula, P. × canescens* and *P. tremuloides*) were selected in older trials, in clone collection and in natural populations until now. A number of these trees were used for controlled crosses. As a result of this work 18 progenies trials were established with about 200 families in total. The first results document large differences in growth, quality and resistance between the various progenies but also between the trial sites. After 4 years hybrid families produced 3 to 4.5 t dry matter per ha and year at the oldest sites. This was significantly more compared to the control and other families of pure European aspen.

Until now 3 parents of 2 hybrid families and 4 clones of hybrid aspen were approved as basic material for the production of reproductive material of the category “tested” according the legal regulations in Germany.

Keywords: Poplar, breeding, SRC, hybid aspen

Einleitung

Aspen und Weiß-Pappeln bilden die Pappelsektion *Populus*. Wie die meisten anderen Arten der Gattung *Populus* zählen auch die Aspen und Weiß-Pappeln zu den schnellwachsenden Baumarten. Ebenso verfügen sie über die Fähigkeit nach dem Abschneiden aus dem Stock wieder auszutreiben. Im Unterschied zu Balsam- und Schwarz-Pappeln sind Pappeln der Sektion *Populus* in der Lage Wurzelbrut zu bilden. Allerdings bewurzeln sich Steckhölzer von Arten dieser Sektion nur schlecht, so dass es nicht möglich ist, Bestände mittels unbewurzelter Steckhölzer zu begründen. Deshalb sind für die Anlage von Kulturen bewurzelte Pflanzen erforderlich. Dies ist auch ein Grund dafür, weshalb Aspen im ersten Jahr nach der Pflanzung im Vergleich zu den Arten anderer Sektionen ein geringeres Wachstum aufweisen.

Verglichen mit Balsam- und Schwarzpappeln stellen die meisten Arten der Sektion *Populus* geringere Anforderungen an die Standortgüte. So gedeihen sie auch auf trockenen und schlecht nährstoffversorgten Standorten. Auch kühleres und stärker kontinental beeinflusstes Klima wird toleriert. Mit diesen Eigenschaften sind Arten dieser Sektion besonders für den Anbau auf Grenzertragsböden der Landwirtschaft geeignet. Von den Arten der Sektion *Populus* sind für die Züchtung und den Anbau in Mitteleuropa vor allem die Europäische Aspe (*Populus tremula*), die Amerikanische Aspe (*P. tremuloides*), die Weiß-Pappel (*P. alba*) und die Grau-Pappel (*P.* × *canescens*) von Interesse.

Mit der züchterischen Bearbeitung der Aspen und Weiß-Pappeln wurde in Deutschland bereits in den 1930er Jahren begonnen. Bereits damals konnte beobachtet werden, das Nachkommenschaften von Artkreuzungen (z. B. *P. tremula* × *P. tremuloides* oder *P. tremula* × *P. alba*) oft ein besonders rasches Jugendwachstum aufwiesen (Wettstein-Westerheim 1933). Die hervorragende und die reinen Elternarten oft übertreffende Wuchsleistung der Hybriden zwischen Europäischer und Amerikanischer Aspe wurde später immer wieder beobachtet und für Zuchtprogramme genutzt (z. B. Einspahr and Benson 1964, Melchior 1985, Yu et al. 2001, Wühlisch 2006). Nach einer Zusammenstellung von Joachim (1991) erreichten Familien von Hybridaspen in vielen Untersuchungen deutliche Mehrleistungen beim Höhen- und Volumenwachstum verglichen mit reinen Europäischen Aspen. Aber auch Programme zur Erzeugung und Nutzung intraspezifischer Hybriden der Europäischen Aspe wurden realisiert (Schönbach und Scholz 1972, Schneck 1985, Wolf und Brandt 1995). In einer Nachkommenschaftsprüfung mit Familien aus Kreuzungen zwischen Auslesebäumen Europäischer

Aspe übertrafen die besten Familien den jeweiligen Versuchsdurchschnitt um bis zu 10 % beim Höhenwachstum nach 33 Jahren (Wolf und Brandt 1995).

Aufgrund ihres schnellen Wachstums und der Fähigkeit zum Wiederaustrieb aus dem Stock und der Wurzel eigenen sich auch die Arten der Sektion *Populus* für die Erzeugung von Biomasse im Kurzumtrieb. Die Eignung von Hybridaspen für diese spezielle Anbauform wurde in vorangegangenen Untersuchungen bereits gezeigt (Liesebach et al. 1999). So erzielten Arthybriden nach zweimal fünfjährigem Umtrieb zwischen 5,4 und 8,2 t_{atro}/ha und Jahr.

Diese vorliegenden positiven Ergebnisse waren ausschlaggebend dafür, dass sich im Rahmen der Verbundprojekte FastWOOD und FastWOOD 2 seit Ende 2008 jeweils ein Teilprojekt vorrangig mit der Züchtung, genetischen Charakterisierung sowie Potential- und Risikoabschätzung bei Pappeln der Sektion *Populus* befasst (Liesebach et al. 2012).

Das Ziel des Teilvorhabens war es, die Basis von speziell für die Biomasseerzeugung auf Kurzumtriebsplantagen geeignetem Ausgangsmaterial bei Pappeln der Sektion *Populus* zu erweitern. Aus diesem Grunde wurde anhand der vorliegenden Erfahrungen und Ergebnisse aus den Programmen der Vergangenheit eine Züchtungskonzeption speziell für Aspen und Weiß-Pappel erarbeiten (Abb. 1). Es können zwei Wege bei der züchterischen Bearbeitung begangen werden. Zum einen können Methoden der Kreuzungszüchtung angewandt werden und zum anderen ist es aufgrund der Tatsache, dass sich Aspen und Weiß-Pappeln vegetativ vermehren lassen, möglich, leistungsfähige Klone zu züchten und zu reproduzieren. Die Grundlage für beide Wege stellt die Auslese geeigneter Plusbäume dar. Diese Auslese kann klassisch in Wildbeständen erfolgen. Wenn bereits ältere Versuchsflächen vorliegen, so ist es sinnvoll auch diese für die Plusbaumauslese zu nutzen. Hier können vor allem Hybridaspen für den Aufbau von Klonen ausgelesen werden. Die selektierten Plusbäume werden kontrolliert gekreuzt oder falls der Weg der Klonzüchtung beschritten werden soll vegetativ vermehrt. Gekreuzt wird sowohl innerhalb der Arten als auch zwischen den Arten. Insbesondere die Hybriden zwischen Europäischer und Amerikanischer Aspe sind wegen ihrer oft hervorragenden Wuchsleistung von Interesse. Im Anschluss an die Kreuzungsarbeiten erfolgt die Anlage von Nachkommenschaftsprüfungen, deren endgültige Auswertung meist nach 10-15 Jahren

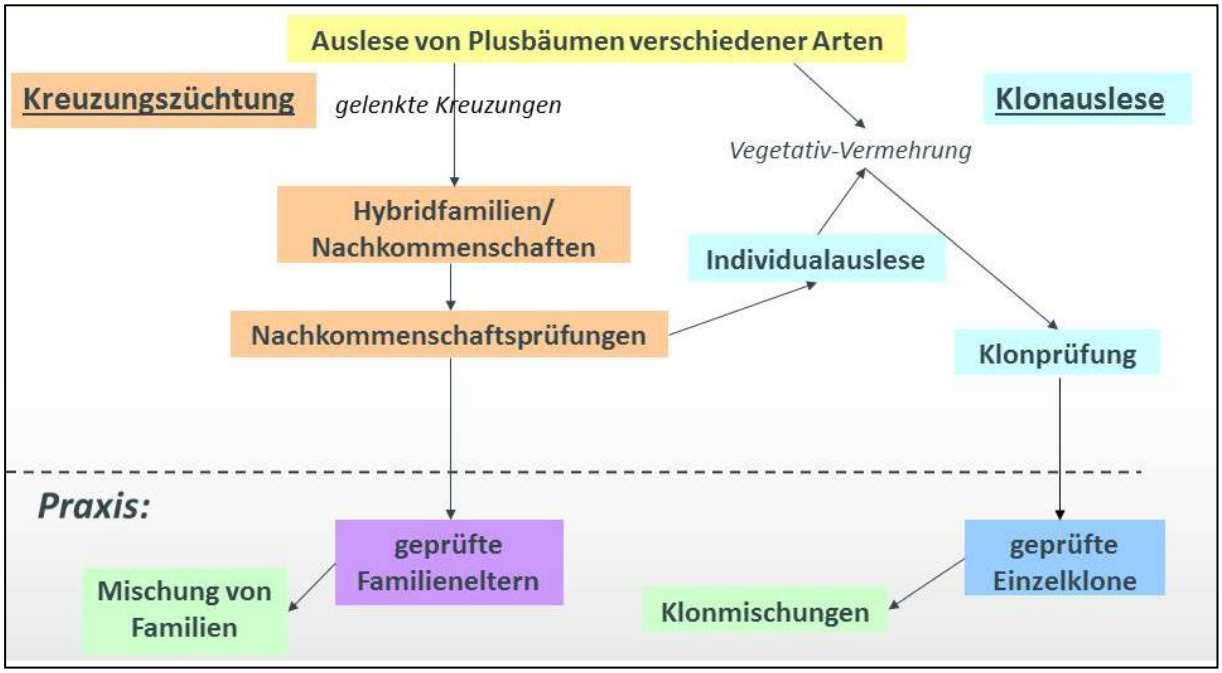


Abb. 1: Züchtungsschema

erfolgt. Ziel dieser Prüfungen ist es, die Elternbäume der besten Nachkommenschaften als Ausgangsmaterial (Familieneltern) für die Erzeugung von Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“ entsprechend den gesetzlichen Regelungen zuzulassen. Für die Erzeugung von Saatgut für die forstliche Praxis können diese Bäume dann wiederholt kontrolliert gekreuzt werden oder in einem entsprechenden Design ausgepflanzt und nach freier Abblühte beerntet werden.

Neben der Entwicklung der Zuchtkonzeption wurden die folgenden weiteren Themen bearbeitet: Aufnahme und Auswertung älterer Versuchsflächen, Aufbau einer Zuchtpopulation, Durchführung von Kreuzungsarbeiten, die vegetative Vermehrung guter Einzelbäume, Anlage von Nachkommenschafts- und Klonprüfungen, und die Erarbeitung von Zulassungsvorschlägen für Ausgangsmaterial für Vermehrungsgut der Kategorie „Geprüft“. In einem eigenen Arbeitspaket wurden Untersuchungen zur Anfälligkeit gegenüber *Melampsora*-Blattrost durchgeführt (Grimrath et al. 2015).

Material und Methoden

Voraussetzung für die Planung und Durchführung aller Arbeiten war das in der Einleitung beschriebene Züchtungskonzept. Wichtige Voraussetzung für die Durchführung von Kreuzungsarbeiten ist die Selektion geeigneter Elternbäume. Seit 2008 wurden insgesamt 76 weibliche und 64 männliche Bäume ausgelesen (Tabelle 1). Dabei lag der Schwerpunkt in der Auslese von Bäumen der Europäische Aspe und der Hybridaspe. Neben der Selektion neuer Plusbäume in älteren Nachkommenschaftsprüfungen und im Wald wurde auch auf Elternbäume zurückgegriffen, die bereits in früheren Kreuzungsserien verwendet wurden. Hybridaspen wurden in älteren Versuchsflächen des Instituts selektiert. Einige von ihnen wurden auch für den Aufbau von Klonen verwendet. Bei den Amerikanischen Aspen wurde von 11 Bäumen nur Pollen verwendet, der aus den USA und Kanada bezogen wurde. Die übrigen 10 Plusbäume befinden sich in den Klonsammlungen des Instituts. Bewusst wurden auch Auslesebäume der Grau-Pappel sowohl für die Kreuzungsarbeiten als auch für die Verklonung selektiert, da diese über eine ausgesprochene Standorttoleranz verfügen und häufig hohe Biomasseleistungen erbringen bei allerdings meist unbefriedigender Stamm- und Kronenform.

Tabelle 1: Zusammenfassung der seit 2008 ausgelesenen Bäume

Art	weiblich	männlich
P. tremula	34	14
P. tremuloides	3	18
P. tremula × *P. tremuloides*	30	17
P. ×canescens	7	9
P. ×canescens × *P. tremuloides*	-	4
P. alba	2	-
P. tomentosa	-	2

Mit den ausgelesenen Elternbäumen wurden bisher in sechs Jahren gelenkte Kreuzungen durchgeführt. Dafür wurden meist im Februar und März zuerst Zweige mit männlichen Blütenknospen im Gewächshaus zwecks Pollengewinnung aufgestellt (Abb. 2). Der Pollen wurde kurzfristig im Exsikkator gelagert. Pollen der nicht im selben Jahr für die Bestäubung benötigt wurde, wurde unter Vakuum in Glasröhrchen eingeschweißt und bei -18 °C gelagert. Dieser Pollen behält seine Lebensfähigkeit für mehrere Jahre. Nach der Pollenextraktion wurden die weiblichen Blütenzweige geerntet und in Isolierkabinen im Gewächshaus in mit Wasser gefüllten Gefäßen aufgestellt (Abb. 2). Nach der Bestäubung konnte bereits nach 10-20 Tagen die Samenwolle geerntet werden. Die Samen wurden dann entweder gleich im Gewächshaus in Saatschalen ausgesät und die Pflanzen später pikiert oder

unter Vakuum in Glasröhrchen eingeschweißt und bei -18 °C eingelagert. Bisher wurden in den sechs Jahren 265 Kreuzungen realisiert. Davon waren 62 % erfolgreich, was bedeutet, dass von 164 Familien Saatgut erhalten wurde (Tabelle 2). Dabei traten deutliche Unterschiede zwischen den Jahren auf. In Jahren mit weniger Kombinationen war der Kreuzungserfolg besser. Die jährlichen Schwankungen haben ihre Ursachen

- in der Winterwitterung: ungünstig sind zu milde Winter und starke Temperaturschwankungen,
- dem teilweise starken Insektenbefall der weiblichen Blüten,
- Probleme mit der Qualität bei gelagertem Pollen und
- beim Pollen einiger männlicher Partner (Inkompatibilität v. a. Grau-Pappeln).

Abb. 2: Zweige mit männlichen Blütenkätzchen (links), Bestäubung der weiblichen Blüten (Mitte), reife Fruchtstände (rechts)

Tabelle 2: Im Rahmen der Projekte FastWOOD und FastWOOD 2 realisierte Kreuzungen innerhalb der Sektion *Populus*

Jahr	Kreuzungen gesamt	Kreuzungen erfolgreich	Anteil erfolgreich
2009	32	28	87,5 %
2010	50	30	60,0 %
2011	37	26	70,3 %
2012	54	22	40,7 %
2013	51	28	54,9 %
2014	41	30	73,2 %

Mit den Nachkommenschaften aus den erfolgreichen Kreuzungen wurden von 2010 bis 2014 insgesamt 18 Nachkommenschaftsprüfungen angelegt. Auf den meisten Flächen wurden zwischen 20 und 40 Prüfglieder in 4 oder 5 Wiederholungen ausgepflanzt. Die Pflanzverbände liegen zwischen 2,0 x 0,75 m und 2,0 x 2,0 m, wobei in den letzten beiden Jahren meist ein Verband von 2,0 x 1,5 m gewählt wurde. Die daraus resultierende Pflanzendichte von 3333 Pflanzen/ha gestattet es die erste Rotation auszudehnen. So kann dem speziellen Wuchsverhalten der Aspen Rechnung getragen werden und es ist möglich, während des ersten Umtriebs auch Stammholz für eine stoffliche Nutzung zu produzieren.

Da die Ergebnisse der Nachkommenschaftsprüfung von 2010 später ausführlicher dargestellt werden, folgen einige weitere Erläuterungen zu den drei Versuchsflächen dieser Prüfung (Tabelle 3). Die Versuche stocken auf qualitativ verschiedenen Standorten. Der Pflanzverband beträgt jeweils

2,0 x 0,75 m und es wurden 40 Pflanzen je Parzelle ausgepflanzt. Die Versuche in Thammenhain und Trenthorst waren von Anfang an gezäunt. In Altlandsberg erfolgte der Zaunbau erst eineinhalb Jahre nach der Pflanzung. Gepflanzt wurden einjährige Containerpflanzen. Alle Versuchsflächen wurden zuvor als Ackerland genutzt. Vor der Pflanzung erfolgte eine Bodenbearbeitung aber keine Herbizidbehandlung. Im ersten und teilweise auch im zweiten Jahr wurde auf allen Flächen eine einmalige Pflegemaßnahme (Unkrautmahd) durchgeführt. Messungen (Höhe, später auch Brusthöhendurchmesser = BHD) wurden jährlich vorgenommen. Die Berechung der Biomasseleistung auf der Fläche Thammenhain erfolgte anhand der gemessen Durchmesser in Brusthöhe mittels einer Formel, die an zwei- und dreijährigen Aufwüchsen verschiedener Aspen- und Grau-Pappelklone in einem Mutterquartier ermittelt wurde. Für die Darstellung der Ergebnisse wurden nur die auf allen drei Flächen vertretenen Prüfglieder verwendet. Als Kontrolle dient eine Nachkommenschaft eines polnischen Bestandes („Bialystok“).

Tabelle 3: Versuchsflächen der Nachkommenschaftsprüfung von 2010

Ort	Bundesland	Bodenart	Ackerzahl	Prüfglieder
Altlandsberg	Brandenburg	Sand	28	30
Thammenhain	Sachsen	sandiger Lehm	48	27
Trenthorst	Schleswig-Holstein	Lehm	58	28

Tabelle 4: Ältere Versuchsflächen, die im Rahmen des Projekts ausgewertet wurden

Ort	Bundesland	Bodenart	Bodentyp	Prüfglieder
		Nachkommenschaftsprüfungen		
Eutin	Schleswig-Holstein	anlehmiger Sand (Moor)	Gley	30
Lembeck	Nordrhein-Westfalen	anlehmiger Sand	Gley	26
Husum	Schleswig-Holstein	Sand	Braunerde-Podsol	30
Danndorf	Niedersachsen	Sand (Moor)	Anmoor-Gley	30
Warendorf	Nordrhein-Westfalen	Sand	(Podsol)-Gley	30
Paderborn	Nordrhein-Westfalen	lehmiger Schluff	Pseudogley - Braunerde	29
Wesel	Nordrhein-Westfalen	schluffiger Sand	Gley	28
		Klonprüfungen		
Iloo	Schleswig-Holstein	lehmiger Sand	Gley	18
Vreden	Nordrhein-Westfalen	Sand	Braunerde	18
Trenthorst	Schleswig-Holstein	lehmiger Ton		18

Weiterhin wurden auch ältere Versuchsflächen, die vor 2008 angelegt wurden aufgenommen und ausgewertet. Es handelt sich dabei um sieben Nachkommenschaftsprüfung und drei Klonprüfungen (Tabelle 4). In den Nachkommenschaftsprüfungen wurden 13 Familien aus der Kombination *P. tremula* ×*P. grandidentata*, 11 Familien von Hybridaspe (*P. tremula* × *P. tremuloides*), 3 Familien reine *P. grandidentata*, und je eine Familie reine *P. tremula*, reine *P. tremuloides* sowie aus der Kombination *P. tremuloides* × *P. grandidentata* ausgepflanzt. 1978 erfolgte die Anlage der Versuchsflächen im Verband 4 x 4 m (einmal 3,7 x 3,7 m) in Parzellen mit 4 Pflanzen in 4 Wiederholungen (zweimal nur 3 Wiederholungen).

In den Klonprüfungen wurden 12 Klone der Hybridaspe (*P. tremula* × *P. tremuloides*) und 2 Klone reine Europäische Aspe zusammen mit drei Nachkommenschaften von *P. tremula* var. *davidiana* getestet. Die Versuchsflächen wurden 1990 mit 1,5-jährigen Pflanzen im Verband 4 x 4 m mit 4 Pflanzen je Parzelle in 3 Wiederholungen angelegt.

Ergebnisse

Nachkommenschaftsprüfung 1978 – Zulassung von Familieneltern

Die Nachkommenschaftsprüfungen von 1978 wurden umfassend durch Eichel (2011) ausgewertet. Dabei wurden für das Höhen- und Durchmesserwachstum zu den verschiedenen Aufnahmeterminen signifikante Unterschiede zwischen den Nachkommenschaften und den Versuchsflächen nachgewiesen. Die meisten der Hybridaspenfamilien zeigten zu allen Aufnahmeterminen sehr gute und deutlich bessere Wuchsleistungen als die anderen Nachkommenschaften. Mit zwei Ausnahmen erreichten sie beispielsweise im Alter 7 zwischen 150 % und 175 % der Höhenwuchsleistung der Nachkommenschaft reiner Europäischer Aspe (Abb. 3). Diese Mehrleistung war signifikant abgesichert.

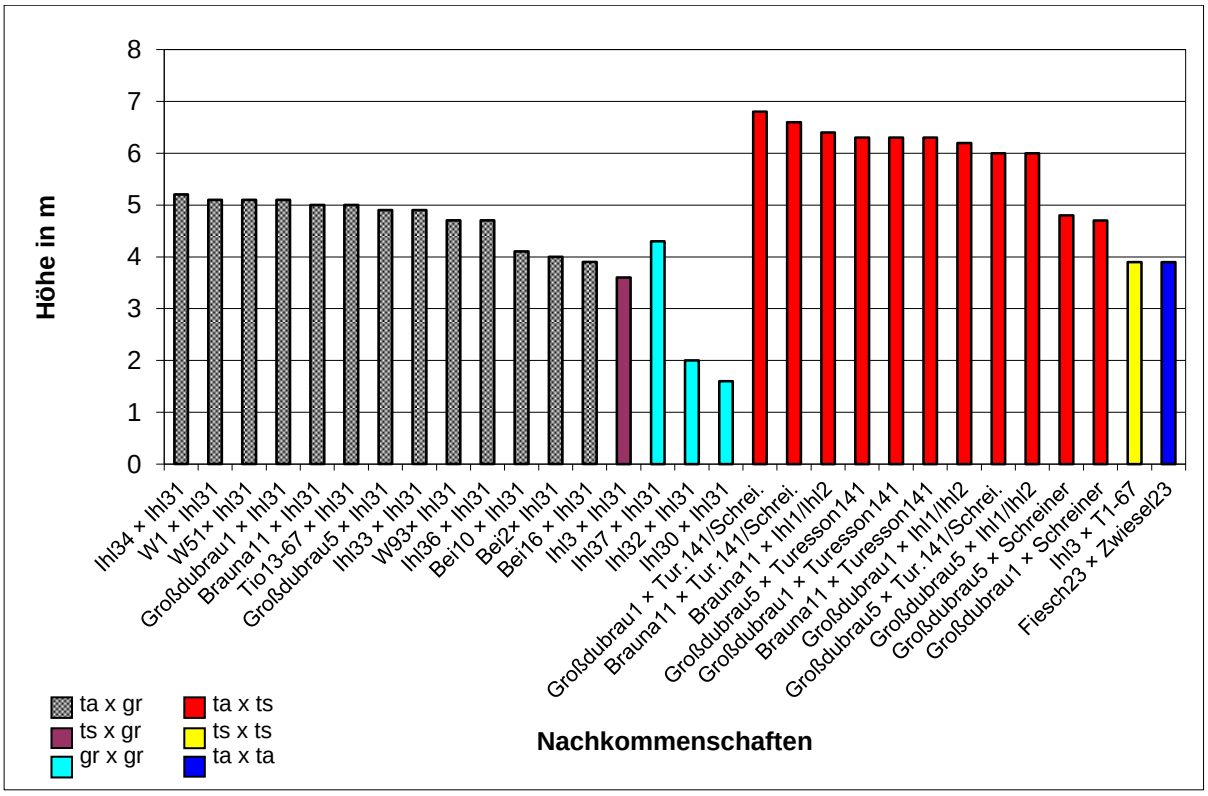


Abb. 3: Nachkommenschaftsprüfung 1978 - Mittelhöhe der Nachkommenschaften über alle 7 Versuchsflächen im Alter 7

Im Ergebnis dieser Nachkommenschaftsprüfung konnten zwei aus Sachsen stammende weibliche Europäische Aspen (Groß Dubrau 1 und Groß Dubrau 5) und eine männliche Amerikanische Aspe (Turesson 141) als Familieneltern in der Kategorie „Geprüft“ zugelassen werden. In der Abbildung 4 sind die entsprechenden Nachkommenschaften markiert. Die beiden Nachkommenschaften tragen die Namen „Juwel 1“ und „Juwel 2“. Ebenso ist die Nachkommenschaft Brauna 11 x Turesson 141 hervorgehoben, deren Elternbäume bereits früher zugelassen wurden und die unter dem Namen „Holsatia“ vertrieben wird. Die Abbildung 4 macht deutlich, dass sich die Hybriden nicht nur im

Durchmesserwachstum von den anderen Nachkommenschaften abheben, sondern auch eine hohe Überlebensrate aufweisen.

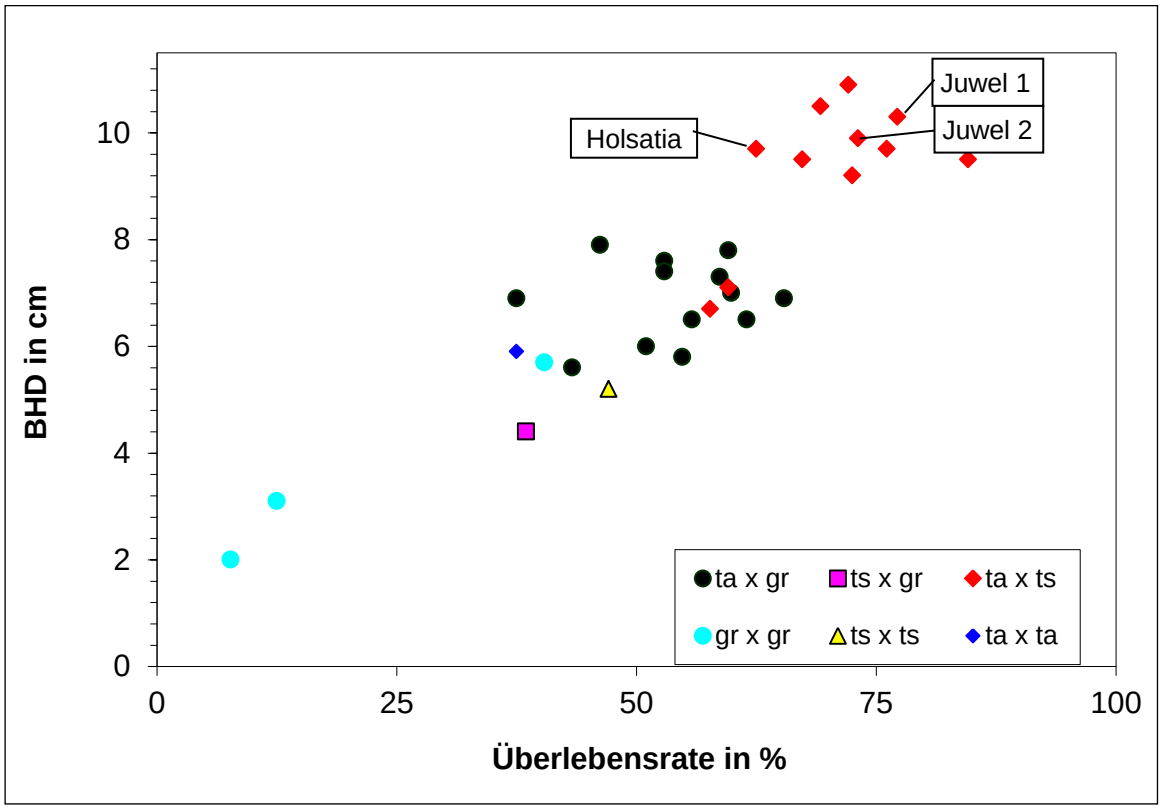


Abb. 4: Beurteilung der 30 Nachkommenschaften anhand von BHD und Überlebensrate im Alter von 10 Jahren im Mittel über 7 Flächen (gr= *P. grandidentata*; ta= *P. tremula*; ts= *P. tremuloides*)

Klonprüfung 1990 – Zulassung von Klonen

Die Auswertung der drei Versuchsflächen der Aspen-Klonprüfung 1990 ergab eine deutlich und signifikant bessere Wuchsleistung der Hybridaspenklone im Vergleich zum Standard (Klon Tapiau 8, *P. tremula*). Ebenso war die Anzahl der lebenden Bäume nach 16 Jahren genauso hoch oder höher als die des Standards (Abb. 5). In der Abbildung 5 sind die vier neu zugelassenen Klone extra bezeichnet. Bezogen auf den Standard „Tapiau 8“ erreichten sie ein signifikant besseres Wachstum. Die Mehrleistung bei der Höhe betrug zwischen 22 % und 28 %.

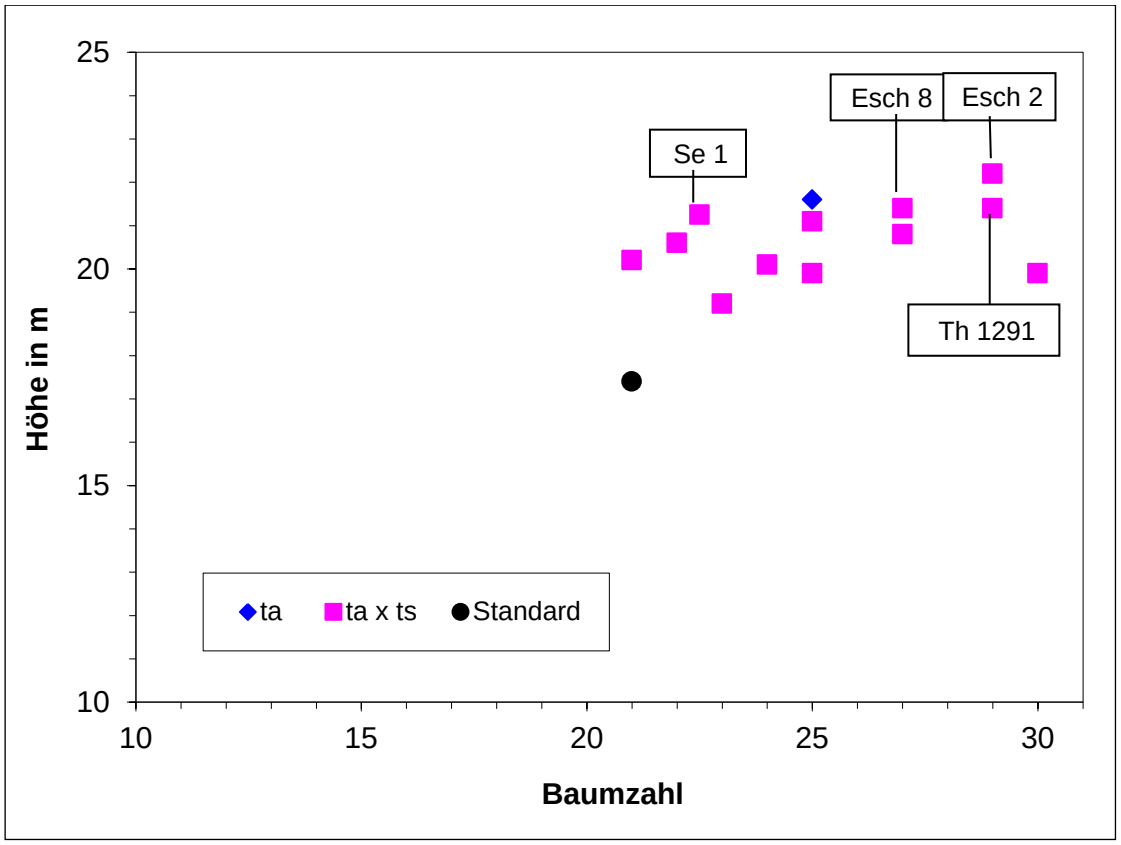


Abb. 5: Klonprüfung 1990 - Mittlere Baumhöhe und Anzahl lebender Bäume im Alter von 16 Jahren (ta= *P. tremula*; ts= *P. tremuloides*)

Nachkommenschaftsprüfung 2010

Im Ergebnis der Aufnahme der drei Versuchsflächen dieser Prüfung im Winter 2013/14 konnten signifikante Unterschiede in der Wuchsleistung sowohl zwischen den Standorten als auch zwischen den verschiedenen Nachkommenschaften nachgewiesen werden (Abbildung 6). Bei der Betrachtung der Leistung der einzelnen Flächen fällt auf, dass die Wuchsleistung nicht auf der Fläche mit der höchsten Ackerzahl (Trenthorst) sondern in Thammenhain am besten war. Es scheint so zu sein, dass der schwere Boden in Trenthorst einen negativen Einfluss auf das Wurzelwachstum der verschiedenen Nachkommenschaften hat. Das vergleichsweise geringe Höhenwachstum in Altlandsberg ist nicht nur durch die niedrige Standortqualität bedingt. Vielmehr hat sich hier auch der starke Verbiss durch Rehwild negativ ausgewirkt. Von den verschiedenen Gruppen von Nachkommenschaften schnitten die Hybridaspen im Durchschnitt deutlich besser ab als die Familien der reinen Arten. Dabei betrug die Mehrleistung der Hybriden im Mittel ca. 50 % verglichen mit den Nachkommenschaften reiner Europäischer Aspen. Bezogen auf die Kontrollpopulation „Bialystok“ (Pfeil in Abbildung 6) wuchsen alle Hybridnachkommenschaften bis auf zwei Ausnahmen in Altlandsberg bisher besser. Auffallend ist, dass auch die Nachkommenschaften der reinen Amerikanischen Aspen bisher zumindest im Durchschnitt besser gewachsen sind als die Europäischen Aspen.

Das Höhenwachstum ist zwar ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Wuchsleistung, in Bezug auf die Eignung zur Energieholzproduktion ist aber entscheidend, wie viel Biomasse die Nachkommenschaften pro Flächeneinheit produzieren können. Deshalb wurde exemplarisch für die wüchsigste Fläche Thammenhain anhand der BHD-Werte der Aufnahme 2013/14 die jährlich produzierten Holzmassen absolut trocken berechnet. Die Berechnung erfolgte mittels einer Formel, die zuvor an zwei- und dreijährigen Aufwüchsen älterer Stöcke bestimmt wurde ($TM=1{,}3235*BHD^{2{,}0105}$; $R^2=0{,}94$).

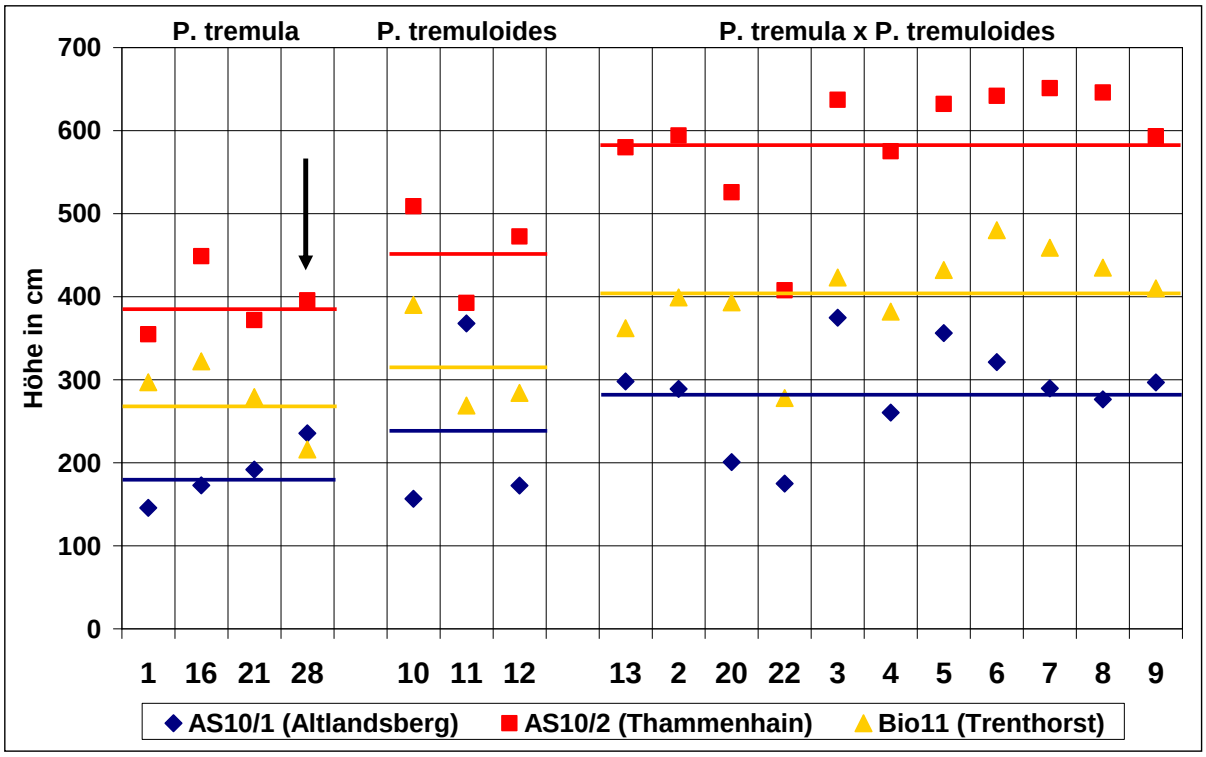


Abb. 6: Aspen-Nachkommenschaftsprüfung 2010 – Höhenwuchsleistung Winter 2013/14 (nur Nachkommenschaften, die auf allen drei Flächen stehen; Pfeil=Kontrolle)

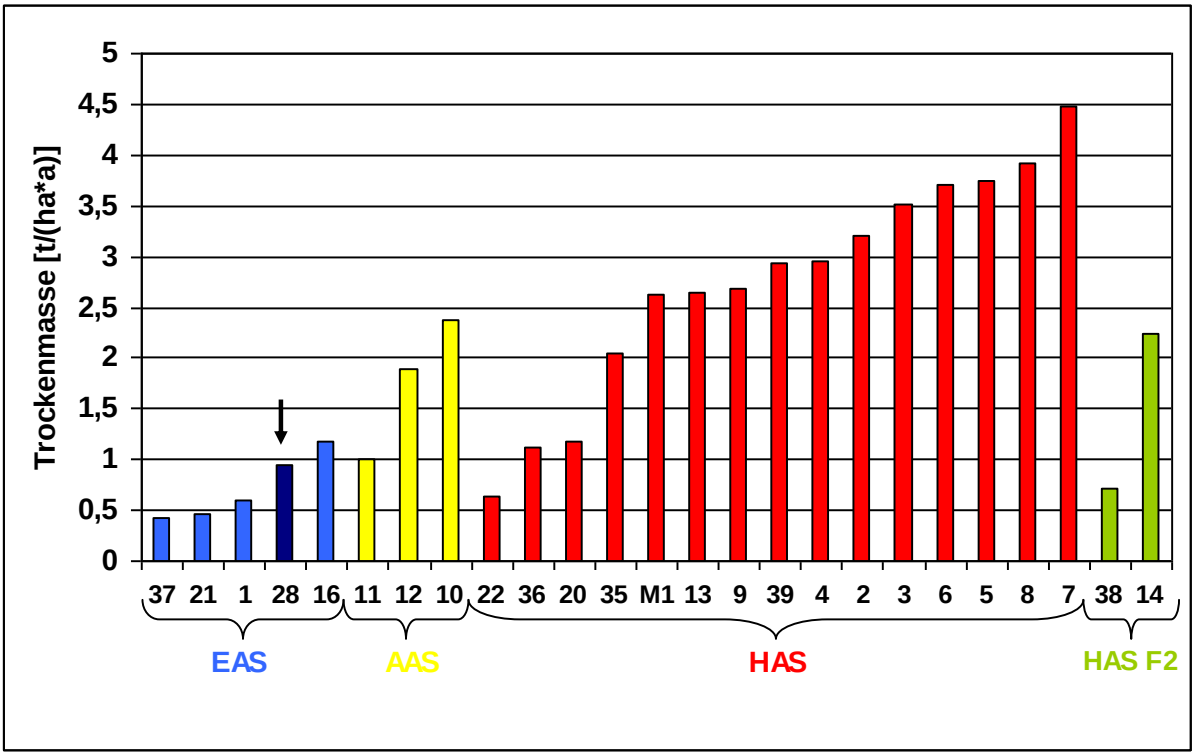


Abb. 7: Aspen-Nachkommenschaftsprüfung Thammenhain 2010 – jährliche Biomasseleistung berechnet anhand der BHD-Werte aus dem Winter 2013/14 (EAS - *P. tremula*, AAS - *P. tremuloides*, HAS - *P. tremula* × *P. tremuloides*, HAS F2 - F2 von *P. tremula* × *P. tremuloides*; Pfeil = Kontrolle)

Die berechneten Einzelmassen wurden über die Parzellen summiert, so dass die tatsächlich vorhandene Pflanzenzahl berücksichtigt wurde. Während die jährliche Trockenmasseproduktion der Kontrollpopulation (Pfeil) nur bei ca. 1 t_{atro}/ha lag, erreichten die besten Hybridaspen zwischen 3 und 4,5 t_{atro}/ha (Abbildung 7).

Diskussion

Die vorgestellten Ergebnisse verschiedener Nachkommenschafts- und Klonprüfungen mit Pflanzen unterschiedlicher Arten und Hybriden der Pappelsektion *Populus* belegen die generelle Eignung von Aspen und Weiß-Pappeln sowie ihren Hybriden für den Anbau in Kurzumtriebspflanzungen zur Erzeugung von Dendromasse für die energetische aber auch stoffliche Nutzung. Ebenso konnte die unter Beweis gestellt werden, das durch die Nutzung von Methoden der Forstpflanzenzüchtung deutliche Ertragssteigerung möglich sind. Dies gilt für die Erzeugung von intra- und interspezifischen Hybriden mittels Kreuzungszüchtung, wobei insbesondere die Hybridaspen (*P. tremula* × *P. tremuloides*) deutliche Mehrleistungen im Vergleich zu den Europäischen Aspen erbracht haben. Diese Ergebnisse decken sich mit denen anderer Autoren (Joachim 1991, Johansson 2013).

Ein vergleichsweise schneller und deutlicher züchterischer Gewinn lässt sich durch die Selektion und Vermehrung von Klonen erreichen, wie das hier vorgestellte Beispiel belegt. Die erreichte Mehrleistung von rund 25 % durch die Auslese der besten Klone in der beschriebenen Klonprüfung ist bemerkenswert. Ähnlich überlegene Leistungen konnten auch mit anderen Hybridaspenklonen auf älteren Versuchsflächen beobachtet werden (Joachim 1991). Auch die Selektion von Klonen reiner Europäischer Aspen kann effektiv sein und eine deutliche Leistungssteigerung bringen. So erreichten die besten Aspenklone einer fünfjährigen Prüfung an vier Standorten Mehrleistungen beim Höhenwachstum von durchschnittlich 10-20 % (Ewald et al. 1995). Der Einsatz von Klonen aus der Sektion *Populus* wird momentan noch durch den hohen Preis der vegetativ vermehrten Pflanzen aus der Gewebekultur beschränkt.

Bemerkenswertes Ergebnis der Arbeiten im Rahmen der Projekte FastWOOD und FastWOOD 2 ist die erfolgte Zulassung von drei Familieneltern in zwei Kombinationen und von vier Klonen als Ausgangsmaterial zur Erzeugung von geprüftem Vermehrungsgut. Dies belegt den praktischen Nutzen der langjährigen Züchtungsarbeiten und ist ein wichtiger Beitrag zur Verbesserung der Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut (Liesebach 2013). Mit weiteren Zulassungen ist aus den im Forschungsvorhaben FastWOOD angelegten Nachkommenschaftsprüfungen in einigen Jahren zu rechnen.

Auf Standorten, die für den Anbau von Hybridpappeln weniger oder nicht mehr geeignet sind, bestehen häufig noch gute Anbaumöglichkeiten für Aspen (*Populus tremula*) und Hybridaspen. Ihre Ansprüche an Klima und Nährstoffversorgung sind geringer als diejenigen der Balsam-Pappeln. Auf diesen schwächeren Böden sind ansprechende Wuchsleistungen mit Pappeln der Sektion *Populus* zu erreichen (Kollas et al 2009, DLG 2012). Die Aspen kommen außerdem mit wechselfeuchten, auch staunassen Böden besser zurecht als Hybridpappeln (Lüdemann 1998). Auch windexponierte Lagen können bepflanzt werden.

Um die Eignung einer Baumart für die Erzeugung von Holz im Kurzumtrieb einschätzen zu können, sind weitere Ergebnisse über das Verhalten nach dem Rückschnitt notwendig. Von den Aspen und Weiß-Pappeln ist bekannt, dass sie außer aus dem Stock nach einem Rückschnitt auch aus den Wurzeln (Wurzelbrut) wieder austreiben können. Eindrucksvoll konnte dieses Verhalten auf einer Nachkommenschaftsprüfung mit Hybridaspen, die nach fünf Jahren komplett beerntet wurde, beobachtet werden (Liesebach und Bütow 2012). Während der durchschnittliche jährliche Ertrag an absolut trockener Biomasse nach der ersten fünfjährigen Rotation bei 4,3 t/ha lag, hatte er sich nach weiteren fünf Jahren mehr als verdoppelt. Durch die starke Wurzelbrut ist allerdings der Reihenverband verloren gegangen, so dass einen Ernte mit der üblichen Technik (Reihenhäckslern) nur schwierig möglich ist.

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft und der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. für die Förderung der entsprechenden Teilprojekte des Thünen-Instituts für Forstgenetik in den Verbundprojekten FastWood und FastWOOD 2 (FKZ: 22011107 und FKZ: 22002611). Ebenso gedankt wird den Eigentümer der Versuchsflächen für die Bereitstellung der Flächen und die teilweise tatkräftige Hilfe sowie allen Mitarbeitern des Instituts, die an der Bearbeitung dieser Projekte beteiligt waren.

Literatur

DLG (Hrsg.), 2012: Kurzumtriebsplantagen. Anlage, Pflege, Ernte und Wertschöpfung. DLG-Merkblatt 371. 39 S.

Eichel P, 2011: Vergleich der Entwicklung und des Wachstums von *Populus*-Nachkommenschaften an sieben Versuchsorten. Bachelor-Arbeit, Humboldt-Universität Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fak., 90 S.

Einspahr DW, Benson MK, 1964: Production and evaluation of aspen hybrids. Journal of Forestry 62: 806-809.

Ewald D, Naujoks G, Brandt R, Nestler K, 1995: Die aus dem Glas kamen. Der Wald 45, 231-235.

Grimrath A, Müller-Navarra A, Schneck V, Liesebach M, 2015: *Melampsora*-Rost an Pappeln der Sektion *Populus*. Thünen Report 26: 177-180.

Joachim H-F, 1991: Hybridaspen – schnellwüchsige, leistungsfähige und vielseitig einsetzbare Baumsorten. IFE-Berichte aus Forschung und Entwicklung 22, Eberswalde, 47 S.

Johansson T, 2013: Biomass production of hybrid aspen growing on former farm land in Sweden. Journal of Forestry Research 24 (2): 237-246.

Kolas C, Lasch P, Rock J, Suckow F, 2009: Bioenergy potential in Germany – assessing spatial patterns of biomass production with aspen short-rotation coppice. Int. Agrophysics 23: 343-352.

Melchior GH, 1985: Die Züchtung von Aspen und Hybridaspen und ihre Perspektiven für die Praxis. Allgem. Forst-u. Jagdzeitung 156: 112-122.

Liesebach M, 2013: Aspen-Züchtung: neues Vermehrungsgut: 2 Familieneltern und 4 Klone zugelassen. Gülzower Fachgespräche 45: 432

Liesebach M, Bütow U, 2012: Biomasseerträge von 16 Nachkommenschaften der Zitter-Pappel im Kurzumtrieb. Beitr Nordwestdt Forstl Versuchsanst 8: 345-346.

Liesebach M, Wühlisch G von, Muhs H-J, 1999: Aspen for short-rotation plantations on agricultural sites in Germany. Forest Ecology and Management, Amsterdam 121: 25-39.

Liesebach M, Schneck V, Wolf H, 2012: Züchtung von Aspen für den Kurzumtrieb. Beitr Nordwestdt Forstl Versuchsanst 8: 71-90.

Lüdemann GH, Bernsmann R, 1998: Schnellwachsende Baumarten in Wald und Landschaft Norddeutschlands. Gesellschaft zur Förderung schnellwachsender Baumarten in Norddeutschland, 144 S.

Schneck H, 1985: Neuzüchtung zur Ertragssteigerung des Aspenanbaus auf mittleren Standorten im Pleistozän der DDR. Beitr. f. d. Forstwirtschaft 19 (2), 74-77.

Schönbach H, Scholz E, 1972: Vorschlag für die Anerkennung einer Hochzuchtsorte der Aspe. Unveröffentl. Bericht, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde, 41 S.

Wettstein-Westerheim W von, 1933: Die Methode der gelenkten Kreuzung und die Beschreibung von F1-Hybriden bei Pappel. Zeitschrift f. Pflanzenzuechtung A 18: 597-626.

Wolf H, Brandt R, 1995: Growth and quality of intra-specific aspen (*Populus tremula* L.) progenies. Silvae Genetica 44, 319-325.

Wühlisch G von, 2006: Ergebnisse der Züchtung von Pappeln und Aspen in Großhansdorf - Perspektiven für die Energie- und Rohstofferzeugung. Vortr. Pflanzenzüchtg., Göttingen 70: 157-17.

Yu Q, Tigerstedt PMA, Haapanen M, 2001: Growth and phenology of hybrid aspen clones (*Populus tremula L.* × *Populus tremuloides* Michx.), Silva Fennica 35: 15–25.

Korreskondierender Autor:
Volker Schneck
Thünen-Institut für Forstgenetik
Eberswalder Chaussee 3 a
15377 Waldsieversdorf
volker.schneck@ti.bund.de

Überblick über die Neuzüchtung von Aspen- (*Populus tremula* L.) Nachkommenschaften in Sachsen

Marek Schildbach, Kai-Uwe Hartmann, Heino Wolf

Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS), Graupa

Zusammenfassung

Das Ziel des Verbundvorhabens FastWOOD besteht darin, durch verschiedene Züchtungsaktivitäten die Voraussetzungen für einen großflächigen, wirtschaftlichen und betriebssicheren Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen zu schaffen. Mit der Züchtung neuer Nachkommenschaften und Klone der Aspe (*Populus tremula* L.) wird ein Beitrag zur Erhöhung der Betriebssicherheit von Kurzumtriebsplantagen durch die Ausweitung des Spektrums geeigneten Vermehrungsguts geleistet. Die Aspe kommt mit schlechteren Böden und ungünstigeren Klimabedingungen zu Recht als die meisten der derzeit angebauten Pappelklone. Durch die standardmäßige Pflanzung als bewurzelte Pflanze ist sie in den ersten Wochen und Monaten weniger durch Witterungsextreme und Konkurrenzvegetation gefährdet als Pappelklone, die als Steckhölzer auf eine Fläche eingebracht werden. Aufgrund dieser Vorteile kann die Aspe auch auf Standorten angebaut werden, die für die Pappel nicht geeignet sind.

An den Vorgängerinstitutionen von Sachsenforst wurden vor allem in den 1950er und 1960er Jahren bereits umfangreiche Züchtungsarbeiten an Aspe durchgeführt. Die damalige Züchtung zielte zuerst auf die Verbesserung der Merkmale Geradschaftigkeit und Feinastigkeit für die Furnierproduktion ab. Mit Zunahme der Rauchschäden in den Mittelgebirgen der DDR wurde später noch das Merkmal Rauchschadresistenz als relevantes Kriterium in den Auslesekatalog aufgenommen. Insgesamt wurden bis 1990 über 1.000 Bäume ausgelesen, mehr als 2. 000 Kreuzungen durchgeführt sowie 71 Versuchsflächen und Klonarchive angelegt.

Im Rahmen von FastWOOD erfolgte bei Sachsenforst eine erneute Auswertung der alten Versuchsdaten – diesmal allein nach dem Kriterium Wüchsigkeit. Dabei wurden Elternbäume identifiziert, deren Nachkommenschaften in möglichst vielen Kreuzungskombinationen beste Wuchsleistungen zeigten. Sofern es das Blühangebot zuließ, wurden diese Elternbäume in den letzten fünf Jahren kontinuierlich in den bisher noch nicht realisierten Kombinationen gekreuzt. Bisher wurden über 130 Kreuzungen durchgeführt und mit den daraus erzeugten Pflanzen sieben Versuchsflächen zur Nachkommenschaftsprüfung angelegt. Im Sinne eines schnelleren Züchtungsfortschritts werden auf diesen Flächen seit 2011 die besten Individuen ausgelesen und einer *In vitro*-Vermehrung zugeführt. Die ersten derart erzeugten Klone wurden bereits wieder auf den Versuchsflächen ausgebracht.

Die bisher durchgeführten Datenaufnahmen auf den neuen Versuchsflächen zeigen Bäume mit Jahrestrieben bis zu drei Metern Länge und verdeutlichen damit eindrucksvoll das züchterische Potential dieser Baumart.

Schlüsselwörter: Aspe, *Populus*, Züchtung, Kurzumtrieb

Abstract

Overview of new crosses of aspen (*Populus tremula* L.) in Saxony

The objective of the joint project FastWOOD is the creation of preconditions for the economical and safe plantation of fast growing tree species on large sites of agricultural land by tree breeding

activities. The breeding of new progenies and clone of Aspen (*Populus tremula* L.), will contribute to the improvement of the operational safety of short-rotation plantations by the extension of the suitable reproductive material available on the market. In comparison to other poplar species Aspen grows also on marginal sites and in not favourable climatic conditions. Since Aspen is commonly planted as rooted plants, it is less threatened by extreme weather conditions and weeds in the first weeks and months of the growing season than poplar clones planted as hardwood cuttings. Due to these advantages, Aspen can be planted on sites not suitable for other poplar species.

During the 1950ies and 1960ies, extensive breeding work with Aspen was carried out in the predecessor institutions of the State Enterprise Sachsenforst. The breeding program had the objective to improve the parameters stemform and branchiness for the production of veneer. Caused by the increase of air pollution in the mountainous regions of East Germany the parameter air pollution resistance was included in the selection catalogue. Totally, 1.000 plus trees were selected, more than 2.000 crossings carried out as well as 71 experimental trial plots and clone collections established until 1990.

Within the context of FastWOOD, the existing data were analysed again by Sachsenforst using only the parameter yield. Parent trees were identified their progenies very often showed excellent growth capacities. Depending on the flowering, the selected parent trees were continuously crossed to establish new combinations in the last five years. Until today, over 130 crossings were made. The plants descending from these crossings were used to establish seven experimental trial plots for progeny testing. To shorten the breeding process, the best individuals within the best progenies were selected and propagated by in vitro propagation methods. The first newly established clones were already planted for testing on trial plots.

The already conducted assessment of data on the new trial plots showed Aspen trees with an annual shoot up to three meter of length and underlined impressively the breeding potential of this species.

Keywords: Aspen, *Populus*, breeding, short rotation

Einleitung

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) fördert über die Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) seit 2008 das Verbundvorhaben „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb“ (FastWOOD). Das Ziel dieses Projektes besteht darin, die Voraussetzungen für einen großflächigen, betriebssicheren und wirtschaftlichen Anbau von schnell wachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen in so genannten Kurzumtriebsplantagen (KUP) zu schaffen. Um dieses Ziel zu erreichen, beschäftigen sich im Rahmen von FastWOOD und unter der Koordination der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) insgesamt acht Institutionen mit allen Aspekten der Züchtung von Pappeln, Weiden und Robinien. Dies beinhaltet die Sichtung älterer Versuchsflächen, die genetische Charakterisierung und Identifizierung, die kontrollierte Neukreuzung, die Anlage von Nachkommenschafts- und Klonprüfungen, die physiologische und morphologische Charakterisierung, Untersuchungen zum Resistenzverhalten, Simulationsstudien sowie die Anlage von Modellflächen.

Zu den Voraussetzungen für eine großflächige, betriebssichere und wirtschaftliche Anlage von KUP zählt neben verschiedenen anderen Aspekten in erster Linie die Verfügbarkeit und Verwendung von geeignetem Pflanzmaterial. Mit Material, welches generell hohe Wuchsleistungen zeigt und optimal an den jeweiligen Standort angepasst ist, ist ein wirtschaftlicher Betrieb leichter realisierbar als mit weniger wüchsigem oder unangepasstem Pflanzmaterial. Die Betriebssicherheit von KUP kann durch die Verwendung von Klonen und Nachkommenschaften erhöht werden, die möglichst resistent gegenüber verschiedenen Schadereignissen wie Frost, Trockenheit oder Rostpilzbefall sind.

Noch vor 10 Jahren war die Verfügbarkeit von geeignetem Vermehrungsgut für KUP in Deutschland sehr gering. Ein paar wenige Baumschulen besaßen überhaupt noch Pappelmutterquartiere und auch in diesen waren nur sehr wenige Klone verfügbar. Vor allem Androscoggin, Muhle Larsen, Max 1-5

und die erst 2008 zugelassene Hybride 275 (Schildbach et al. 2010). Das lag vor allem daran, dass diese Art der Landnutzung hierzulande im Gegensatz zu anderen Länder wie Schweden (15.000 ha Weide) oder Italien (119.000 ha Pappel) nur marginal vertreten war (Stockmann et al. 2010). Mit dem verstärkten Anbau von KUP in Deutschland in den letzten Jahren entwickelte sich das Problembewusstsein für die Frage nach geeignetem Vermehrungsgut. Die auf dem europäischen Markt vorhandenen Pappelklone und -nachkommenschaften haben nur zum Teil eine Zulassung als Ausgangsmaterial in der Kategorie „Geprüft", was nach dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) die Grundvoraussetzung für das Inverkehrbringen in Deutschland ist. Aber selbst Material, das diese Voraussetzungen erfüllt, ist aufgrund der klimatischen und standörtlichen Unterschiede nicht unbedingt für den Anbau in Deutschland geeignet. Die Frage der klimatischen und standörtlichen Eignung stellt sich auch für die nicht dem Forstvermehrungsgutgesetz unterliegenden Weiden. Um die Anzahl geeigneter und verfügbarer Klone und Nachkommenschaften für den Anbau in Deutschland zu erhöhen, gibt es zwei Lösungsansätze. Zum einen kann das ausländische Material hier geprüft und bei Eignung zugelassen werden. Zum anderen können neue Klone und Nachkommenschaften direkt in Deutschland gezüchtet, geprüft und anschließend zugelassen werden. Im Projekt FastWOOD werden diese Lösungsansätze aufgegriffen und umgesetzt. Drei Institutionen sind an diesem Projekt mit Arbeitspaketen beteiligt, welche die Neuzüchtung von Pappeln und Weiden zum Ziel haben. Die NW-FVA züchtet Pappeln der Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca* (Schwarz- und Balsampappeln) sowie Weiden, während das Thünen-Institut sowie das Kompetenzzentrum Wald und Forstwirtschaft im Staatsbetrieb Sachsenforst Pappeln der Sektion *Populus* (Aspen und Weiß-Pappeln) züchten.

Material und Methoden

Rückblick

Um zu verdeutlichen auf welchen Grundlagen die Neuzüchtung von Aspen in Sachsen aufbaut, ist ein kurzer Rückblick auf die Geschichte der Forstpflanzenzüchtung am Standort Graupa bei Pirna hilfreich. Parallel zur Pappelanbauwelle im Zuge der Wiederbewaldung nach dem zweiten Weltkrieg begann am Standort Graupa im Jahr 1947 die Züchtung von Pappeln und Aspen in der Abteilung Forstpflanzenzüchtung des Instituts für Forstwissenschaften Tharandt. Die Züchtung der Schwarz- und Balsampappeln wurde Ende der 1960er Jahre an das Institut für Forstwissenschaften Eberswalde abgegeben, während die Aspenzüchtung in Graupa angesiedelt blieb. Die ersten Versuchsflächen waren Nachkommenschaftsprüfungen einheimischer Aspen, später wurden Kreuzungen mit der amerikanischen Aspe (*Populus tremuloides* Michaux) sowie mit nord- und osteuropäischen Kreuzungspartnern durchgeführt. Eine Auswertung der aufgenommenen Merkmale auf den Versuchsflächen zeigt, dass den Merkmalen Wuchsleistung und Qualität die gleiche Bedeutung eingeräumt wurde (Abb. 1).

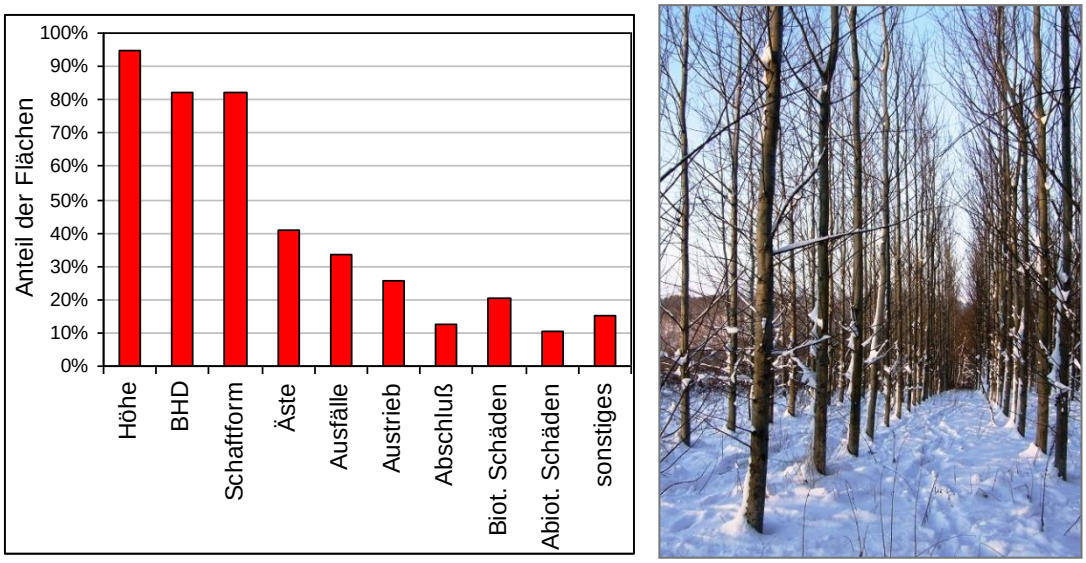


Abb. 1: Untersuchte Merkmale auf den Aspenversuchsflächen der DDR 1954-1994 (nach Schildbach 2002) (links); Aspen mit guten Formeigenschaften auf der KUP Methau II (rechts)

In den 1960er Jahren wurde das Problem der Rauchschäden im Erzgebirge akut. In der Züchtung von rauchschadresistenten Aspen-Nachkommenschaften spiegelte sich diese Entwicklung auch in der Forschung wieder. Ab den 1970er Jahre ließ das Interesse an der Aspenzüchtung nach. Es wurden kaum neue Versuchsflächen angelegt und die Datenaufnahme auf den vorhandenen erfolgte seltener (Abb. 2).

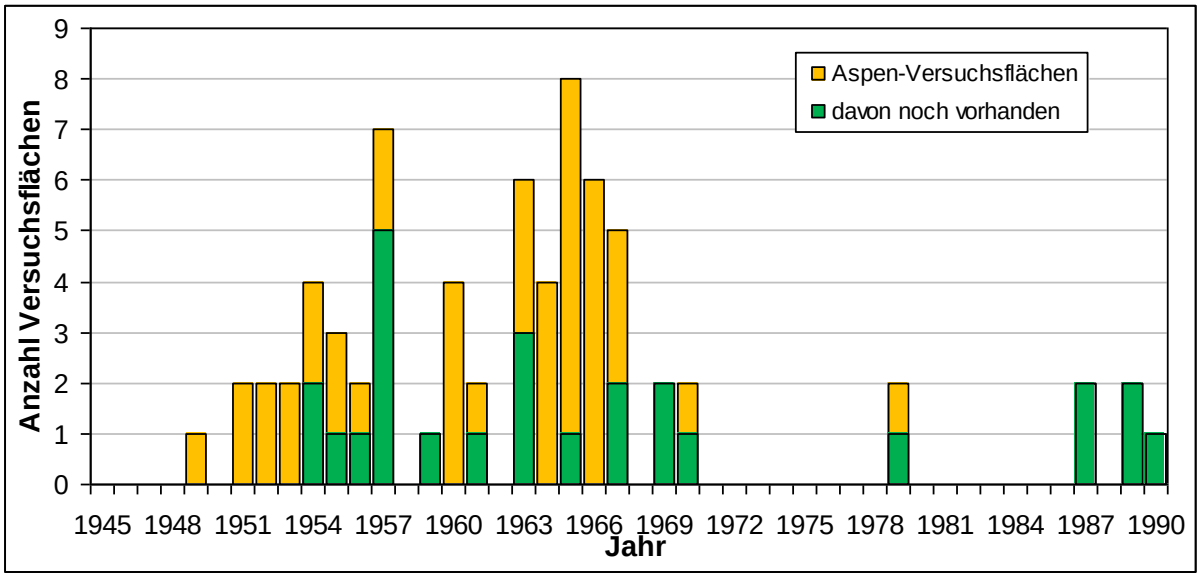


Abb. 2: Zeitliche Entwicklung der Aspenversuchsflächen des Sachsenforst

Auch wenn die Ziele und die Intensität der Aspenzüchtung im Laufe der Zeit variierten, so ist doch der Umfang der erfolgten Arbeiten insgesamt beachtlich. Über 1.000 Auslesebäume wurden in der Natur ausgewählt oder von (osteuropäischen) Partnern zur Verfügung gestellt. Über 2.000 kontrollierte Kreuzungen wurden im Laufe der Jahre durchgeführt und mit den erzeugten Pflanzen 71 Versuchsflächen angelegt. Die Elternbäume wurden in sechs Genarchiven angepflanzt und somit längerfristig gesichert.

Ebenso wie die inhaltliche Ausrichtung änderte sich auch die administrative Zuordnung der Forschungsinstitution häufiger. War die Forstpflanzenzüchtung in Graupa zu Beginn noch eine Außenstelle des Instituts für Forstwissenschaften in Tharandt, gehörte sie später zum Institut für Forstwissenschaft Eberswalde. Von 1985 an existierte sie als „Forschungs- und Überleitungszentrum“, nach 1990 als Abteilung der neugegründeten „Sächsischen Landesanstalt für Forsten“. Ab 2003 war sie Teil des „Landesforstpräsidiums“ und seit 2006 besteht sie als Referat Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung des Kompetenzzentrums für Wald und Forstwirtschaft im Staatsbetrieb Sachsenforst. Trotz aller Änderungen gibt es eine gewisse Kontinuität, die es ermöglicht, auf die Ergebnisse früherer Forschungsarbeiten zurück zu greifen.

Auswahl der Kreuzungspartner

Bei der Züchtung von neuen Aspen für die Verwendung im Kurzumtrieb spielt die Schaftform und die Astigkeit der Bäume – wenn überhaupt – nur eine sehr geringe Rolle. Entscheidend sind die Wüchsigkeit und die Resistenz gegenüber Schadereignissen. Bei letzterem steht nicht mehr die Rauchschadresistenz im Mittelpunkt, da sich die Immissionsbelastung der Mittelgebirge mit dem Niedergang und dem Umbau der Industrie in Mittel- und Osteuropa sowie der Entschwefelung von Braunkohlekraftwerke nach 1996 auf ein sehr geringes Maß reduziert hat. Von Bedeutung ist heute vor allem die Resistenz gegenüber biotischen Schäden (v. a. Rostpilze) und gegenüber den abiotischen Schäden Trockenheit und Frost. Damit ergibt sich ein wichtiger Ansatz für die Auswahl neuer Aspen-Nachkommenschaften: Es ist damit zu rechnen, dass bei den vielen Kreuzungen der letzten 65 Jahre auch Nachkommenschaften entstanden sind, die gute Wuchsleistungen bei schlechter Schaftform zeigten. Diese wurden unter den damaligen Anforderungen verworfen, könnten aber heute wieder unter dem Gesichtspunkt der Biomasseproduktion eine Rolle spielen.

Der zweite wichtige Ansatz für die Neuzüchtung besteht darin, anhand der alten Versuchsauswertung die besten Elternbäume auszuwählen und diese in neuen Kombinationen zu kreuzen.

Um auf den alten Ergebnissen aufbauen zu können, wurde zunächst die Datenbasis geklärt. Die überwiegende Anzahl der seit 1949 angelegten Versuchsflächen existiert nicht mehr, beziehungsweise ist in einem Zustand, der eine Rekonstruktion nicht mehr möglich macht. Jedoch sind für 60 dieser Flächen noch Versuchsakten vorhanden. Darin sind Angaben zum Standort und dem Pflanzverband, zu den Zielen und Ergebnissen der Datenaufnahme enthalten. Nicht alle Versuchsflächenakten waren verwertbar, aber sie bildeten eine gute Grundlage. Neben den alten Akten gibt es noch 17 Forschungsberichte, in denen die Ergebnisse früherer Auswertungen der Versuchsreihen zusammengefasst wurden. Auch die Versuchsflächendatenbank von Sachsenforst lieferten weitere Angaben (Abb. 3).

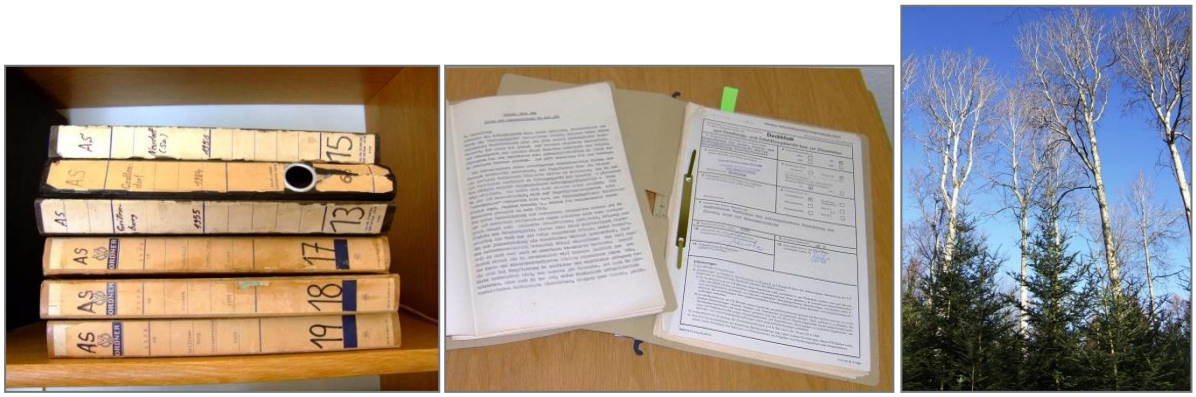


Abb. 3: Ausgangsbasis für die Neukreuzung: Versuchsflächenakten, Forschungsberichte und Genarchive (v.l.)

Neben der Datenbasis gibt es noch die naturale Basis: 82 verschiedene Elternbäume (42 Mütter, 40 Väter) sind noch in den Genarchiven des Referats Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung erhalten.

Alle vorhandenen Daten wurden in eine Datenbank eingearbeitet. Nützlich erwies sich dabei auch das Zuchtbuch Aspe aus Waldsieversdorf (Schneck 2009), mit dessen Hilfe verschiedene Unklarheiten beseitigt und Informationen über weitere noch vorhandene Elternbäume gewonnen werden konnten. Anschließend erfolgte die Auswahl potentieller Kreuzungspartner für die Neuzüchtungen.

Ausgehend von der Grundannahme, dass gute Eltern oft auch gute Nachkommenschaften haben, wurde für jede Versuchsfläche eine Rangfolge der Wuchsleistung der einzelnen Nachkommenschaften erstellt. Anschließend wurden diejenigen Nachkommenschaften ermittelt, die auf mindestens zwei Versuchsflächen an erster oder zweiter Stelle der Rangfolge standen. Die Elternbäume dieser Nachkommenschaften wurden als „beste“ Eltern und damit als Kandidaten für weitere Neukreuzungen ausgewählt. In einem zweiten Schritt wurden analog zum bisherigen Vorgehen die Eltern aller Nachkommenschaften ermittelt, die auf mindestens zwei Versuchsflächen unter den wüchsigsten vier Prüfgliedern waren. Die so erweiterte Auswahl an Elternbäumen wurde als zweitbeste Wahl kategorisiert.

Anschließend wurde mit allen noch in den Genarchiven vorhandenen Elternbäumen eine Kreuzungstabelle erstellt, untergliedert nach den besten, den zweitbesten und den restlichen Elternbäumen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Kreuzungstabelle mit den besten und zweitbesten Elternbäumen der Aspe

		Beste Väter								Zweitbeste Väter			
		Beerwalde 2	Graupa 18	Milstrich 2	Großdubrau 3	Lichtenhain 1	Spechtshausen 8	Königstein 2	Tannenhaus 1	Burkau 10	Wermsdorf 3	Müncheberg 170	Uhyst 25
Beste Mütter	Tannenbergsthal 1	x						x	x				
	Graupa 1		x	**Z**			x	x				x	
	Tharandt 29		x		x			x					
	Schandau 4		x			x	x	x					x
	Uhyst 2					x		x					x
Zweitbeste Mütter	Großdubrau C						x	x					
	Uhyst 27					**Z**							x
	Uhyst 26					x							x
	Biehla 11		x			x	x	x		x			x
	Wermsdorf 4							x			x		
	Piskowitz 3		x			x	x	x		x			
	Hartmannsdorf 2	x						x					

x – Kreuzungen aus der Zeit vor FastWOOD, **Z** – Zugelassene Nachkommenschaften

Neukreuzung

Primäres Ziel bei den Neukreuzungen war die Realisierung aller noch nicht durchgeführten Kombinationen bester und zweitbester Eltern der Tabelle 1. Da manche Klone nur sehr selten oder

sehr schwach blühten, mussten sich die im jeweiligen Jahr durchgeführten Kreuzungen nach dem Blühangebot richten. Dabei wurden auch mehrere Kreuzungen mit den restlichen Elternbäumen durchgeführt.

Die Kreuzungsarbeiten erfolgten in mehreren Schritten. Jeweils Mitte Januar wurden mit Hilfe von Zapfenpflückern die Blühreiser der männlichen Aspen gewonnen. Die Zweige mit einer Länge von ein bis zwei Metern wurden in wassergefüllte Gläser in speziell angefertigte Kreuzungszelte in die Klimakammer bzw. nach der Fertigstellung des Gewächshauses ab 2009 auch in getrennte Kabinen im Gewächshaus eingestellt (Abb. 4). Bei einer Lufttemperatur von ca. 18°C und einer hohen Luftfeuchtigkeit (über 80%) streckten sich die männlichen Blütenkätzchen sehr schnell. Um die Vitalität der Zweige zu erhalten, waren ein täglicher Wasserwechsel, ein häufiges Besprühen mit Wasser und ein gelegentliches Anschneiden der Triebe nötig. Rechtzeitig bevor sich die Pollensäcke nach ca. 8 bis 10 Tagen öffneten und der Pollen heraus fiel, wurden die Luftfeuchtigkeit abgesenkt und die Kreuzungskabinen getrocknet. Der abgefallene Pollen wurde mit Pinsel bzw. Abzieher zusammen geschoben, aufgesammelt und anschließend bei ca. 6°C in einem Exikator aufbewahrt.

Abb. 4: Pollengewinnung bei Aspe: Reiserwerbung, Zweige im Gewächshaus, aufplatzende Pollensäcke, grob gereinigter Pollen (v.l.)

Ab Mitte Februar wurden in einem zweiten Schritt die weiblichen Blühreiser durch Zapfenpflücker geerntet. Zu Beginn wurde wie bei den männlichen Reisern das Strecken der Kätzchen durch hohe Luftfeuchtigkeit, Wässern der Zweige und eine Temperatur von ca. 18°C befördert. Die Bestäubung der Kätzchen erfolgte über einen Zeitraum von zwei bis drei Tagen wieder im trockenen Zustand, wobei jeweils Zweige mehrerer weiblicher Bäume in einer Kreuzungskabine mit dem Pollen eines männlichen Baumes bestäubt wurden. Die Bestäubung selbst erfolgte von Hand mit einem Pinsel, da hiermit eine sehr hohe Bestäubungsrate bei gleichzeitig relativ geringem Pollenverbrauch erreicht werden kann. Von der Bestäubung bis zur Samenreife dauerte es im Schnitt 15 bis 20 Tage. Um die Zielgröße von ca. 0,2 g Saatgut pro Kreuzung zu erhalten, mussten im Durchschnitt mindestens 10 Kätzchen bis zur Samenreife gebracht werden. Entscheidend für die Samenausbeute war dabei die chemische Bekämpfung von Larven verschiedener an den Kätzchen fressender Schmetterlingslarven sowie das regelmäßige Wechseln des Wassers und Anschneiden der Triebe. Weiter erhöhte Temperaturen beschleunigten den Reifeprozess nicht, sondern senkten nur die Vitalität der Reiser. Kurz vor dem Öffnen der Samenkapseln wurden alle Kreuzungen separat mit Abdeckvlies eingehüllt bzw. in getrennte Kabinen gestellt.

Die Samenwolle wurde in mehreren Durchgängen mit einem Staubsauger abgesaugt. Mittels eines Gebläses über einem mehrstufigen Sieb wurde das Saatgut von der Samenwolle und den Verunreinigungen getrennt (Abb. 5). Bis zur Aussaat im Mai erfolgte die Lagerung des Saatgutes in einem Exsikkator. Seit 2010 wurden auf diese Art und Weise über 130 Kreuzungen durchgeführt, wobei es sich überwiegend um Neukreuzungen, zu einem geringen Anteil aber auch um die Wiederholung Erfolg versprechender alter Kreuzungen handelte.

Abb. 5: Samengewinnung bei Aspe: Bestäubung mit Pinsel, reifende Kätzchen, Kätzchen mit Samenwolle, gereinigtes Saatgut (v.l.)

Anzucht

Die Aussaat und Anzucht Aspen erfolgte im Rahmen des FastWOOD-Projekts durch eine Baumschule in Pirna. In den ersten zwei Jahren wurden die Aspen direkt im Folienzelt ausgesät, in darauf folgenden Jahren erfolgte die Aussaat in Anzuchtschalen mit anschließendem Pikieren der Sämlinge in 12er Quickpots (Abb. 6).

Abb. 6: Aspenanzucht: Keimlinge, Saatbeet im Folienzelt, einjährige Aspen in Quickpots (v.l.)

Prüfung und Auslese

Nach erfolgreicher Anzucht wurden die Kreuzungen jeweils im nächsten Frühjahr auf Versuchsflächen angepflanzt (Abb. 7). Seit 2011 wurden so 92 Nachkommenschaften und 11 Klone auf insgesamt sieben Versuchsflächen ausgebracht. Im Zuge der Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurden zusätzlich elf neu gekreuzte Aspen-Nachkommenschaften des Thünen-Instituts für

Forstgenetik auf diesen Flächen mit angebaut, während im Gegenzug 13 eigene Nachkommenschaften auch auf den Flächen des Thünen-Instituts in Niedersachsen getestet werden.

Abb. 7: KUP Hohburg bei der Anlage im März 2014

Die eigenen Versuchsflächen befinden sich alle im nordsächsischen Tiefland auf ärmeren Böden einschließlich einer Fläche auf einer Braunkohlen-Tagebaukippe, da das größte Flächenpotential für KUP in Sachsen in dieser Region zu finden ist.

Die Jahresmitteltemperatur der Flächen liegt bei 8,5 bis 9°C. Die mittlere jährliche Niederschlagsmenge fällt mit ca. 570 mm recht gering aus, ermöglicht dafür aber die Untersuchung der Trockenheitsresistenz der verschiedenen Nachkommenschaften im Feldversuch. Das Design der Versuche wurde an die jeweils zur Verfügung stehende Fläche angepasst. Es wurde jeweils ein Blockversuch mit drei bis vier Wiederholungen angelegt. Die Pflanzenzahl in der Parzelle betrug in den meisten Fällen 24 Pflanzen. Der Pflanzverband wurde mit 2 x 1 m bzw. 2 x 2 m recht eng, für die Versuchszwecke jedoch ausreichend gewählt.

Abb. 8: Ausleseaspen: in vitro Vermehrung im Labor, Abhärtung im Gewächshaus, Auspflanzung auf Versuchsflächen (v.l.)

Auf den Versuchsflächen werden jährlich die Wuchsleistung sowie bei entsprechender Witterung die Schäden aufgrund von Trockenheit oder Frost aufgenommen. Spätestens ab dem zweiten Standjahr erfolgt zusätzlich eine jährliche Auslese der besten Einzelindividuen. Diese werden in Kooperation mit der Humboldt Universität zu Berlin im Rahmen des ebenfalls durch das BMEL über die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V. geförderten Verbundvorhabens „Entwicklung der biotechnologischen Grundlagen und praxisnaher Anbauverfahren für die Steigerung der Dendromasseproduktion in Land- und Forstwirtschaft durch Züchtung und Massenvermehrung von Hochleistungssorten ausgewählter Baumarten (DendroMax)“ vegetativ (in vitro) vermehrt und bei

Sachsenforst akklimatisiert und kultiviert. Die ersten so entstandenen Klone wurden im Frühjahr 2013 im Rahmen der Versuchsflächenanlage mit ausgebracht.

Ergebnisse

Bei der Auswertung der Altdaten stellte sich heraus, dass bei den Aspen im Gegensatz zu anderen Baumarten wie Lärche eine gute Schaftform oft mit einer hohen Wüchsigkeit korrelierte (Weisgerber 1992, 1995; Wolf und Brandt 1995). Folgerichtig ließen sich unter den alten, schlecht geformten und deshalb ehemals verworfenen Kreuzungskombinationen keine Nachkommenschaften mit überragenden Wuchsleistungen finden. Der Schwerpunkt der Arbeiten wurde deshalb auf Neukreuzungen gelegt.

In den letzten fünf Jahren konnte ein großer Teil der geplanten Neukreuzungen zwischen den besten Eltern wie geplant durchgeführt werden (Tabelle 2). Vier Vater- und drei Mutterbäume dieser Kreuzungstabelle blühten im bisherigen Projektverlauf jedoch nicht, so dass deren Kombinationen bisher noch nicht realisiert werden konnten. Des Weiteren wurden einzelne bereits früher erfolgte Kreuzungen der besten Eltern wiederholt. Darüber hinaus wurden mit weiteren, nicht in der Tabelle enthaltenen Bäumen über 60 Kreuzungen durchgeführt.

Tabelle 2: Realisierte Kreuzungen innerhalb der besten und zweitbesten Eltern mit Kreuzungsjahr (Jahre in Klammern sind Wiederholungen früherer Kreuzungen).

		Beste Väter								Zweitbeste Väter			
		Beerwalde 2	Graupa 18	Milstrich 2	Großdubrau 3	Lichtenhain 1	Spechtshausen 8	Königstein 2	Tannenhaus 1	Burkau 10	Wermsdorf 3	Müncheberg 170	Uhyst 25
Beste Mütter	Tannenbergsthal 1	x						x	x				
	Graupa 1		(2013)	**Z**	2013	2013	(2013)	x		2013	2013	x	
	Tharandt 29		x	2014	(2014)		2014	x		2014	2014		
	Schandau 4		(2013)	2013	2103	(2013)	x	x		2013	2013		x
	Uhyst 2		2010	2011	2014	x	2010	x		2010	2014		x
Zweitbeste Mütter	Großdubrau C		2011	2011	2011	2010	x	x		2011	2012		
	Uhyst 27		2014	2014	2014	**Z**				2014	2014		x
	Uhyst 26					x							x
	Biehla 11		x	2010	2010	x	x	x		x	2010		x
	Wermsdorf 4		2011	2011	2011		2011	x			x		
	Piskowitz 3		x	2011	2011	x	x	x		x	2011		
	Hartmannsdorf 2	x						x					

x – Kreuzungen aus der Zeit vor FastWOOD, **Z** – Zugelassene Nachkommenschaften

Die ersten Versuchsflächen mit den neuen Aspen-Kreuzungen wurden 2011 angelegt. Da die Versuche mehrere Jahre für die Etablierung benötigen, gibt es bisher wenig aussagekräftige Daten zu den Wuchsleistungen der unterschiedlichen Nachkommenschaften. Eine Ausnahme bildet die KUP Thammenhain IV, welche im Jahr 2012 angelegt wurde. Vermutlich auf Grund des recht aufwendigen

Pflanzverfahrens (manuelle Pflanzung wurzelnackter Pflanzen in tiefe Pflugstreifen), wuchsen die Bäume hervorragend an (Ausfallrate ≈ 0,5%) und etablierten sich rasch.

In Abbildung 9 ist die Wuchsleistung der Prüfglieder für die Jahre 2011 bis 2013 dargestellt. Die Bäume wurden Ende März 2012 als einjährige Pflanzen ausgebracht. Zu diesem Zeitpunkt existierte bereits ein deutlicher Höhenunterschied zwischen den Nachkommenschaften, der vermutlich in erster Linie auf unterschiedliche Bedingungen im Saatbeet zurückzuführen ist. Im ersten Standjahr betrug der mittlere Zuwachs aller Nachkommenschaften einen halben Meter. Dieses eine Jahr scheint in dem konkreten Fall für die Etablierung ausgereicht zu haben. Im zweiten Wuchsjahr hat sich der mittlere Zuwachs verdreifacht. Die vier Nachkommenschaften an der Spitze (SBS 2011/24, 25, 27 und 28) sind fast einen Meter höher als die schlechtesten Nachkommenschaften (SBS 2011/13 und Graupa I). Bemerkenswert dabei ist, dass in der jetzigen Spitzengruppe auch Prüfglieder enthalten sind, die zum Pflanzzeitpunkt nur durchschnittliche oder unterdurchschnittliche Höhen aufwiesen (SBS 2011/27 und 28). Im Gegensatz zur Nachkommenschaft SBS 2011/24 kann die derzeitige Rangposition deshalb nicht auf eine bessere Ausgangsposition zurückgeführt werden.

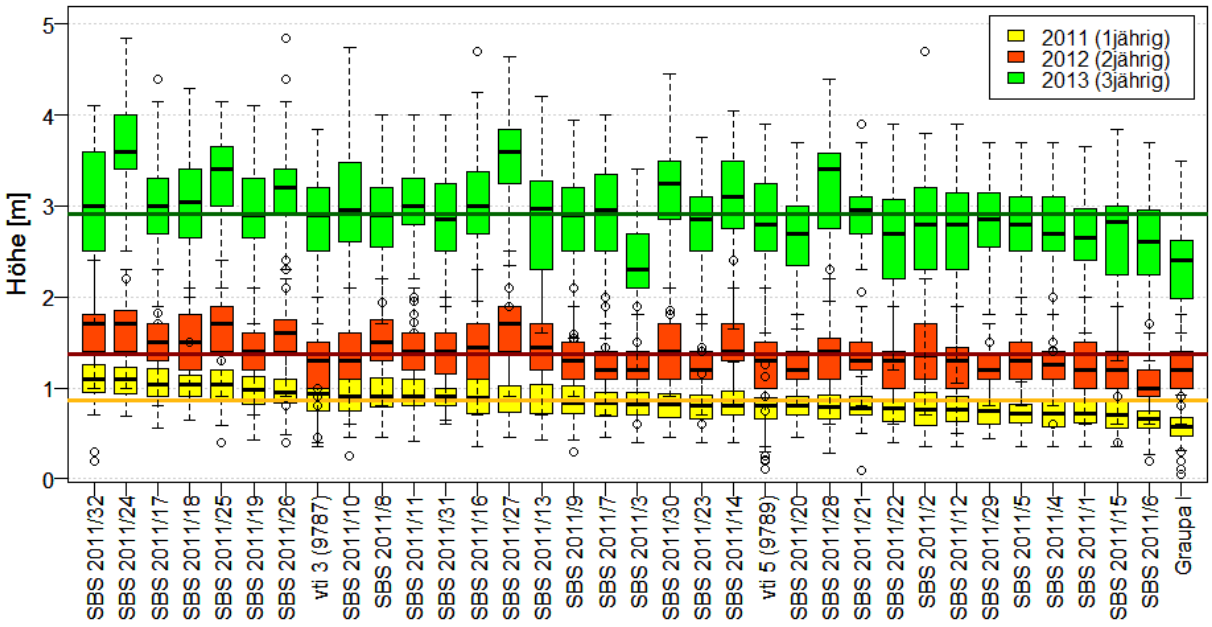


Abb. 9: KUP Thammenhain IV: Höhenentwicklung der Aspennachkommenschaften

Die zugelassene Nachkommenschaft Graupa I lag bereits zur Pflanzung hinter allen Neukreuzungen und fällt inzwischen noch weiter ab. Die beiden im Versuch enthaltenen Hybridaspen-Nachkommenschaften des Thünen-Instituts (vti 3 und vti 5) liegen seit Beginn im Mittelfeld.

Auf der KUP Thammenhain IV erscheint auch die Auslese von hervorragenden Einzelindividuen bereits im jetzigen Alter sinnvoll. Abbildung 10 zeigt den laufenden Zuwachs aller Bäume im Jahr 2013 abgetragen über der Höhe der zweijährigen Bäume im Jahr 2012. Bei gleicher Ausgangshöhe variiert der Zuwachs einzelner Bäume um zwei Meter und mehr. Der höchste laufende Zuwachs eines Baumes lag bei 3,05 m. Von dieser und weiteren hervorragenden Aspen auf den verschiedenen Versuchsflächen wurden bisher insgesamt 44 Proben entnommen, um sie in vitro zu etablieren und vermehren zu können.

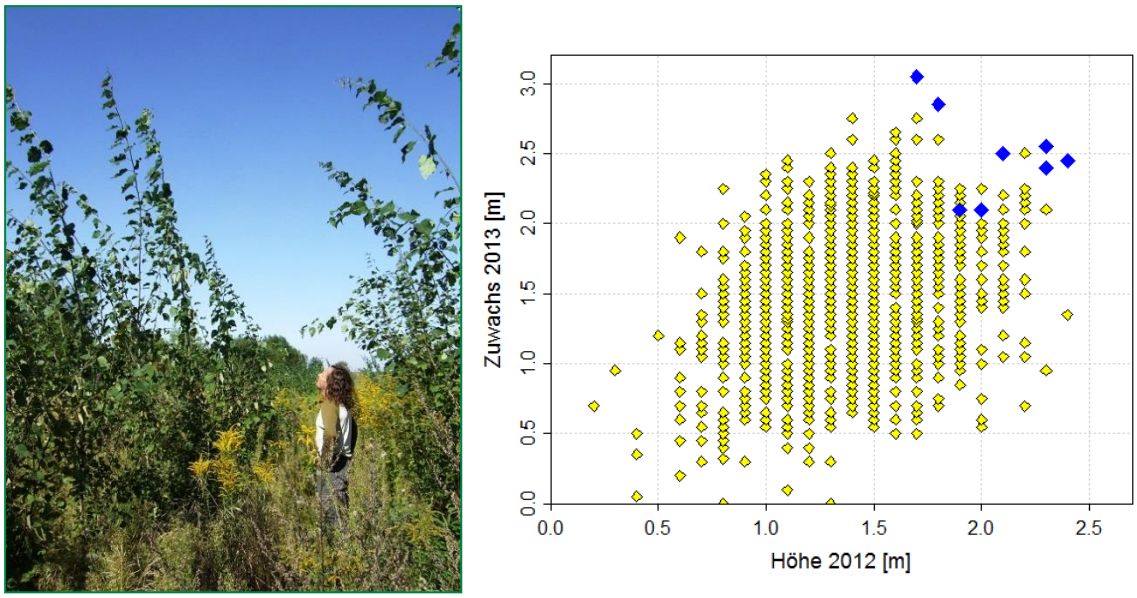


Abb. 10: KUP Thammenhain IV: Gutwüchsige Aspen im Sommer (links), Wuchsleistung aller Einzelbäume (rechts)

Diskussion und Ausblick

Aspen werden in Deutschland im Vergleich zu Pappeln und Weiden bisher selten auf KUP angebaut. Das liegt vor allem daran, dass die Wuchsleistung der Pappel- und Weidenklone auf vielen Standorten über der der Aspe liegt. Auch die einfachere Bewirtschaftung von Pappel- und Weidenplantagen (Anlage, Nutzung der zweiten Rotation) spricht eher für die Verwendung von Pappeln und Weiden. Trotzdem gibt es gute Gründe, die Aspe im Kurzumtrieb nicht zu vernachlässigen. Grundsätzlich bedeutet die Verwendung einer zusätzlichen Baumart eine Erhöhung der genetischen Vielfalt auf KUP und leistet damit einen Beitrag zur Betriebssicherheit. Des Weiteren eröffnet sich mit der Aspe auch der Anbau auf schwierigeren Böden, auf denen beispielsweise die Pappel ausgeschlossen ist. Die Aspe ist aufgrund der späteren Zuwachskulmination besonders für längere Umtriebszeiten geeignet, was auf abgelegenen oder kleinen Flächen sinnvoll sein kann. Die stoffliche Nutzung ist bei der Aspe einfacher als bei der Pappel, da bei ihr keine Verkernung auftritt, welche zum Beispiel eine Verwendung als Papierholz erschwert. Einen wesentlichen Pluspunkt gibt es bei Ernte und Rückwandlung. Die Standzeit der Säge ist bei der Ernte von Aspen viermal so lang wie bei Pappeln (Becker und Wolf 2009) und das Fräsen der Wurzeln bei der Rückwandlung geht ebenfalls erheblich schneller (Becker 2009). Die Aspe ist eine heimische Baumart, was unter Umständen ein entscheidendes Kriterium für den Anbau sein kann. Aufgrund der reduzierten Ziele bei der Aspenzüchtung (Wegfall der hohen Bedeutung der Merkmale Schaftform und Astigkeit) steht eine größere Auswahl an Nachkommenschaften für die Nutzung zur Verfügung – ein erhebliches züchterisches Potential, welches nicht ungenutzt bleiben sollte.

Bei den Vorarbeiten für die Neukreuzungen erwies sich die Erarbeitung einer Methode zur Auswahl der besten Eltern als ungewöhnlich kompliziert. Es existierten keine Daten zu den Wuchsleistungen der Elternbäume, aus denen man die vermutliche Eignung direkt hätte abgreifen können. Aufgrund der Standorts- und Behandlungsunterschiede der alten Versuchsflächen konnte man auch nicht einfach die absoluten Höhenwerte der Nachkommenschaften eines bestimmten Alters über alle Flächen hinweg vergleichen, um damit über die besten Nachkommenschaften zu den besten Eltern zu kommen. Mit der letztendlich angewandten Methode, die Rangfolge der Klone auf der jeweiligen Fläche als Maßstab zu nehmen, ist ein Kompromiss gefunden worden, da hierbei Nachkommenschaften nicht berücksichtigt werden, die nur auf einer Fläche angebaut wurden, aber dort Spitzenleistungen gezeigt haben. Über die Variation der geforderten Mindestanzahl an Flächen oder des

mindestens erforderlichen Ranges lassen sich bei dieser Methode verschiedene Ergebnisse erzielen, die in der Gesamtschau die Identifizierung der besten Elternbäume ermöglicht.

Die Ergebnisse der Versuchsfläche Thammenhain zeigen eindrucksvoll, dass die Auswahl der besten Elternbäume erfolgreich war und welches züchterische Potential in der Aspe steckt. Auch wenn man berücksichtigt, dass die zugelassene Nachkommenschaft „Graupa I“ aufgrund der geringeren Ausgangshöhe schlechtere Startbedingungen auf der Versuchsfläche hatte, so ist doch der Abstand zu den wüchsigsten Nachkommenschaften so erheblich, dass er nicht allein damit erklärt werden kann. Bemerkenswert ist weiterhin, dass die Hybridaspen auf dieser Versuchsfläche nicht den Vorsprung gegenüber den reinen Aspen haben, den man aufgrund des Heterosis-Effekts erwarten müsste und der auch in anderen Untersuchungen beschrieben ist (Mohrdiek 1977, 1979; Melchior 1985; Muhs und Melchior 1985; Joachim 1991). Ob das in diesem konkreten Fall auf das Material, das Alter, den Standort oder die Witterung zurückzuführen ist, lässt sich nicht sagen.

Bei der Auslese von Einzelbäumen wird eine Strategie verfolgt, bei der möglichst früh die besten Klone ausgelesen, vermehrt und wieder zur Prüfung auf Flächen ausgebracht werden. Die frühzeitige Auslese erhöht zwar das Risiko, dass einzelne Klone überbewertet werden, die zum Beispiel nur aufgrund mikrostandörtlicher Bedingungen zu Beginn sehr stark wachsen, sonst aber eher durchschnittlich sind. Dieser Nachteil wird in Kauf genommen, damit die tatsächlich besseren Klone schnell zur Verfügung stehen und nicht erst nachdem der Ortet über zehn Jahre seine Überlegenheit bewiesen hat. Abgesehen davon ist nicht zu erwarten, dass Einzelbäume mit mehr als 3 m Höhenzuwachs in einem Jahr später nur unterdurchschnittlich wachsen.

Derzeit sind in Deutschland in der Sektion Populus nur 8 Nachkommenschaften, 21 Klone und 7 Klonmischungen zugelassen (BLE 2012). Mit den Ergebnissen, die Sachsenforst im Projekt FastWOOD erarbeitet hat, wird sich diese Anzahl erheblich steigern lassen. Falls das Projekt wie geplant mit FastWOOD III fortgesetzt wird, so ist mit über 100 Nachkommenschaften auf Versuchsflächen zu rechnen, von denen vielleicht 5 bis 15 für eine Zulassung geeignet sind. Auch die Anzahl ausgelesener Klone wird sich bei Fortsetzung der Arbeiten noch deutlich erhöhen. Von den mindestens 50 ausgelesenen Klonen werden vielleicht 20 auf Versuchsflächen stehen und davon wiederum 10 für die Zulassung geeignet sein. Die vorläufige Zulassung von Klonen und Nachkommenschaften der Aspe wird für die dritte Projektphase angestrebt, ist aber letztendlich vom Wachstum und der Differenzierung auf den Versuchsflächen abhängig. Die Zulassungsverfahren werden aber auch nach Projektende durch Sachsenforst fortgesetzt, so dass dieses eine Ziel von FastWOOD – die Bereitstellung von geeignetem Vermehrungsgut – auf alle Fälle erreicht werden kann.

Literatur

Becker R 2009: Erfahrungen mit der Rückwandlung der KUP Methau II, mündliche Mitteilung

Becker R, Wolf H, 2009: Acker, Plantage, Acker - eine wechselseitige Nutzung. AFZ-Der Wald: 530-531.

BLE 2012: Die Pappel. Klone, Klonmischungen und Familieneltern. Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. Bonn, 12 S.

FoVG 2002: Forstvermehrungsgutgesetz. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 32, Bonn: 1658-1666.

Joachim H-F, 1991: Hybridaspen – schnellwüchsige, leistungsfähige und vielseitig einsetzbare Baumsorten. IFE-Berichte aus Forschung und Entwicklung, Bd. 22, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde.

Melchior GH, 1985: Züchtung von Aspen und Hybridaspen und ihre Perspektiven für die Praxis. Allg. Forst- u. J. Ztg. 156: 112-122.

Mohrdiek O, 1977: Hybridaspen für forstliche Grenzertragsböden. Forstarchiv 48: 158-163.

Mohrdiek O, 1979: Progeny Tests with Leuce Poplars in Germany: Crossings within and between Species and Backcrossings. Kommissionsverlag Buchhandlung Wiedebusch, Hamburg. 70 S.

Muhs H-J, Melchior GH, 1985: Some results of F1-hybrids and backcrossed hybrids of Populus tremula and Populus tremuloides. In: Proceedings of the Joint IEA/Forestry Energy Programme. Research in Forestry for Energy, Rungstedgaard, Denmark, 449.

Schildbach M, 2002: Untersuchung der Biomasseentwicklung von Pappelklonen im Kurzumtrieb und Fortschreibung der Biomassefunktionen über dem Alter. Diplomarbeit. Fachrichtung Forstwissenschaften TU Dresden. 67 S.

Schildbach M, Hofmann M, Wolf H, 2010: Anlage und Etablierung von Kurzumtriebsplantagen. In: Bemmann, A., Knust, C. (Hrsg.) 2010: AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißensee-Verlag, Berlin: 65-73.

Schneck, V, 2009: Klonbuch für Leuce-Pappeln, Waldsieversdorf, schriftliche Mitteilung

Stockmann F, Hagemann H, Wenzelides M, Krüßmann S, Schulte A, 2010: Baumplantagen in Europa. In: Bemmann, A., Knust, C. (Hrsg) 2010: AGROWOOD – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven.Weißensee-Verlag, Berlin: 271-304.

Weisgerber H, 1992: Recent investigations into geographical variation among provenances of European Larch (Larix decidua Mill.). In: Weisgerber, H. (Ed.): Results and Future Trends in Larch Breeding on the Basis of Provenance Research. Proceedings Meeting of the IUFRO Working Party S2.02-07, Berlin, Germany: 73-86.

Weisgerber H, 1995: Sudetic larch in Germany – Results of provenance and progeny research. In: Martinson, O. (Ed.): Proceedings Meeting of the IUFRO Working Party S2.02-07, Remningstorp and Siljansfors, Sweden: 35-45.

Wolf H, Brandt R, 1995: Growth and Quality of Intra-Specific Aspen (Populus tremula L.) Progenies. Silvae Genetica 44: 319-325.

Korrespondierender Autor:
Dr. Heino Wolf
Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS)
Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft
Referat Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung
OT Graupa
Bonnewitzer Straße 34
01796 Pirna
heino.wolf@smlu.de

Alte Pappelsorten mit Kurzumtriebspotential

Randolf Schirmer, Anna Haikali

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

Zusammenfassung

Die Biomassenproduktion von Kurzumtriebsplantagen wird entscheidend durch die Leistungsfähigkeit der verwendeten Pappelsorten bestimmt. Um Zeit und Kosten für Neuzüchtungen zu sparen, wurden alte Sorten auf ihre Kurzumtriebstauglichkeit hin überprüft. In einem mehrstufigen System der Vorauswahl mittels Matrixverfahren, Bonitur der Entwicklung in Mutterquartieren und Vorprüfungen wurden erfolgversprechende Sorten in Prüffeldern ausgepflanzt. Die Entwicklung der Sorten auf diesen Feldern zeigt, dass v.a. Altsorten mit eingekreuzten Balsampappelanteilen KUP-Potential aufweisen. Die derzeit in Bayern empfohlenen Altsorten werden aufgeführt.

Schlüsselworte: Pappelaltsorten, Selektion, Kurzumtriebstauglichkeit

Abstract

Existing poplar cultivars with potential capacity for short rotation coppices

The biomass production of short rotation coppice (SRC) of poplar is essentially influenced by the productivity of the used poplar clones. To save time and financial resources for new crossings, old poplar clones were evaluated concerning their capability for SRC. In a multi-level preselection process promising clones were filtered and finally planted on clone test fields. The development of these clones shows, that especially old varieties with the involvement of balsam poplars have a SRC potential. The actually in Bavaria recommended old clones, which are a result of the SRC clone testing, are listed.

Keywords: old poplar clones, selection, SRC capability

Einleitung und Zielsetzung

Die Produktionsleistung von Kurzumtriebskulturen (KUP) hängt entscheidend von Standort, Bodenvorbereitung, Umtriebszeit, Pflanzverband und Sorte ab. Besonders die verwendete Sorte beeinflusst den Biomassenertrag maßgeblich. Gute Sorten leisten in einer ersten sechsjährigen Umtriebszeit jährlich 12 Tonnen Trockensubstanz, während schlechte Klone nur zwei Tonnen erzeugen bzw. komplett ausfallen (Schirmer und Haikali, 2014).

In KUP werden Sorten unterschiedlichster intra- und interspezifischer Kreuzungskombinationen zwischen Schwarzpappel- (*Populus nigra*, *P. deltoides*) und Balsampappelarten (*P. trichocarpa*, *P. maximowiczii*) gepflanzt. Diese Kreuzungskombinationen unterscheiden sich sehr deutlich hinsichtlich ihrer Resistenz v.a. gegenüber Pilzen, im Austriebs- und Blattfallzeitpunkt, im Stockausschlagvermögen und in der Jugendraschwüchsigkeit. Alle diese Faktoren beeinflussen die Produktionsleistung.

Bei den verwendeten Sorten handelt es sich um Klone die jeweils identische Eigenschaften aufweisen. Um das Risiko flächiger Ausfälle z.B. durch Pilzbefall verringern und das Standortspotential bestmöglich ausschöpfen zu können, ist der Landwirt auf ein möglichst breites Spektrum an unterschiedlichen Sorten angewiesen. Wegen des klonbedingt erhöhten Risikos bei der Verwendung

genetisch identischer Pflanzen dürfen Pappelsorten nach den Vorgaben des Forstvermehrungsgutgesetzes (FoVG) nur in der Kategorie „geprüft“ auf den Markt gebracht werden. Da bislang nur wenige Sorten nach FoVG amtlich zugelassen und zugleich für KUP empfohlen sind, gibt es zwei Möglichkeiten, die Palette an verfügbaren Sorten zu erweitern: Neuzüchtung oder Bewertung von Altsorten hinsichtlich ihrer Kurzumtriebstauglichkeit.

Das Bayerische Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP) hat sich im Projekt FastWOOD entschieden, aufgrund seiner jahrzehntelangen Erfahrung mit Altsorten diese auf ihre Kurzumtriebseignung hin zu untersuchen. Durch diese Vorgehensweise können Züchtungskosten eingespart und schnellere Ergebnisse erzielt werden.

Ziel ist die Formulierung von Sortenempfehlungen für KUP-taugliche Altsorten bzw. die Neuzulassung von bislang nicht verwendeten Kreuzungen.

Vorgehensweise zur Erfassung der Altsorten

Die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) listet in ihrem Verzeichnis der zugelassenen Pappelsorten (BLE 2012) in den Sektionen Aigeiros und Tacamahaca 54 Sorten auf. 65 % dieser Sorten sind Schwarzpappeln, 20 % Balsampappeln und 15 % intersektionelle Hybride. Neben diesen amtlich gelisteten Altsorten existiert auf Versuchsflächen, Genarchiven und Mutterquartieren noch eine Vielzahl weiterer Altklone.

Die Sortensammlung des ASP wurde im Zuge des Projekts auf ca. 400 Klone ausgebaut, um für Prüfungen Steckholzmaterial bereitstellen zu können.

Typisch für viele alte Sorten ist der Schwerpunkt der Kreuzungskombination *P. x euamericana (P. nigra x P. deltoides).* Sie wurden schwerpunktmäßig in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts vor allem im Flurholzanbau verwendet. Ab den 1960-er Jahren kamen dann zunehmend Balsampappelkreuzungen und intersektionelle Hybriden als sog. „Waldpappeln“ im Hochwaldumtrieb zum Einsatz.

Kennzeichnend für all diese Kreuzungen waren die Selektionsschwerpunkte Resistenz gegenüber Pilzerkrankungen, fehlender Krebsbefall und ausgeprägte Geradschaftigkeit. Die für KUPs wichtige Eigenschaft einer überdurchschnittlich hohen Wuchsleistung in den ersten Jahren nach Absteckung sowie hohe Anwuchsraten war gegenüber den zuerst genannten Merkmalen nachrangig (Tab. 1).

Tabelle 1: Züchtungsziele bei Pappelsorten

Altsorten (Hochwald	Kurzumtriebssorten
Resistenz gegen Pilzbefall	
Gerade Stammform	-
Rasches Dickenwachstum	**Maximaler Biomassezuwachs in den ersten Jahren**
-	Intensives Stockausschlagvermögen
Wipfelschäftigkeit	-
Regelmäßiger Holzaufbau	-

Da die Vielzahl alter Sorten die im Projekt vorgesehenen Möglichkeiten einer Feldprüfung bei weitem überschritten hätte, musste eine Vorauswahl getroffen werden. Grundlage der Sichtung waren die Daten und Aufzeichnungen über die Klone in Versuchsanbauten, Mutterquartieren und Sortensammlungen.

Die Selektion auszuwählender Klone erfolgte in folgenden Schritten (vgl. Abb. 1):

- **Bewertungsmatix**
  Da von Altklonen nur unvollständige Mess- bzw. Boniturdaten vorhanden waren und diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten erhoben wurden, konnte keine Vorselektion der Sorten auf statistischer Grundlage vorgenommen werden.

  Aus diesem Grund wurde eine Bewertungsmatrix nach Bugdahl (1990) angewendet. Dabei handelt es sich um eine Methode zum Vergleich mehrerer Alternativen (Klone) hinsichtlich verschieden gewichteter Bewertungskriterien. Als Kriterien wurden BHD, Anwuchsrate und Rostpilzbefall berücksichtigt Den Klonen wurden auf Grund der Bewertungsergebnisse drei Rangstufen zugeordnet. Nur die Sorten der Rangstufe 1 („mit KUP-Potential“) wurden in den weiteren Auswahlprozess einbezogen (Tubes und Schirmer, 2012).

  Mit diesem Verfahren konnte sich auf 42 % der 426 Klone des ASP Sortenarchivs im weiteren Bewertungsprozess beschränkt werden.

- **Vorprüfung**
  Die im Matrixverfahren als positiv eingestuften 179 Klone wurden in einer Vorprüfung angebaut. Hierbei handelt es sich um ein Prüffeld mit sehr kleinen Versuchsparzellen (2 x 2 Pflanzen) und wenigen Wiederholungen. Vorprüfungen sind notwendig, um bei hohen Klonanzahlen aber nur begrenzt zur Verfügung stehenden Versuchsflächen und limitierten Steckholzmengen erste Ergebnisse hinsichtlich der Kurzumtriebstauglichkeit von Klonen erzielen zu können.

  Vorprüfungen wurden 2010 und 2013 in Lehmbach angelegt. Die Vorprüfung 2013 musste wegen witterungsbedingt sehr schlechter Entwicklung aufgelassen werden.

  Durch die Vorprüfung wurden die in Sortenprüffeldern abschließend zu testenden Klonzahlen auf 8 % des ursprünglich zu beurteilenden Klonkollektivs eingegrenzt.

- **Bonitur der Mutterquartiere**
  Mutterquartiere entsprechen KUPs die im einjährigen Umtrieb bewirtschaftet werden. Sie liefern daher erste Aussagen über die Wuchsleistung nach Wiederaustrieb. Die Sorten wurden in den Mutterquartieren in Laufen zeitgleich mit den Vorprüfungen hinsichtlich ihrer Höhenwuchsleistung bewertet.

- **Sortenprüfung in Prüffeldern**
  Die Sortenprüfung ist Grundlage für die praxisnahe Beurteilung der KUP-Tauglichkeit der vorausgewählten Sorten. Die Sortenprüffeldserie 2014 wurde mit 36 Klonen auf den Versuchsstandorten Lehmbach und Großkarolinenfeld angelegt. Die Pflanzung erfolgte im Verband 0,5 m x 1,8 m mit 48 Pflanzen/Parzelle und drei Wiederholungen. Der vorgesehene Erntetermin ist Winter 2016/17.

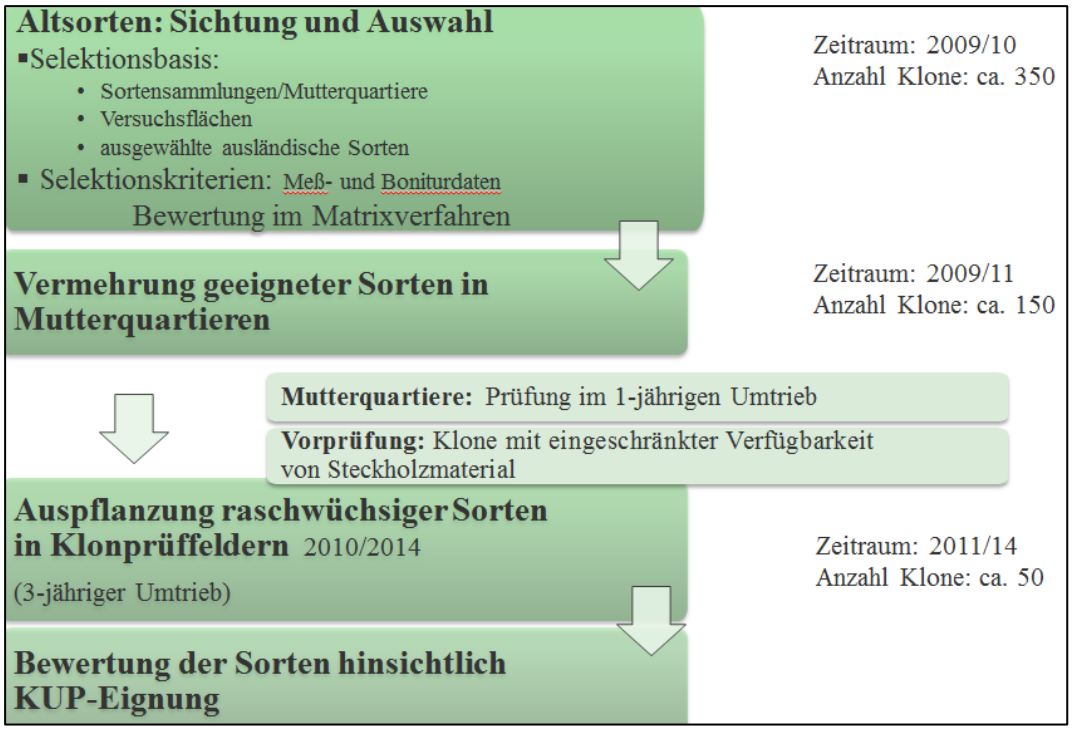


Abb. 1: Ablaufschema der Sortenauswahl und -prüfung

Ergebnisse

Bonitur der Mutterquartiere

Das im Jahr 2012 angelegte Mutterquartier Laufen „Schafweide“ enthält eine Sammlung von 70 Klonen. Einjährige Aufwüchse auf zweijähriger Wurzel erreichten im Mittel eine Höhe von 2,12 m. Die Sortenunterschiede in der Höhenwuchsleistung waren sehr deutlich ausgeprägt: Die besten Sorten wiesen Mittelhöhen von 3,29 m auf, dagegen erreichten die schlechtesten Sorten nur 0,55 m Höhe.

Besonders auffällig war die überdurchschnittlich gute Entwicklung von alten Klonen der Kreuzungsgruppe *P. szechuanica x P. trichocarpa* aus Baden-Württemberg. Schwarzpappelhybride entwickelten sich deutlich schlechter (Abb. 2).

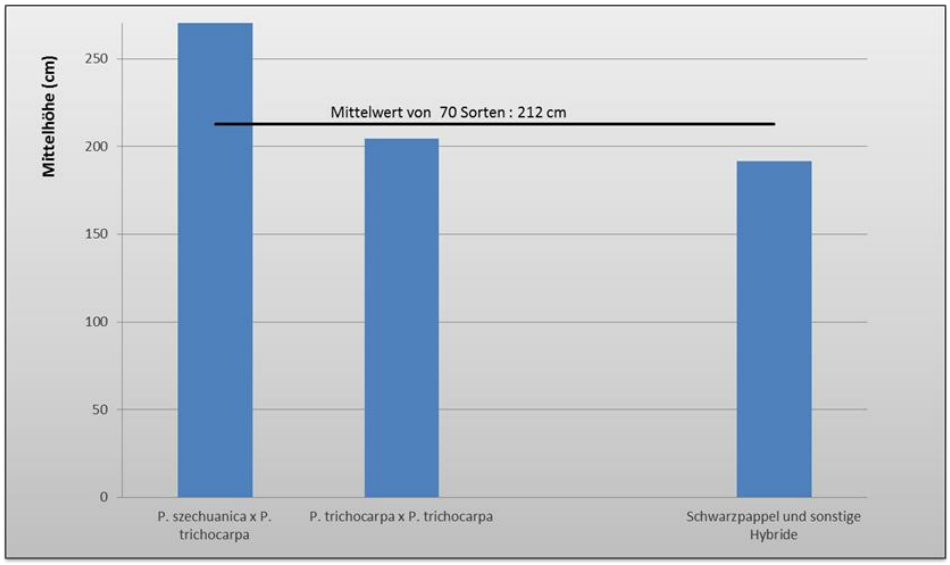


Abb. 2: Mittelhöhe einjähriger Pappeltriebe auf 2-jährigen Stöcken im Mutterquartier Laufen 2012

Die in Tabelle 2 aufgeführten Klone zeigten überdurchschnittliche Höhenwuchsleistungen und lassen auf ein KUP-Potential schließen.

Tabelle 2: Höhenentwicklung der besten Altsorten im Mutterquartier 2012

Kreuzungskombination	Klonbezeichnung	Mittelhöhe einjähriger Triebe [m]
P. szechuanica x P. trichocarpa	FVA BW 8468	3,29
P. szechuanica x P. trichocarpa	FVA BW 8469	3,27
P. szechuanica x P. trichocarpa	FVA BW 8467	3,07
P. szechuanica x P. trichocarpa	FVA BW 8473	2,86
P. trichocarpa x P. trichocarpa	Weser 8	2,85
P. szechuanica x P. trichocarpa	FVA BW 8463	2,84
P. szechuanica x P. trichocarpa	FVA BW 8464	2,82
P. szechuanica x P. trichocarpa	FVA BW 8449	2,79

Entwicklung der Vorprüfungen

Auch in den Vorprüfungen zeigte sich eine sehr klonspezifische Höhenentwicklung der verschiedenen Kreuzungen. Etwa 8 % der Klone der Vorprüfung Lehmbach 2010 wiesen nach dem ersten Wuchsjahr eine 45 % über dem Mittelwert des Kollektivs liegende Höhe auf (Abb. 3).

Die in diesem Prüffeld angebauten Sorten zeigten ein sehr gutes Anwuchsverhalten: 89 % der Klone hatten Anwuchsraten von über 80 %. Der Rostpilzbefall war unbedeutend, etwa 2/3 der Sorten hatten keine bzw. nur sehr geringe Pilzinfektionen.

Das Ergebnis zeigt, dass Altsorten hinsichtlich Anwuchsrate und Rostpilzbefall bereits vorselektiert sind. Bei der Höhenentwicklung als wichtiger Weiser für die Biomassenproduktion bestehen jedoch sehr starke Leistungsunterschiede. Nur bei wenigen Klonen ist eine Leistung auf dem Niveau der empfohlenen KUP-Standardsorten erwarten. Die besten Sorten hatten Jahrestriebe von 1,55 m (Tabelle 3), die schwächsten dagegen nur 0,40 m. Die raschwüchsigsten Sorten waren zu 85 % Balsampappelhybride, dagegen nur zu 15 % Schwarzpappelhybride.

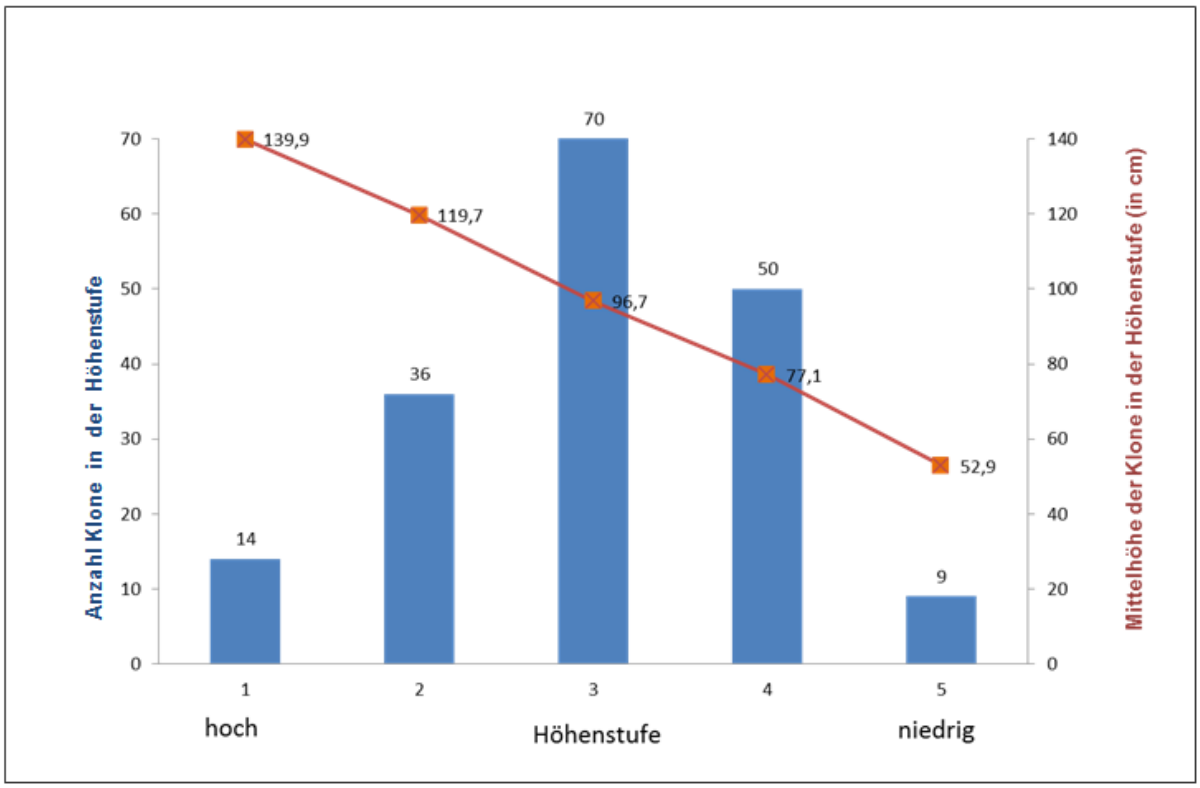


Abb. 3: Verteilung der 179 Klone in der Vorprüfung Lehmbach 2010 nach Höhenstufen (Erste Vegetationsperiode)

Tabelle 3: Höhenentwicklung der besten Altsorten in der Vorprüfung Lehmbach 2010

Kreuzungskombination	**Klonbezeichnung**	**Mittelhöhe einjähriger Triebe [m]**
P. trichocarpa	21091	1,55
P. maximowiczii	126/66	1,50
(P. maximowiczii. x P. x berolinensis) x (P. maximowiczii x P. trichocarpa)	256/63(22)	1,49
P. maximowiczii x P. trichocarpa	Hybride 194	1,46
P. deltoides x P. nigra)	Katrop Angulata	1,44
P. maximowiczii	14/65	1,379
P. maximowiczii	124/66	1,375
P. trichocarpa	Brühl 7	1,36
P. trichocarpa	267/63(12)	1,36
P. maximowiczii	121/66	1,35
P. trichocarpa	Weser 7	1,35
P. deltoides x P. nigra	Floßgrün Speyer	1,33
P. deltoides x P. nigra	Ogy	1,33
	4/94	1,32

Unter süddeutschen Klimabedingungen zeigen Balsampappelkreuzungen (*P. trichocarpa; P. maximowiczii*) höhere Wuchsleistungen als Schwarzpappelkreuzungen (*P. nigra x P. deltoides*). Mit zunehmendem Balsampappelanteil einer Sorte steigt die Wuchsleistung tendenziell.

Aus anderen Sortenprüfungen ist der gleiche Effekt bekannt: Sorten der Sektion Aigeiros zeigten höhere Ausfallraten und waren unter süddeutschen Klimabedingungen deutlich mattwüchsiger als Kreuzungen unter Beteiligung der Sektion Tacamahaca (Abb. 4).

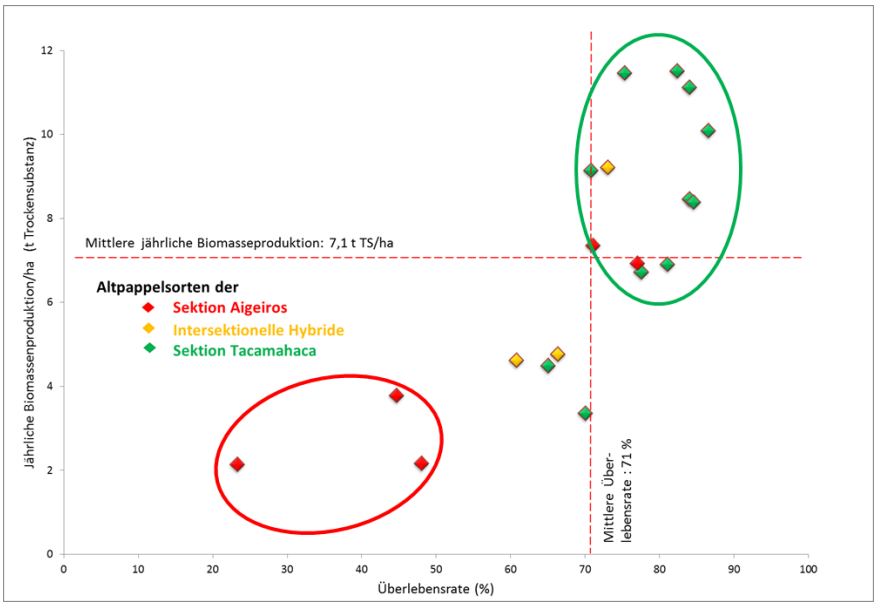


Abb. 4: Beziehung zwischen Pappelsektionen, Überlebensrate und Biomassenproduktion (ASP - Prüffelder; Umtriebszeit sechs Jahre, Schirmer und Haikali 2014)

Entwicklung der Sortenprüfung Altklone

Als Ergebnis der Klonvorauswahl wurden im Frühjahr 2014 Prüffelder mit 36 erfolgversprechenden Sorten in Großkarolinenfeld und Lehmbach etabliert. Bereits vier Monate nach Absteckung zeigten sich deutliche Unterschiede in der Höhenentwicklung der Klone (Abb. 5).

Abb. 5: Höhenunterschiede verschiedener Altsorten 4 Monate nach Absteckung im Prüffeld Großkarolinenfeld 2014

Ende August 2014 lagen 12 von 36 Klonen hinsichtlich Anwuchsrate und Mittelhöhe über dem Flächenmittel. Die Standardsorten Max 1 und Hybride 275 entwickelten sich überdurchschnittlich (Abb. 6).

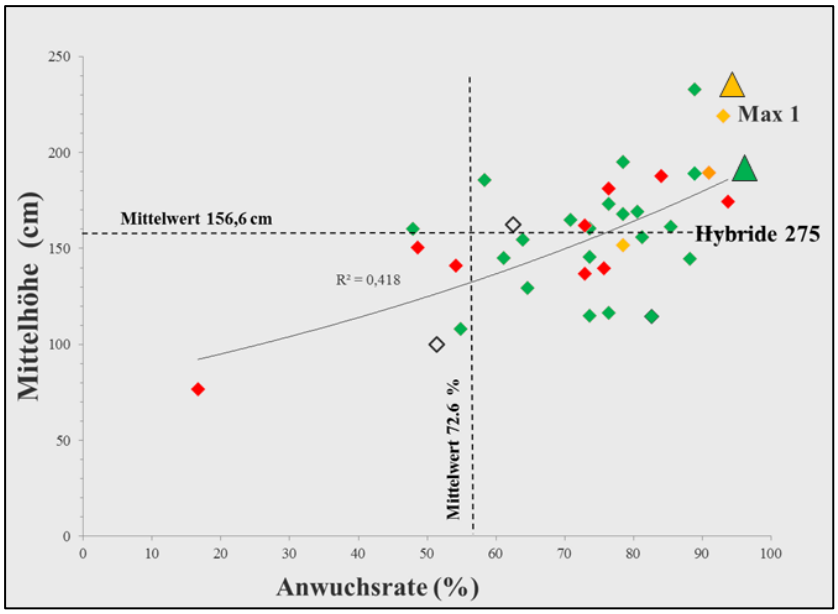


Abb. 6: Beziehung zwischen Anwuchsrate und Mittelhöhe ausgewählter Klone im Prüffeld „Großkarolinenfeld“ im August 2012 des Pflanzjahres (Grün: Balsampappelsorten; Rot: Schwarzpappelsorten; Gelb: Balsam-/ Schwarzpappelhybride)

Folgende Klone zeigten in der Anwuchsphase eine sehr gute Entwicklung: FVA BW 8464; Generosa x Nigra, Klon 960; A4A; Carpaccio, Koltay; NW7-740 N; Brühl 8; NW 7-694 H; I 476 Casale; Columbia River 43/54; Weser 6. Eine abschließende Bewertung ist am Ende der ersten Umtriebszeit unter Berücksichtigung der Daten beider Versuchsstandorte möglich.

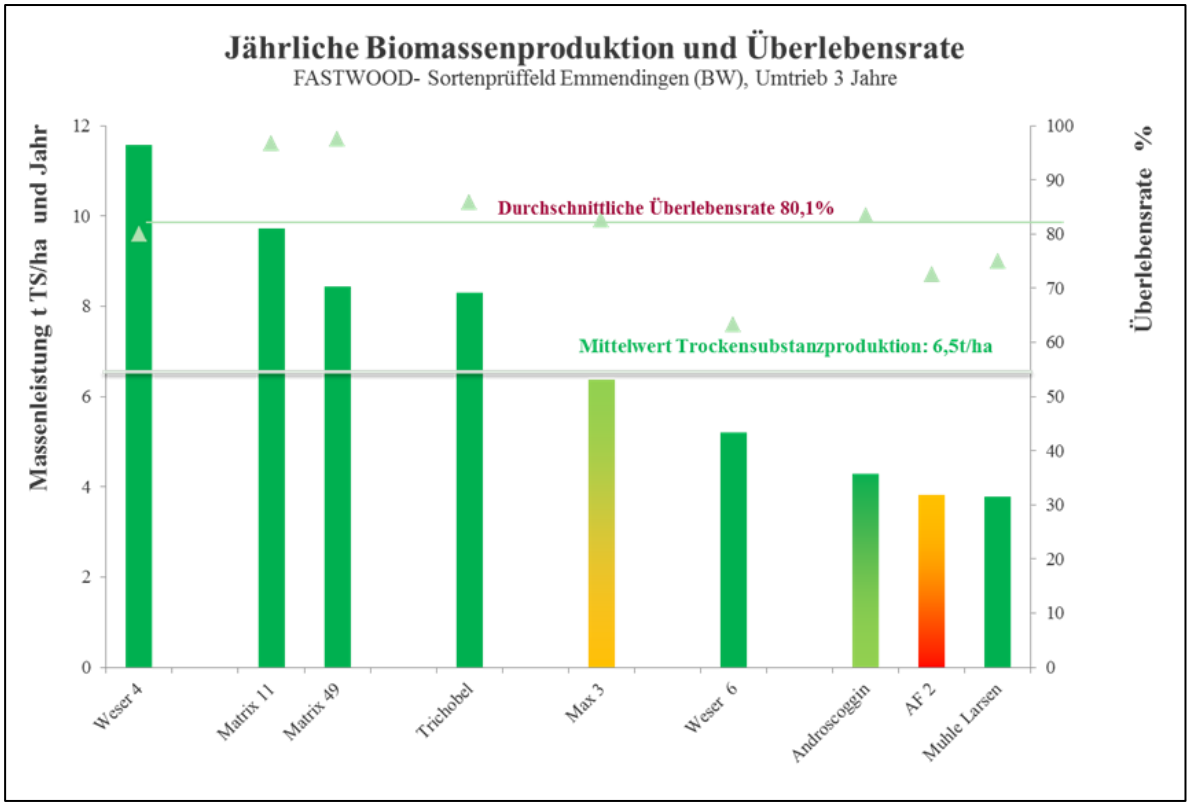


Abb. 7: Jährliche Biomassenproduktion und Überlebensrate nach dreijährigem Umtrieb im Prüffeld Emmendingen (Balsampappeln: grün; Schwarzpappeleinkreuzungen: orange-rot)

Das Sortenprüffeld Emmendingen wurde bereits 2010 angelegt. Nach einer dreijährigen Umtriebszeit sind hier bereits aussagekräftige Daten vorhanden. Sie zeigen, dass alte Sorten wie z.B. Weser 4 und Trichobel Leistungen über dem Niveau der derzeit empfohlenen Standardsorte Max 3 erbringen. Hohe Überlebensraten gehen tendenziell mit höherer Massenleistung einher (Abb. 7). Die Sorte Trichobel zeigt auch nach einer Umtriebszeit von sechs Jahren überdurchschnittliche Leistungen (Schirmer und Haikali 2014). Im ersten sechsjährigen Umtrieb erzielt diese Sorte jährlich ca. 10 % mehr Zuwachs als im ersten dreijährigen Rotationszyklus.

Zusammenstellung der Sorten mit KUP-Potential

Die Sortenprüfungen des ASP zeigen bei ausgewählten alten Pappelsorten eine Eignung für Kurzumtriebskulturen. Während für zahlreiche Sorten im FastWOOD-Prüfprogramm die Ernteergebnisse nach einer Umtriebszeit noch abgewartet werden müssen, sind für einzelne Altsorten bereits Sortenempfehlungen auszusprechen. Tabelle 4 listet die derzeit in Bayern empfohlenen Pappelsorten für KUP auf. Neben den bekannten Standardsorten Max und Hybride sind die Altsorten Trichobel, Scott-Pauley, Fritzi-Pauley, Bakan und Skado eine zusätzliche Anbaualternative für Kurzumtriebskulturen.

Tabelle 4: Auszug aus den „Herkunftsempfehlungen für forstliches Vermehrungsgut in Bayern“: In FoVG in der Kategorie „Geprüft“ zugelassene Pappelsorten und deren Empfehlung für den Kurzumtrieb bzw. Hochwald

Kreuzungsgruppe	Sorte	Züchtungs-jahr	Verwendungsempfehlung		Sortenschutz
			KUP	Hochwald	
P nigra x P. maximowiczii	Max 1 / Max 4		++	— — —	nein
	Max 3		+++	— — —	nein
P. maximowiczii x P. trichocarpa	Hybride 275		++	+++	nein
	Matrix 11	1985	+++		NW-FVA / Hessenforst
	Matrix 24	1985	++		NW-FVA / Hessenforst
	Matrix 49	1985	+++		NW-FVA / Hessenforst
Neu empfohlene Sorten					
P. trichocarpa x P. trichocarpa	Fritzi-Pauley		+++	+	nein
	Scott-Pauley	um 1950	++	+	nein
	Trichobel	1960	++		nein
P. trichocarpa x P. maximowiczii	Bakan	1975	+++		INBO
	Skado	1975	++		INBO

(Eignungsvermerk: — — — = ungeeignet; + = geeignet; + + = gut geeignet; + + + = sehr gut geeignet)

Schlussfolgerungen

Alte Pappelsorten sind in begrenztem Umfang für KUP geeignet. Es kommen jedoch weniger als 8 % der am ASP gesammelten Sorten in Frage. Diese Altsorten zeigen hohe Resistenz gegen Pappelrost und wachsen zu über 80 % an. In der Höhenwuchsleistung entsprechen sie den Standardsorten Max 1 und Hybride 275.

Balsampappelkreuzungen sind im Regelfall geeigneter als Schwarzpappelhybride, da sie wegen des rascher einsetzenden Jugendwachstums und eines früheren Austriebs höhere Erträge liefern. Manche Schwarzpappelkreuzungen können zwar in den ersten Jahren nach Pflanzung mit den

Balsampappelkreuzungen im Höhenwuchs mithalten, stagnieren dann aber hinsichtlich ihrer Gesamtmassenleistung.

Bei den bis jetzt empfohlenen Sorten handelt es sich ausschließlich um alte Züchtungen, die vor mehr als 30 Jahren gekreuzt wurden. Der Vorteil dieser Altsorten für KUP liegt darin, dass es sich um Sorten handelt, die sich bereits im Hochwald bewährt haben und ein deutlich geringeres Risiko hinsichtlich Pilzbefalls aufweisen. Neuzüchtungen erfordern dagegen einen hohen finanziellen und zeitlichen Aufwand und es fehlen mehrjährige Anbauerfahrungen. In der dritten Projektphase ist mit weiteren Sortenempfehlungen zu rechen.

Literaturhinweise

Bugdahl V, 1990: Entscheidungsfindung. Würzburg: Vogel Verlag und Druck KG.

Tubes M, Schirmer R, 2012: Sind alte Pappelsorten für den Kurzumtrieb geeignet? Beiträge aus der NW-FVA, Band 8: 165-180.

Schirmer R, Haikali A, 2014: Sortenprüfung von Pappelhybriden für Energiewälder; LWF-Wissen Nr. 74:106-118

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2012: Die Pappel – Klone, Klonmischungen und Familien-eltern, 12 S.; http://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/02_Kontrolle/07_SaatUndPflanzgut/Pappelklone_mischungen.html

Korrespondierender Autor:
Randolf Schirmer
Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP)
Forstamtsplatz 1
83317 Teisendorf
randolf.schirmer@asp.bayern.de

Kreuzungszüchtung bei Schwarz- und Balsampappeln

Meike Borschel, Christina Fey-Wagner, Steffen Fehrenz, Alwin Janßen

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Hann. Münden

Zusammenfassung

Die Kultivierung von schnellwachsenden Pappeln bietet ökologische und ökonomische Vorteile für die Produktion von Energieholz. Kurzumtriebsplantagen (KUP) werden in dem Zusammenhang als sehr vielversprechend erachtet. Im Rahmen des Züchtungsprogramms des Verbundprojektes „FastWOOD“ (Teilprojekt I) werden durch Neukombination mit, für den Kurzumtrieb geeigneten Elternarten bzw. Elternsorten, neue Hybriden gezüchtet, die sich durch verbesserte Wuchsleistung, höhere Standortflexibilität und geringere Krankheitsanfälligkeit auszeichnen.

Im Rahmen von FastWOOD (Teilprojekt 1) sind inzwischen rund 340 Kreuzungskombinationen vor allem der Arten *Populus trichocarpa*, *P. maximowiczii*, *P. deltoides* und *P. nigra* durchgeführt worden. Bei etwa2/3 dieser Kreuzungen konnten lebensfähige Pappelsämlinge angezogen werden. Diese Nachkommenschaften werden in mehreren Schritten auf ihre Eignung zum Anbau auf KUP selektiert. Selektionskriterien in den Evaluationsverfahren sind hauptsächlich die Wuchsleistung, die Toleranzeigenschaften gegenüber dem Hauptschaderreger, dem Pappelblattrost *Melampsora larici-populina,* und die Wiederausschlagfähigkeit, Dichtstanztoleranz, Vitalität und Viabilität. Das in „FastWOOD“ durch das Teilprojekt 1 durchgeführte Kreuzungsprogramm fokussiert sich auf die Verwendung von Kreuzungspartnern der Sektionen Aigeiros und Tacamahaca. Dabei wurde mit Individuen, die in der Evaluierung durch positive Eigenschaften auffielen oder deren Nachkommen sich in früheren Prüfungen bereits bewährt hatten, gearbeitet.

Stichwörter: Pappel, KUP, Züchtung, FastWOOD

Abstract

New crosses of black and balsam poplars

The cultivation of fast-growing poplars has ecological and economical advantages for production of energy wood. Short rotation coppices (SRC) are regarded as one of the most promising methods for the production of utilizable wood and energy biomass. Due to the increase in importance of biomass produced in SRC and the expansion of opportunities for wood-energy use, the need for improved poplar clones increased as well as the demand for a broad assortment of specially adapted varieties. One aim of the joint research project “FastWOOD” is breeding of suitable black and balsam poplars for biomass production in SRC.

Inter- and intraspecific crosses are carried out to create improved clones. The progenies were selected in terms of leaf rust tolerance and high biomass production. These investigations lead to the recommendations of SRC-operators and land users as well as to improvement economic cultivation of fast growing tree species for biomass production in SRC. As part of the joint project FastWOOD, about 340 crossbreeding combinations have been carried out primarily for the species *Populus trichocarpa*, *P. maximowiczii*, *P. deltoides* and *P. nigra*. Viable poplar seedlings could be grown from about half these crossbreeds. These progenies were selected for their suitability for short rotation

coppices in multi-stage process. The selection criteria in the trials were mainly the growth performance, leaf rust tolerance and coppicing capacity.

Keywords: Poplar, SRC, Breeding, FastWOOD

Einleitung

Die Gattung Populus wird in fünf verschiedene Sektionen (*Aigeiros*, *Leucoides*, *Populus* [früher: *Leuce*], *Tacamahaca* und *Turanga* unterteilt, wobei lediglich die Arten *Populus nigra*, *Populus alba* und *Populus tremula* in unseren Breitengraden heimisch sind. Das Teilprojekt 1 befasst sich mit Evaluierung, Züchtung, genetische Charakterisierung sowie Sortenprüfung auf Leistung und Resistenz von Pappeln der Sektionen *Aigeiros* (Schwarzpappeln) und *Tacamahaca* (Balsampappeln).

Populus nigra ist in Mitteleuropa heimisch und tritt als Flussbegleiter in gemäßigten Zonen auf. Hier kann auf natürliche Bestände z. B. am Elbufer bei Magdeburg und in den Rhein- oder Ederauen (Abb. 1) und somit verschiedene Refugialräume zurückgegriffen werden.

Abb. 1: *Populus nigra* Altbaum in den Ederauen

Populus deltoides, die in den nördlichen und östlichen Teilen Nordamerikas natürlich vorkommt, kann mittlerweile auch in Deutschland als invasive Art vorgefunden werden.

Aus der Sektion Tacamahaca wird hauptsächlich mit den Arten *P. maximowiczii* und *P. trichocarpa* gekreuzt. *P. maximowiczii* ist in Asien heimisch und *P. trichocarpa* ist im westlichen Nordamerika natürlich beheimatet. Beide Arten kommen in Deutschland nur als Kulturbäume vor.

Die NW-FVA betreut drei verschiedene Populeten, die Mitte der 60er Jahre angelegt worden und verfügt somit über einen Bestand an Altbäumen aller vier Arten, die sich als Kreuzungseltern eignen. Hier finden sich vor allem Bäume der oben genannten Arten. Zusätzlich kann auf Bäume alter Versuchsflächen zurückgegriffen werden.

Des Weiteren wurden in den bisherigen Kreuzungen die Arten *P. simonii*, *P. cathayana*, *P. szechuanica*, *P. koreana* und *P. ussuriensis* aus der Sektion Tacamahaca verwendet. Das Material hierfür konnte zum Teil aus eigenen Beständen und zum Teil über Kooperationspartner bezogen werden.

Kreuzungszüchtung im Teilprojekt 1 des Verbundprojektes FastWOOD

Als Kreuzungseltern werden Individuen gewählt, die durch ihre positiven Eigenschaften im Bezug auf die Eignung für KUP (Höhe, WHD/ BHD und Rosttoleranz) auffielen. Ziele, die das Züchtungsvorhaben verfolgt, sind die Erweiterung der genetischen Vielfalt, Steigerung der Biomasseleistung im Bezug auf Lignin- und Zellosegehalt, Rindenanteil und Wassernutzungseffizienz, Verbesserung von Resistenzen gegenüber Blattrost und Insekten, Erhöhung des ökologischen Potentials bezüglich der Standort-amplitude sowie die Erhaltung genetischer Ressourcen. Hierzu werden inner- und intersektionelle als auch intra- und interspezifische Kreuzungen durchgeführt, wobei geografisch gesehen Europa, Asien und Nordamerika abgedeckt werden. Abbildung 2 zeigt sowohl einen Überblick über die zur Kreuzung verwendeten Arten als auch über die durchgeführten Kreuzungen.

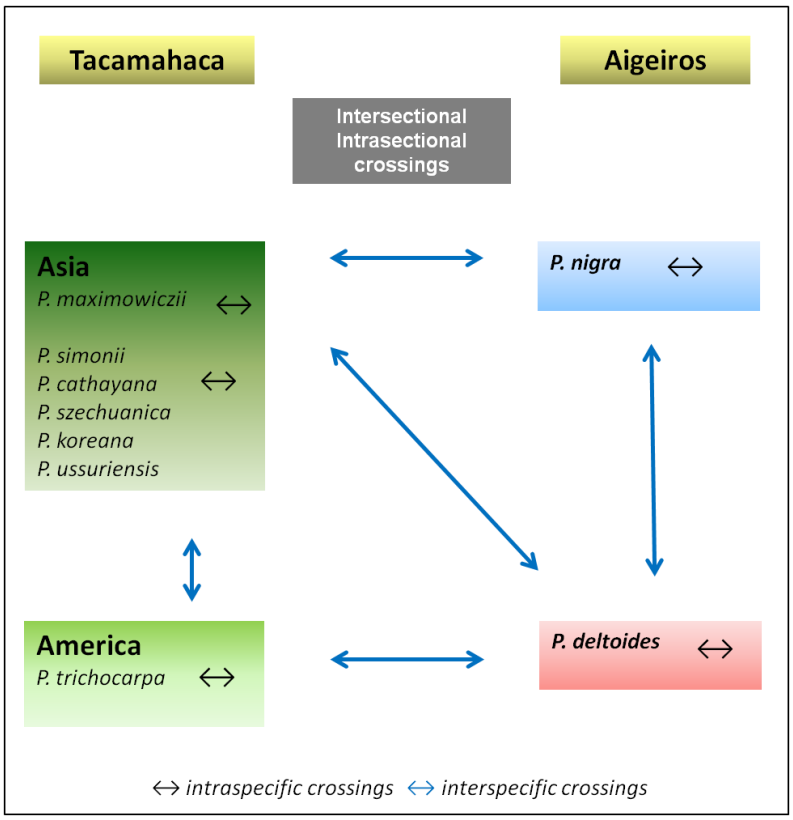


Abb. 2: Überblick über die zur Kreuzung verwendeten Arten und die durchgeführten Kreuzungen

Die Werbung der Blühreiser (Abb. 3) findet je nach klimatischen Bedingungen von Januar bis März statt. Um eine bessere Nährstoffversorgung der Früchte zu gewährleisten, werden die weiblichen Reiser zunächst bewurzelt. Hierzu werden die Reiser in Erde getopft und in eine Anlage, die es ermöglicht, die Töpfe feuchtwarm (25 °C) und die Knospen kalt (4 °C) und dunkel zu halten (Abb. 4a), gebracht. Nach einer Zeit von vier bis sechs Wochen sind die weiblichen Reiser bewurzelt und stehen zur Kreuzung zur Verfügung. Die männlichen Blühreiser werden in Wasser eingestellt und bei Raumtemperatur zum Blühen gebracht (Abb. 4b). Der Pollen wird aufgefangen, getrocknet und gereinigt. Die bewurzelten weiblichen Blühreisen werden zur gezielten Bestäubung in spezielle

Kreuzungskabinen, die aus einem pollenundurchlässigen Fleece bestehen, gebracht (Abb. 5 a). Hier findet eine gezielte Bestäubung mit Hilfe eines Pinsels statt (Abb. 5 b und c).

Abb. 3: Blühreiserwerbung mittels Hubsteiger

Abb. 4: Bewurzelung weiblicher Blühreiser (a), Pollengewinnung (b)

Abb. 5: a: weibliche Reiser in Kreuzungskabinen, b und c: Bestäubung mit Hilfe eines Pinsels

Die Samen werden auf Quarzsand (Abb. 6) aufgelegt, bewässert und zur Keimung gebracht. Nachdem die Keimlinge eine gewisse Größe erreicht haben, werden sie in spezielle Anzuchterde pikiert und unter Gewächshausbedingungen (Abb. 7) angezogen.

Vor der Auspflanzung in den Frühbeetkasten findet eine spezielle Rostbehandlung statt, bei der eine Sporensuspension auf die Sämlinge gesprüht wird, um eine möglichst frühe Selektion gegenüber Blattrost zu gewährleisten. Im Spätsommer werden die Sämlinge in Freilandbeete (Abb. 8) aufgrund ihres Wuchses und der Blattrosttoleranz selektiert, wo sie zwei Jahre bis zur Verklonung kultiviert werden.

Abb. 6: Keimlinge auf Quarzsand

Abb. 7: Sämlinge im Gewächshaus

Abb. 8: Sämlinge im Freilandbeet

Die weitere Verklonung findet nach ca. 2 Jahren und einer weiteren Selektion aufgrund der Parameter Höhe, WHD und Rosttoleranz statt. Nach weiteren zwei Jahren werden die besten Klone der Selektion auf Versuchsflächen ausgebracht, um ihre Eigenschaften im Praxisversuch (Abb. 9) zu überprüfen. Alle verklonten Prüfglieder werden mittels Mikrosatelliten-Markern eindeutig genetisch charakterisiert, um bei möglichen Verwechslungen die Identität sicherstellen zu können.

Abb. 9: Versuchsfläche Stölzingen (Hessen)

Bisherige Kreuzungsarbeiten des Teilprojekt 1

Während zwei Projektphasen von FastWOOD wurden ca. 340 Kreuzungen durchgeführt. Bei über 2/3 konnten überlebensfähige Nachkommen angezogen werden. Es hat sich gezeigt, dass die Kreuzungen aus *P. maximowiczii* und *P. trichocarpa* die beste Wuchsleistung und Resistenzen aufwiesen, wobei die weitere Evaluierung in den kommenden Jahren abzuwarten bleibt. Weiterführende Ergebnisse sind im Beitrag Janßen et al. (2015) dargestellt.

Die Zahl der in den Jahren 2007 bis 2014 in Hann. Münden durchgeführten Kreuzungen kann der Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Übersicht der bislang in FastWOOD (Teilprojekt 1) durchgeführten Kreuzungen

	Jahr	♀	♂	Kreuzungen	Nachkommen	Vorprüfung 1	Vorprüfung 2	Versuchsfläche
FastWOOD 1	2009	29	18	86	4.902	425	228	21
	2010	18	10	54	2.887	95	30	*
	2011	16	16	45	2.952	287	*	*
FastWOOD 2	2012	22	17	46	2.300	*	*	*
	2013	22	19	69	2.000	*	*	*
	2014	17	9	47	*	*	*	*

* Daten noch nicht verfügbar

Ausblick

Im Verlauf des Projektes sollen sowohl weitere Kreuzungen mit ausländischem Material, was durch Kooperationspartner (u. a. INBO Belgien) bezogen wird, durchgeführt als auch bewährte Kreuzungen wiederholt und verifiziert werden. Außerdem sollen neue Ressourcen im Sinne neuer Elternbäume bzw. neuer Bestände erschlossen werden. Begleitend hierzu findet weiterhin eine kontinuierliche Evaluation neugezüchteter Klone bis hin zum Zulassungsverfahren statt.

Literatur

Janßen A, Grotehusmann H, Moos M, Schuppelius T, Stiehm C, (2015): Pappel-Sortenprüfung im Kurzumtriebs-Verbundprojekt FastWOOD. Ergebnisse der Versuchsserien 2010 und 2011. Thünen Repor 26: 59-70.

Korrspondierende Autorin:
Meike Borschel
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abteilung C, Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
34346 Hann. Münden
meike.borschel@nw-fva.de

Pappel-Sortenprüfung im Kurzumtriebs-Verbundobjekt FastWOOD: Ergebnisse der Versuchsserien 2010 und 2011

Alwin Janßen, Helmut Grotehusmann, Matthias Moos, Thilo Schuppelius, Christoph Stiehm

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Hann. Münden

Zusammenfassung

In den Jahren 2010 und 2011 sind 10 Versuchsflächen auf insgesamt rund 9 Hektar in Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Niedersachsen, Sachsen und Sachsen-Anhalt mit insgesamt etwa 100.000 Steckhölzern und 46 neuen Prüfgliedern sowie 11 Vergleichs-Klonen angelegt worden. Die Versuchsflächen werden im dreijährigen Umtrieb bewirtschaftet. Um eine Verzahnung mit dem Verbundvorhaben „ProLoc“ zu gewährleisten, wurde das gleiche Versuchs-design verwendet. Nach der ersten dreijährigen Umtriebszeit werden die drei auch in ProLoc angebauten Pappelklone 'Max 1', 'Hybride 275' und 'AF 2', die als Referenz (Kontrollgruppe) dienen, von vielen Prüfgliedern deutlich in der Wuchsleistung übertroffen. In der Serie 2010 hatten 15 von 25 Prüfgliedern und in der Serie 2011 15 von 21 Prüfgliedern eine signifikant höhere Trockenmassen-leistung. In der Biomasseleistung pro Hektar und Jahr erreichen die besten Prüfglieder auf einzelnen Versuchsflächen fast doppelt so hohe Werte wie die Kontrollgruppe.

Stichworte: Züchtung, Sortenprüfung, Pappel, Kurzumtrieb, KUP

Abstract

Testing poplar clones for short rotation coppices in the joint research project FastWOOD: results of the experiments established in 2010 and 2011

Altogether 10 trials are established in 2010 and 2011 in Baden Wurttemberg, Bavaria, Brandenburg, Hessen, Lower-Saxony, Saxony and Saxony-Anhalt with roundabout 100.000 cuttings and 46 new clones and 11 reference clones on 9 ha. The trials are managed in a three year rotation cycle. To interlock our trials with the joint project ProLoc same trial design is used. After the first three year rotation cycle the three in ProLoc planted clones 'Max 1', 'Hybride 275' and 'AF 2' using as a reference group were outperformed by many new clones. In 2010 15 of 25 new clones and 2011 15 of 21 new clones had a significant increased growth. The biomass yield per year and hectare are clearly higher on single trails with nearly twice the data of the reference group.

Keywords: Breeding, clonal test, poplar, short rotation coppice, SRC

Einleitung

Hackschnitzelerzeugung auf Kurzumtriebsflächen ist eine Möglichkeit, regenerative Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen anzubauen und Biomasse zu erzeugen. Gegenüber anderen Biomasseketten ist mit Kurzumtriebsflächen eine höhere CO_2-Vermeidung bei gleichzeitig sehr geringen Vermeidungskosten möglich. Außerdem ist die ökologische Beurteilung im Vergleich zu intensiv genutzten Ackerflächen positiv (Janssen et al. 2011, 2012).

Leider stehen bei Pappel, der neben Weide wichtigsten Gattung für den Anbau im Kurzumtrieb, bisher nur wenige Klone zur Verfügung. Hauptsächlich wurden in den letzten 15 Jahren die Klone 'Max 1', 'Max 3', 'Max 4', 'Hybride 275', 'Muhle Larsen' und 'Androscoggin' auf Kurzumtriebsflächen

angepflanzt. Diese Klone wurden speziell für den Anbau im Wald gezüchtet, auch wenn eine Verwendung im Kurzumtrieb prinzipiell möglich ist; eine spezielle Züchtung für den Anbau in kurzen Umtrieben fand in Deutschland bisher nur in Ansätzen statt. Dazu zählen die Klone 'Matrix 11', 'Matrix 24' und 'Matrix 49', die seit 2010 nach dem Forstvermehrungsgutgesetz zugelassen sind und in den letzten zwei Jahren wegen ihrer gegenüber den oben aufgeführten älteren Klonen verbesserten Wuchs- und Resistenzeigenschaften vermehrt angebaut wurden.

Eines der Hauptziele der Abteilung Waldgenressourcen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) innerhalb des FastWOOD-Verbundvorhabens ist die Züchtung und Sortenprüfung von Schwarz- und Balsampappeln für den Anbau im Kurzumtrieb. Erreicht werden soll eine höhere Wuchsleistung verbunden mit einer besseren Resistenz gegenüber Pathogenen wie dem Pappelblattrost.

Versuchsflächenanlagen 2010 und 2011

Im Jahr 2010 konnten insgesamt sechs Versuchsflächen mit Schwarz- und Balsampappeln begründet werden (Abb. 1). Drei dieser Versuchsflächen wurden vom Teilprojekt 1 angelegt. Die Anlage von drei weiteren Flächen erfolgte in Kooperation mit Teilprojekt 3 (SBS), Teilprojekt 4 (ASP) und der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA-BW), einem Unterauftragnehmer des Teilprojektes 4. Die Standorte sollten dabei den Bereich potentieller Standorte für Kurzumtriebsplantagen möglichst repräsentativ abdecken. Sie wurden auf das gesamte Bundesgebiet verteilt angelegt. Es handelt sich um zwei trockene Standorte mit kontinentalgeprägtem Klima im Bereich der Dahlener Heidehochfläche (Thammenhain II, Sachsen) und in Wallstawe (Sachsen-Anhalt), um einen Mittelgebirgsstandort mit rauerem Klima in Stölzingen (Nordhessen) und um einen küstennahen Standort mit atlantisch geprägtem Klima in Anderlingen (Niedersachsen). Zudem wurden eine Versuchsfläche auf einem Standort im Übergangsbereich atlantisch-kontinental in Süddeutschland bei Lehmbach in Bayern mit häufiger Frühjahrstrockenheit und feuchten Sommern sowie eine weitere in Emmendingen (Baden-Württemberg) im feucht-warmen Klima des Oberrheingrabens angelegt.

Alle Versuchsflächen wurden nach einheitlichem Muster gestaltet. Dieses orientiert sich am Parzellendesign des „ProLoc“-Verbundprojekts (Hofmann et al. 2012), um auch mit diesen fast 40 Flächen gesicherte Beziehungen herstellen zu können. Das Grunddesign jedes Versuchs umfasst 216 Parzellen, die als unvollständige Blockanlage (Dreisatzgitter) mit 36 gemeinsamen Prüfgliedern und sechs Wiederholungen randomisiert auf den Flächen verteilt wurden. Auf einzelnen Versuchen wurden weitere Prüfglieder außerhalb des Grunddesigns getestet. Die Einzelparzellen besitzen eine Größe von 7,2 m x 6,5 m. Je Parzelle wurden 48 Steckhölzer (20 cm lang) in einem Verband von 1,8 m x 0,5 m ausgebracht. Zum Schutz vor Wildschäden wurden die Flächen eingezäunt (Janssen et al. 2012). Diese Flächen wurden im Winter 2012/2013 das erste Mal nach dreijährigem Umtrieb geerntet.

Die vier Flächen für die zweite Sortenprüfung wurden im April 2011 angelegt. Neben der Erweiterung der 2010 angelegten ersten Sortenprüfungen in Lehmbach (Bayern; Teilprojektpartner 4) und Wallstawe (Sachsen-Anhalt; TP 1) wurde für eine der neuen Sortenprüfungen ein relativ trockener Standort mit kontinental geprägtem Klima in Stolzenhagen (Brandenburg; TP 2) ausgewählt. Das Klima der 2011 angelegten hessischen Fläche in Stiedenrode (Hessen; TP 1) ist im Vergleich zur 2010 in Stölzingen angelegten Fläche etwas milder. Die Lage der 2010 und 2011 angelegten Flächen ist in Abbildung 1 zu sehen. Im Frühjahr 2011 erfolgte die Versuchsflächenanlage in Stolzenhagen (Landkreis Barnim) zusätzlich mit Balsam-Pappelklonen, die durch die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt in Nachkommenschaften frei abgeblühter Mutterbäume selektiert wurden. Leider musste diese Fläche wegen extrem hoher Pflanzenausfälle aufgrund des Ausbleibens von Niederschlägen bis Mitte Mai 2011 bereits im Anlagejahr wieder aufgegeben werden.

Die jeweils rund 0,8 ha großen Flächen wurden ebenfalls als Dreisatzgitter mit je 25 verschiedenen Prüfgliedern in sechs Wiederholungen mit insgesamt 1.152 Steckhölzern pro Klon bestückt. Das Parzellendesign (Verband, Anzahl der Pflanzen) richtete sich wie auch 2010 an dasjenige der „ProLoc“-Flächen aus. Der Pflanzverband wurde abweichend von der Serie 2010 auf 2,0 m x 0,5 m modifiziert. Die im Frühjahr 2011 angelegten Flächen wurden erstmals im Winter 2013/2014 geerntet.

Prüfglieder

Auf den noch existierenden älteren Versuchsflächen und von Klonarchiven der NW-FVA wurden 2009 anhand alter Aufnahmeergebnisse und aufgrund neuerer Messungen die für den Kurzumtrieb am geeignetsten erscheinenden Klone ausgewählt. Von diesen wurden Reiser geworben, um durch wiederholte vegetative Vermehrung mit Steckhölzern eine genügend große Zahl für die Anlage von Versuchsflächen zu erhalten (Janssen et al. 2012). Insgesamt sind 29 Klone für die Versuchsanlage im Jahr 2010 ausgewählt worden. Dazu wurden 11 bereits bekannte Vergleichsklone verwendet (Tabelle 1).

Im Jahr 2007 wurden Pappelsamen von einigen Bäumen des Balsampappel-Populetums der NW-FVA in Vaake gewonnen. Diese wurden in einer vierjährigen Vorprüfung in der Baumschule nach den Kriterien Durchmesser, Höhe, Pappelblattrostbefall und Wiederausschlagfähigkeit selektiert. Insgesamt 21 Klone wurden für die Versuchsanlage im Jahr 2011 neben vier Vergleichsklonen ausgewählt (Tabelle 2).

Tabelle 1: Prüfglieder der Versuchsserie 2010 (x ? = freie Abblüte)

Klonname	Prüfglied-Nr.	Art
Neue Klone:		
	NW 7-17 C	*P. trichocarpa*
	NW 7-18 D	*P. trichocarpa*
	NW 7-72 T	*P. x generosa x ?*
	NW 7-78 A	*P. trichocarpa*
	NW 7-91 R	*P. trichocarpa*
	NW 7-177 T	*P. trichocarpa x P. deltoides*
	NW 7-180 W	*P. trichocarpa x P. deltoides*
	NW 7-183 A	*P. trichocarpa x P. deltoides*
	NW 7-197 S	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 7-200 V	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 7-204 A	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 7-226 B	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 7-234 L	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 7-236 N	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 7-237 P	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 7-244 X	*(P. nigra x P. maximowiczii) x P. maximowiczii*
	NW 7-255 L	*P. maximowiczii x ?*
	NW 7-344 S	*P. trichocarpa*
	NW 7-352 B	*P. trichocarpa*
	NW 7-375 D	*(P. trichocarpa x P. koreana) x P. maximowiczii*
	NW 7-491 S	*(P. trichocarpa x P. koreana) x P. maximowiczii*
	NW 7-559 X	*P. nigra x P. laurifolia*
	NW 7-587 F	*P. trichocarpa*
Weser 4	NW 7-735 G	*P. trichocarpa*
Weser 6	NW 7-737 K	*P. trichocarpa*
	NW 10-264 N	*(P. maximowiczii x P. x berolinensis) x P. trichocarpa*
Vergleichsklone:		
Hybride 275	NW 7-728 Z	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
Max 1	NW 7-729 A	*P. nigra x P. maximowiczii*
Max 3	NW 7-730 B	*P. nigra x P. maximowiczii*
AF 2	NW 9-868 G	*P. deltoides x P. nigra*
Matrix 11	NW 7-199 U	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
Matrix 49	NW 8-1975 X	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
Matrix 24	NW 9-1347 L	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
Muhle Larsen	NW 7-605 C	*P. trichocarpa*
Standard	NW 7-61 E	*P. trichocarpa x P. koreana*
Androscoggin	NW 7-622 X	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
Standard	NW 7-726 W	*P. maximowiczii*
Trichobel	NW 7-786 T	*P. trichocarpa*
Robusta	NW 7-843 L	*P. x canadensis*
Rochester	NW 9-877 T	*P. nigra x P. maximowiczii*

Tabelle 2: Prüfglieder der Versuchsserie 2011 (x ? = freie Abblüte)

Klonname	Prüfglied-Nr.	Art
Neue Klone:		
	NW 9-64 A	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-141 S	*P. deltoides x ?*
	NW 9-315 Z	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-77 R	*P. maximowiczii x ?*
	NW 9-118 P	*P. deltoides x ?*
	NW 9-309 S	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-255 C	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-279 F	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-48 F	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-281 H	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-297 C	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-254 B	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-364 G	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-65 B	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-45 C	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-52 L	*P. maximowiczii x ?*
	NW 9-327 N	*P. maximowiczii x P. maximowiczii*
	NW 9-313 W	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-379 A	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-41 X	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
	NW 9-99 S	*P. trichocarpa x ?*
Vergleichsklone:		
Max 1	NW 7-729 A	*P. nigra x P. maximowiczii*
AF 2	NW 9-868 G	*P. deltoides x P. nigra*
Hybride 275	NW 7-728 Z	*P. maximowiczii x P. trichocarpa*
Muhle Larsen	NW 7-605 C	*P. trichocarpa*

Berechnungsmethode

Die Datenaufnahme der Zuwachs- und Vitalitätsparameter erfolgte drei Jahre nach der Absteckung jeweils kurz vor der eigentlichen Beerntung der Versuchsfläche. Um Randeffekte weitgehend auszuschließen, wurden nur die beiden Mittelreihen jeder Parzelle mit 20 Pflanzen aufgenommen. Gemessen wurden bei allen Pflanzen der Brusthöhendurchmesser (BHD). Von 18 Bäumen verteilt über das Durchmesserspektrum und über alle sechs Wiederholungen wurde das Frischgewicht ermittelt. Zusätzlich wurde von sechs der 18 Bäume der Wassergehalt im Labor bestimmt. Daraus wurde die Trockenmasse der 18 Bäume errechnet.

Die Schätzung der Gesamtbiomasse erfolgte mit einer Regressionsmethode (Röhle et al. 2006). Für jeden Klon wurde die allometrische Funktion

$$TG_{(Eb)} = a_0 * BHD_{(Eb)}^{a1}$$

aus BHD und Trockenmasse ermittelt. Dabei ist $TG_{(Eb)}$ das Trockengewicht Einzelbaum, $BHD_{(Eb)}$ der BHD des Einzelbaums und a_0 bzw. a_1 die aus der Regressionsfunktion erhaltenen Koeffizienten. Aus den Trockengewichten der Einzelbäume, der Anzahl lebender Bäume je Hektar und dem Standraum des Einzelbaums errechnet sich die Trockenbiomasse je Hektar.

Die varianzanalytische Auswertung für den Einzelversuch erfolgte auf Basis von Parzellenmittelwerten mit dem Programmpaket SAS und der Prozedur PROC MIXED. Die flächenübergreifende Verrechnung der Gesamtserie wurde mit den ermittelten Prüfgliedwerten je Einzelversuch

durchgeführt. Die Berechnungen der Signifikanz erfolgten mit dem Sidak-Test und wurden gegen eine Kontrollgruppe, bestehend aus 'Max 1', 'Hybride 275' und 'AF 2', durchgeführt (Grotehusmann et al. 2015). Die Kontrollgruppe besteht dabei aus den Klonen, die in der ProLoc-Versuchsserie angepflanzt worden sind (Hofmann et al. 2012), und ermöglicht eine Relation zu den ProLoc-Versuchsflächen. Für die Auswertung wurde für jeden Klon und für jede Versuchsfläche eine eigene Regression errechnet.

In Abbildung 2 sind die BDH-/Biomasse-Relationen auf den einzelnen Versuchsflächen der Versuchsserie 2010 über alle Klone zu sehen. Auffällig ist, dass auf der Versuchsfläche in Emmendingen die Biomassekurve (gelb) im höheren BHD-Bereich deutlich flacher verläuft als auf den anderen Versuchsflächen. Im mittleren BDH-Bereich dagegen liegen die Kurven dicht beieinander. Das lässt sich zum einen damit erklären, dass aufgrund der niedrigeren Zahl an Bäumen mit hohem BHD in diesem Bereich die Streuung größer wird. Zum anderen wurde in Emmendingen der deutlich höchste Wassergehalt ermittelt. Er lag hier mit durchschnittlich rund 63 % deutlich über dem Mittel von 57,5 %. Der niedrigste mittlere Wassergehalt wurde in Thammenhain mit 53 % gemessen. In der Serie 2011 liegen die Wassergehalte der drei Versuchsflächen dagegen alle sehr dicht um den Mittelwert von 57,5 %, der mit dem der Serie 2010 übereinstimmt (Grotehusmann et al. 2015).

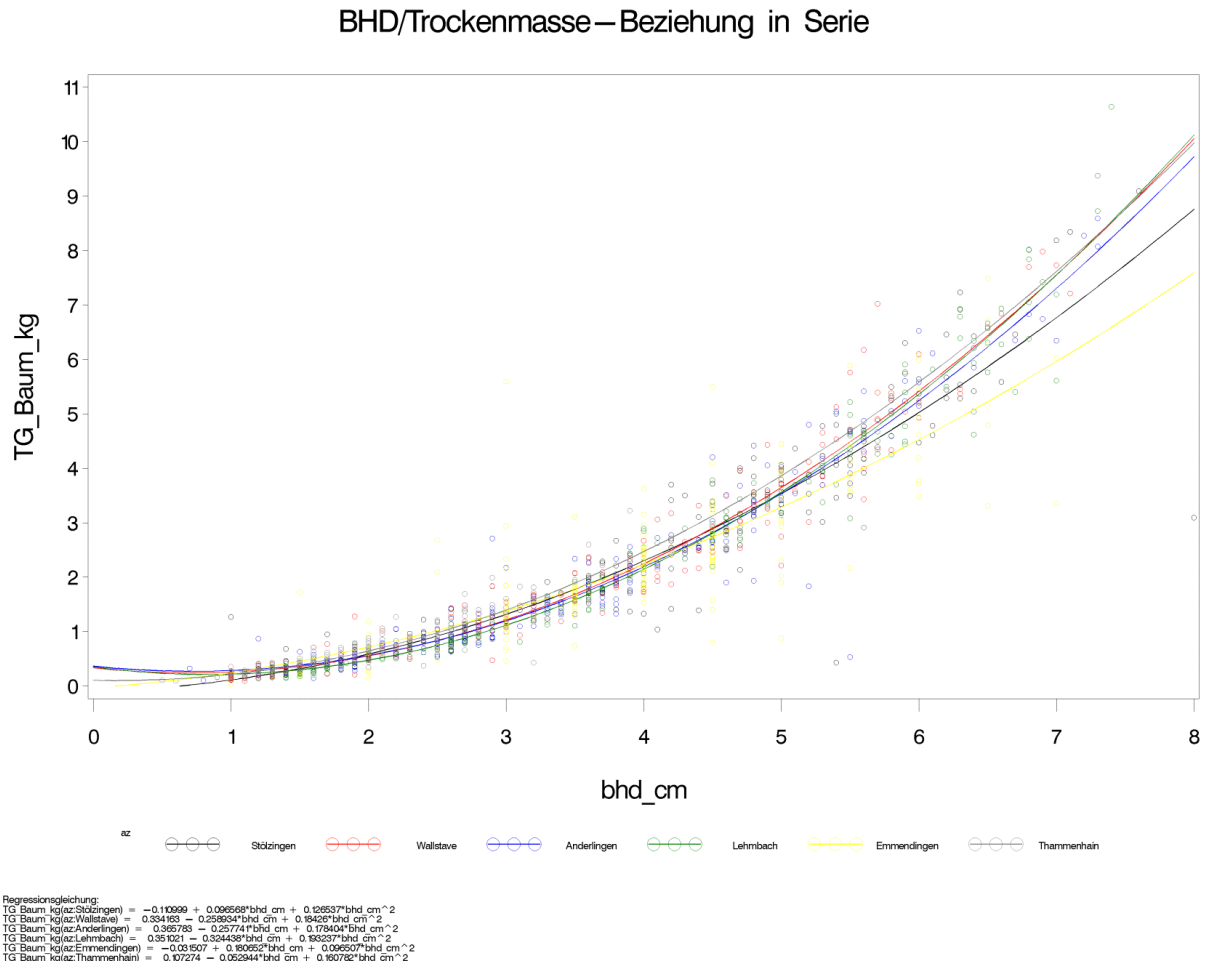


Abb. 2: *Biomassekurven der sechs Versuchsflächen der Serie 2010 über alle Prüfglieder*

Ergebnisse

Überleben

Im Mittel haben über alle 6 Versuchsflächen der Serie 2010 gerechnet 78,7 % der abgesteckten Pflanzen überlebt. Bei den Klonen schwanken die Werte zwischen 43 und 92 %. Erwartungsgemäß ist auch der Klon 'Max 1' in der Gruppe der besten Klone vertreten (Abb. 3). Erfahrungen aus alten Versuchen zeigen, dass bis zu einem Ausfall von 20 % der Biomasseertrag pro Hektar sich kaum vermindert, da dies durch die anderen Pflanzplätze kompensiert wird (Hofmann, mdl. Mitt.).

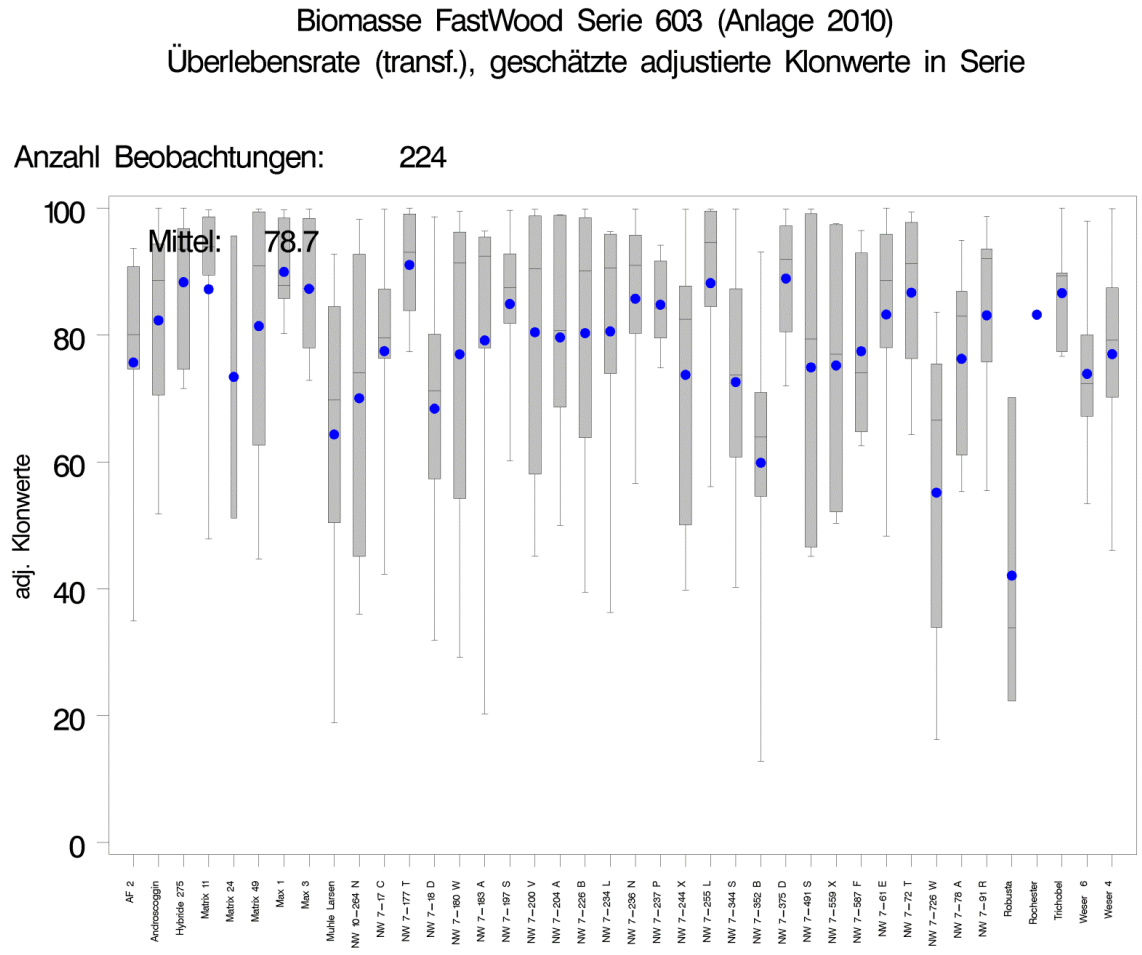


Abb. 3: Überlebensrate über alle sechs Versuchsflächen der Serie 2010

In der Versuchsserie 2011 sind im Mittel über alle drei Flächen 8.123 Pappeln pro Hektar vorhanden. Die Überlebensrate mit 73,1 % liegt damit deutlich unter dem Durchschnitt von 2010. Diese geringere Überlebensrate kann dem im Vergleich zu 2010 trockeneren Bedingungen in den für den Anwuchserfolg wichtigen Monaten April und Mai zugeschrieben werden. Hierfür spricht auch der aufgrund des trockenen Frühjahrs erfolgte Ausfall der Versuchsfläche in Brandenburg. Die beiden Prüfglieder mit einer P. deltoides-Mutter NW 9-141 und NW 9-118 kamen nur auf Anwuchsraten von 23,7 % bzw. 44,3 %, während die anderen 23 Klone zwischen 60,3 % und 88,7 % schwanken (Tabelle 3).

Tabelle 3: Überlebensrate der Prüfglieder der Versuchsserie 2011

Prüfglied-Nr.	Überlebensrate [%]	Prüfglied-Nr.	Überlebensrate [%]
AF 2	78,9	NW 9-315 Z	79,2
Hybride 275	80,5	NW 9-327 N	73,4
Max 1	76,7	NW 9-364 G	76,0
Muhle Larsen	60,3	NW 9-379 A	80,1
NW 9-118 P	44,3	NW 9-41 X	63,2
NW 9-141 S	23,7	NW 9-45 C	73,8
NW 9-254 B	80,0	NW 9-48 F	76,9
NW 9-255 C	77,3	NW 9-52 L	70,2
NW 9-279 F	73,5	NW 9-64 A	88,8
NW 9-281 H	75,7	NW 9-65 B	80,6
NW 9-297 C	79,4	NW 9-77 R	76,2
NW 9-309 S	78,7	NW 9-99 S	78,2
NW 9-313 W	82,2	**Serienmittel**	**73,1**

Trockenmassenertrag

Die wichtigste Kenngröße bei der Bewertung der Prüfglieder ist der Trockenmassenertrag pro Hektar. Die Versuchsflächen unterschieden sich dabei deutlich voneinander. Der Mittelwert schwankt in der Serie 2010 zwischen 0,7 und 8,1 t_{atro} pro Jahr und Hektar (Abb. 4; Trockenmasseerträge in der Abbildung sind über drei Jahre summiert). Die auf den einzelnen Versuchsflächen jeweils besten Klone erreichen zwischen 1,5 und 13,8 t_{atro} pro Jahr und Hektar. In der Serie 2011 schwanken die Biomasseleistungen zwischen 3,6 und 6,2 t_{atro}/ha/a. Die jeweils besten Klone haben zwischen 6,3 und 10,7 t_{atro}/ha/a Trockenmasse erzeugt. Da die erste Umtriebszeit nur bedingt Aussagen auf die Leistungsfähigkeit in späteren Umtrieben zulässt, wurden die Werte mit der von Horn et al. 2013 errechneten Formel auf die zweite Umtriebszeit hochgerechnet. Über alle Klone gemittelt werden auf den Flächen in Emmendingen, Lehmbach und Stölzingen (Serie 2010) über 10 Tonnen Trockenmasse pro Hektar und Jahr produziert. Bei diesem Wert werden etwa 150 € Annuität je Hektar erzielt. Die Flächen in Anderlingen und Thammenhain (Serie 2010) verfehlen auch bei Betrachtung der besten Klone diese Marke. Die jeweils besten Klone der anderen sieben Versuchsflächen aus beiden Serien erzielen mehr als 10 t_{atro}/ha/a (Tabelle 4).

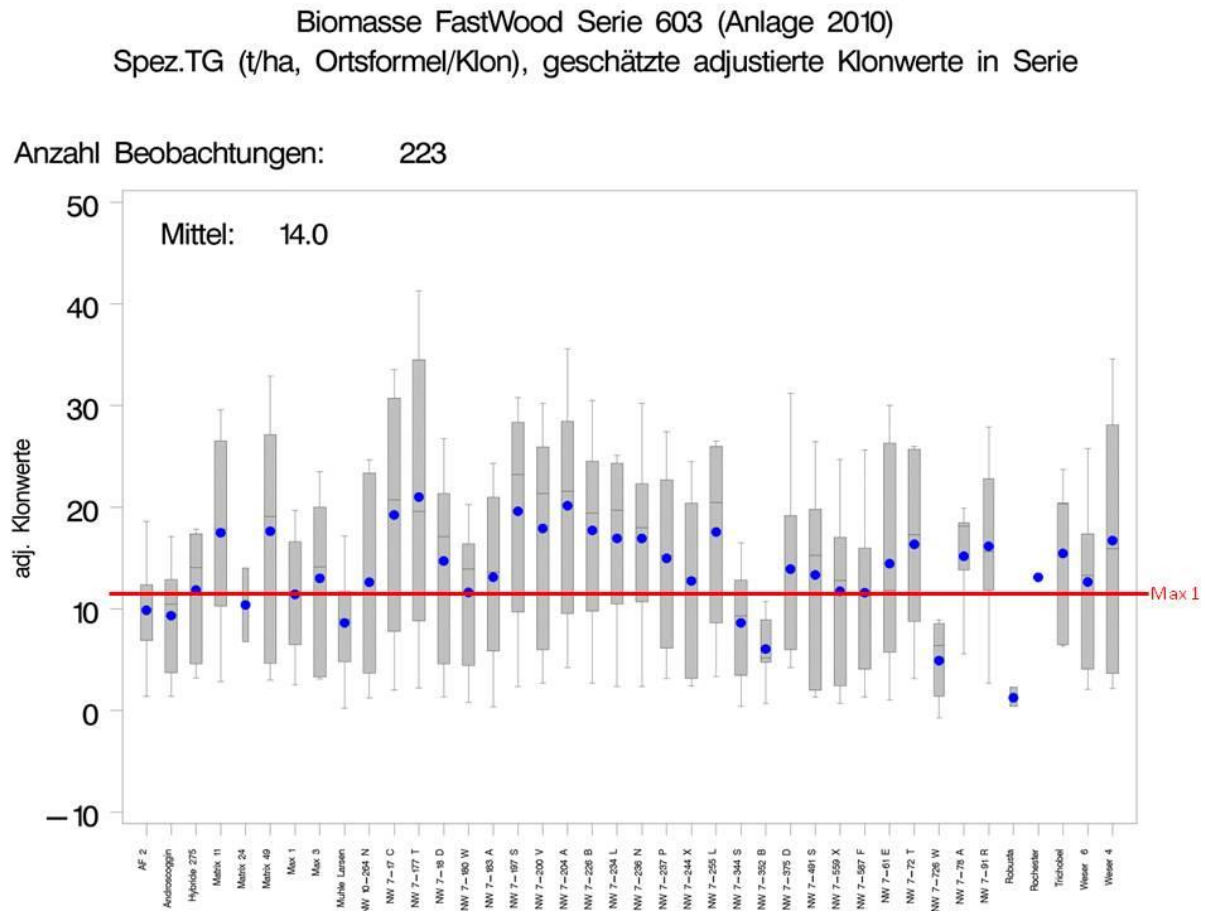


Abb. 4: Gesamttrockenmasseleistung der einzelnen Prüfglieder über alle sechs Versuchsflächen der Serie 2010 (Rote Linie: Trockenmasseleistung des Klons Max 1)

Tabelle 4: Trockenmassenleistung der Versuchsserie 2010 und 2011 durchschnittlich und des jeweils besten Klons; gemessen für die 1. Umtriebszeit und berechnet für die 2. Umtriebszeit nach Horn et al. 2013

Serie	Versuchsfläche	1. Umtrieb gemessen		2. Umtrieb berechnet	
		Mittelwert	bester Klon	Mittelwert	bester Klon
2010	Anderlingen	1,9	3,5	5,3	7,3
	Emmendingen	6,5	10,4	11,0	15,8
	Lehmbach I	8,1	11,6	13,0	17,3
	Stölzingen	6,1	8,9	10,5	14,0
	Thammenhain	0,7	1,4	3,8	4,7
	Wallstawe I	3,9	6,3	7,8	10,7
2011	Lehmbach II	5,0	8,9	9,1	14,0
	Stiedenrode	6,0	9,9	10,4	15,2
	Wallstawe II	3,8	6,4	7,6	10,9

In der Serie 2010 werden im Weiteren nur die vier besten Flächen betrachtet. Im Durchschnitt über diese vier Flächen werden 6,2 t_{atro}/ha/a erzeugt. 15 Prüfglieder, darunter die bereits zugelassenen Klone 'Matrix 11' und 'Matrix 49', sind der Kontrollgruppe aus den ProLoc-Klonen 'Max 1', 'Hybride 275' und 'AF 2' signifikant mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % überlegen (Abb. 5). In der Serie 2011 werden im Durchschnitt über alle Flächen werden 4,5 t_{atro}/ha/a erzeugt. Auch hier sind 15

Prüfglieder der Kontrollgruppe aus den ProLoc-Klonen 'Max 1', 'Hybride 275' und 'AF 2' signifikant überlegen (Abb. 6). In beiden Serien sind vor allem Kreuzungen mit *P. maximowiczii* als Mutter und *P. trichocarpa* als Vater (in den Abb. 5 und 6 grün eingefärbt) als für den Kurzumtrieb hervorragend geeignete Klone einzustufen. Aber auch einzelne *P. trichocarpa*-Klone (gelb eingefärbt) zeigen sehr gute Leistungen. Diese sind im Hinblick auf zukünftige Kreuzungen von großer Bedeutung.

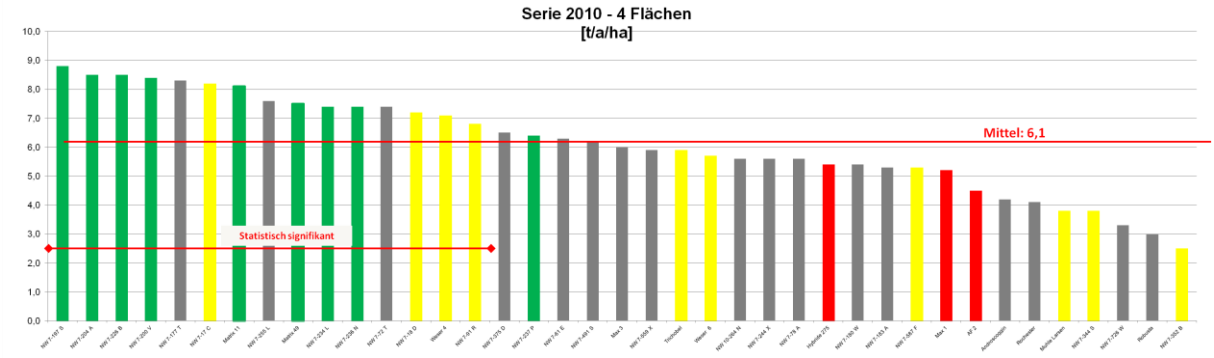


Abb. 5: Gesamttrockenmasseleistung der einzelnen Prüfglieder über die vier wüchsigsten Versuchsflächen der Serie 2010 (Rote Linie: mittlere Trockenmassenleistung; auf 5-%-Niveau statistisch signifikante Prüfglieder markiert)

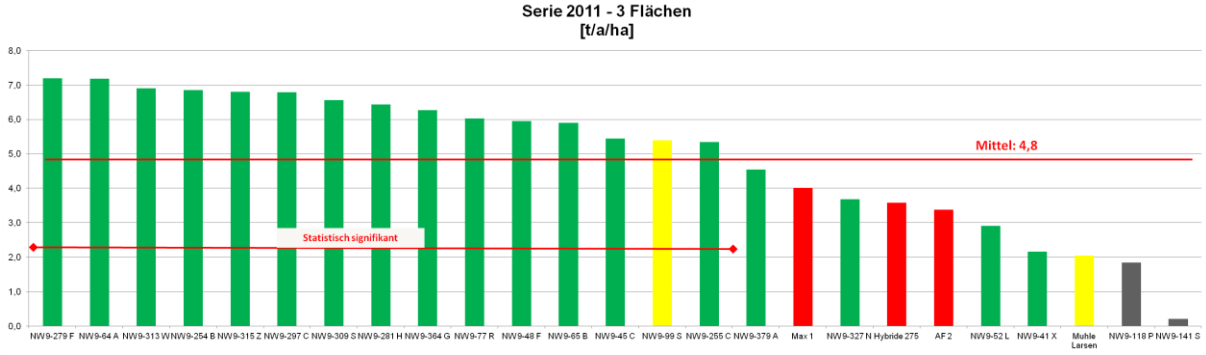


Abb. 6: Gesamttrockenmasseleistung der einzelnen Prüfglieder der Serie 2011 (Rote Linie: mittlere Trockenmassenleistung; auf 5-%-Niveau statistisch signifikante Prüfglieder markiert)

Felduntersuchungen zum Pappelblattrost

Pappelblattrostbefall verursacht durch den Pilz *Melampsora larici-populina* führt letztendlich zu verfrühtem Blattabfall und damit zu Wachstumseinbußen. Um die Feldresistenz der Pappelklone einschätzen zu können, wurde auf den Versuchsflächen jedes Jahr der Blattrostbefall aufgenommen. Detaillierte Ergebnisse sind bei Fey-Wagner et. al (2012, 2015) dargestellt. Diese Ergebnisse werden bei der Empfehlung zur Sortenzulassung berücksichtigt.

Ausblick

Obwohl die Ergebnisse der zweiten Umtriebszeit noch ausstehen, ist die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass einzelne Prüfglieder der Serien 2010 und 2011 deutlich höhere Wuchsleistungen erzielen können als die bisher angebauten Klone. Auch die bereits seit 2010 zugelassenen Klone 'Matrix 49' und 'Matrix 11' haben in der Serie 2010 ihre Überlegenheit zumindest nach der ersten Umtriebszeit nachgewiesen. Für die Jahre 2016 und 2017 werden weitere Zulassungen aus den Serien 2010 und 2011 angestrebt.

Durch Züchtung sind deutliche Steigerungen der Wuchsleistung im Vergleich zu den jetzt angebauten Sorten zu realisieren. Dadurch sind auch deutlich höhere Annuitäten zu erzielen. Die Steigerung der Wuchsleistungen ist nach wie vor das vorrangige Züchtungsziel. Eine durchschnittliche Trockenmassenleistung von 15 t_{atro} pro Jahr und Hektar auf für den Kurzumtrieb geeigneten Standorten sollte mit den besten Klonen erreicht werden können.

Im Rahmen des Verbundvorhabens „FastWOOD“ sind ab dem Jahr 2009 inzwischen rund 340 Kreuzungskombinationen vor allem mit den Arten *Populus trichocarpa*, *P. maximowiczii*, *P. deltoides* und *P. nigra* durchgeführt worden. Bei etwa der Hälfte dieser Kreuzungen konnten lebensfähige Pappelsämlinge angezogen werden (siehe Borschel et al. 2015). Diese Nachkommenschaften werden in mehreren Schritten auf ihre Eignung zum Anbau auf Kurzumtriebsplantagen selektiert. Selektionskriterien in den Vorprüfungen sind hauptsächlich die Wuchsleistung, die Pappelblattrosttoleranz, das Bewurzelungsvermögen und die Wiederausschlagfähigkeit (Hüller 2012). Die Neuzüchtungen werden im Alter von zwei Jahren nach einer ersten Vorselektion im Sämlingsstadium verklont. Alle verklonten Prüfglieder werden mittels Mikrosatelliten eindeutig genetisch charakterisiert, um bei möglichen Verwechslungen während der vegetativen Vermehrung die Identität sicherstellen zu können. In diesen Vorselektionen sind etliche Klone den Klonen der Kontrollgruppe deutlich überlegen. In den Versuchsserien 2013 und 2015 werden erstmals Nachkommen aus gezielten Kreuzungskombinationen geprüft werden, die nochmals eine Steigerung der Wuchsleistung bei verbesserten Resistenzeigenschaften erwarten lassen.

Danksagung

Wir danken dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft für die finanzielle Unterstützung des Projektes FastWOOD über die FNR im Rahmen des Programms „Nachwachsende Rohstoffe“.

Dank gilt auch allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des FastWOOD-Verbundvorhabens für die stets gute und kooperative Zusammenarbeit. Insbesondere gebührt den Kolleginnen und Kollegen der Partnerinstitutionen in Freiburg, Graupa und Teisendorf besonderer Dank für die Anlage, Pflege und Aufnahme der Versuchsflächen in Emmendingen, Lehmbach und Thammenhain.

Literatur

Borschel M, Fey-Wagner C, Fehrenz S, Janssen A, 2015: Kreuzungszüchtung bei Schwarz- und Balsampappeln. Thünen Report 26: 52-58.

Fey-Wagner C, Klippert N, Janssen A, 2012: Untersuchungen zur Pathotypenstruktur des Pappelblattrostes Melampsora larici-populina auf neu angelegten Flächen von Schwarz- und Balsampappeln und ihre Bedeutung für den Kurzumtrieb. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8: 219-235.

Fey-Wagner C, Klippert N, Janssen A, 2015: Untersuchungen zum Resistenzverhalten der in FastWOOD gezüchteten Leistungsträger von Schwarz- und Balsampappeln gegenüber dem Pappelblattrost *Melampsora larici-populina.* Thünen Report 26: 129-139.

Grotehusmann H, Janssen A, Haikali A, Hartmann K-U, Hüller W, Karopka M, Schildbach M, Schirmer R, Schuppelius T, Töpfner K, 2015: Pappelsortenprüfungen im Projekt FastWOOD. Forstarchiv (eingereicht).

Hofmann M, Gallardo DA, Siebert C, 2012: Verbundvorhaben ProLoc: Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8: 9-20.

Horn H, Skibbe K, Röhle H, 2013: Wuchsleistung von KUP aus Pappel in Folgerotationen. AFZ/Der Wald 68, 53-55.

Hüller W, 2012: Von der Kreuzung zur Versuchsflächenanlage: Vorprüfungen zur Selektion der aussichtsreichsten Klone für die Feldversuche. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8: 368.

Janssen A, Fey-Wagner C, 2011: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion von Biomasse auf Kurzumtriebsplantagen. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Trippstadt, Band 69: 107-114.

Janssen, A., Fey-Wagner, C., Czernikarz, H., Gebhardt, K. (2012): Verbundvorhaben „FastWOOD“ und Projekt „Weidenzüchtung“. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8: 1-8.

Röhle H, Hartmann K-U, Gerold D, 2006: Aufstellung von Biomassefunktionen für Kurzumtriebsbestände. Allgemeine Forst-und Jagd-Zeitung 10/11: 178–188.

Korrespondierender Autor:
Dr. Alwin Janßen
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abteilung Waldgeneressourcen
Prof.-Oelkers-Straße 6
34346 Hann. Münden
alwin.janssen@nw-fva.de

Entwicklung von innovativen Bewirtschaftungsverfahren für Robinienbestände (*Robinia pseudoacacia* L.)

Dirk Knoche[1], Christian Lange[1], Jan Engel[2]

[1] Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB), Finsterwalde
[2] Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE), Eberswalde

Zusammenfassung

Seit nunmehr 340 Jahren wird die nordamerikanische Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) in Brandenburg angebaut. Zwar gilt sie als eine vielseitige Wirtschaftsbaumart, jedoch entspricht ihr Holzertragswert kaum den biologischen Möglichkeiten. Lange Zeit vernachlässigt, fehlen vor allem schlüssige Bestandesentwicklungs- und Produktionsziele. Zur Absicherung der waldbaulichen Entscheidung werden ab 2009 standorttypische Stockausschlagbestände als Demonstrationsflächen und unter wissenschaftlicher Begleitung bewirtschaftet:

Die jungen Robinien-Aufwüchse überzeugen durch eine hohe Biomasseleistung und Wuchsdynamik. So kulminiert ihr durchschnittlicher jährlicher Gesamtzuwachs (dGZ_B) bereits im vierten Jahr mit rund 7,5 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}. Wie Ernteversuche bestätigen, kann Energieholz ab einem Triebbasisdurchmesser (d_{00}) von 4 cm zumindest teilkostendeckend erzeugt werden. Allerdings, rentabel ist erst die Nutzung älterer Bestockungen mit stofflicher Verwertung. In 30- bis 50-jährigen Erntebeständen lassen sich beispielsweise Reinerlöse von knapp 6.000 € ha^{-1} realisieren.

Stichworte: Robinie, Stockausschlag, Biomasse, Rentabilität, Holzernte, Holzsortierung

Abstract

Development of innovative management systems for stands of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.)

For the past 340 years North American Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) is cultivated in Brandenburg. Although, a quite promising multipurpose commercial tree species, timber yield is inadequate to the biological potential. For a long time neglected, there are first of all missing coherent stand development and production targets. Therefore, since 2009 site-typical coppice stands are managed as demonstration plots and under a scientific supervision:

The young Black Locust stands convince by their high biomass production and growth dynamics. Average annual biomass increment (dGZ_b) culminates already in 4 years with some 7.5 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}. As harvesting experiments confirm, firewood can be produced at a variable cost-covering sprout basic diameter (d_{oo}) of >4 cm. However, the utilization of older stockings with a focus on timber production is really profitable. Thus, for example in 30 to 50 year old stands net gains of nearly 6.000 € ha^{-1} are realizable.

Key words: Black Locust, coppice shoot, biomass, profitability, logging, timber assortment

„Hatte mal ein Forstmann den Mut, gegen die allgemeine Ansicht die Robinie zu fördern, so fehlten ihm die nötigen Erfahrungen, bei den Vorgesetzten fand er kein Verständnis und der Nachfolger tat prompt das Gegenteil.“
Blümke (1950)

Einleitung

Brandenburg - Ein „robinienreiches“ Land?

Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) nimmt bundesweit etwa 34.000 ha Holzboden ein (BWI[3]). Davon entfallen allein auf Brandenburg zwei Drittel, zumindest inventarisierte 8.100 ha (DSW 2 2011). Zwar bestockt die trockenheits- und hitzetolerante Nebenbaumart weniger als 1-2 % der Waldfläche, angesichts spürbarer Klimaänderungen gewinnt sie aber an Bedeutung (Roloff und Grundmann 2008). Erwiesenermaßen nimmt ihre Konkurrenzstärke seit Jahrzehnten zu (Kleinbauer et al. 2010), bemerkenswert ist vor allem das rasche Jugendwachstum: Im standörtlichen Optimum gipfelt der Biomassezuwachs (dGZ_B) mit etwa 10 t_{atro} ha^{-1} a^{-1} (Knoche und Engel 2012a), selbst auf leichten Rekultivierungsböden des Braunkohlenbergbaus sind noch 7 t_{atro} ha^{-1} a^{-1} möglich. Bis zum Alter von etwa 30 Jahren übertrifft die Robinie alle anderen Waldbaumarten (Lockow und Lockow 2013). Nicht zuletzt wegen ihres begehrten Holzes erscheint sie manchen Forstpraktikern daher als eine ertragreiche „Zukunftsbaumart“ (Knoche et al. 2014a).

Waldbauliche Perspektiven in kurzen Produktionslinien

Dennoch bleibt der Anbau im Wald bis heute umstritten. Häufig entspricht ihr Bestandesertragswert nicht den Erwartungen (Büssow et al. 1997, Manig 2001), lassen sich doch anfängliche Pflegedefizite später kaum mehr korrigieren (Molnár 1992). Dementsprechend hat sie ihre höchste Rentabilitätserwartung im plantagenartigen Anbau mit seinen auf schwache Holzsortimente ausgerichteten Produktionszielen (Hapla 1998, Rédei et al. 2011, Küchler 2001). Für Waldbestände sind solche Entscheidungen jedoch verfrüht, bestimmen doch ganz andere Bedingungen, Motive und Zwänge die Bewirtschaftung. Hinzu kommen ökologische Bedenken, wie etwa die Unduldsamkeit im Mischbestand, eine Stickstoff-Eutrophierung und ihre oft thematisierte Ausbreitung in andere Lebensräume (Kowarik 1990).

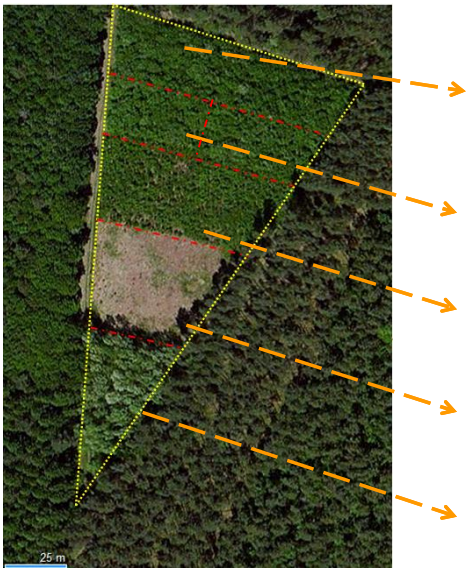
Versuchskonzept und Flächencharakteristik

Die „Wiederbelebung“ historischer Bewirtschaftungsformen

Zur Optimierung des Produktionsablaufes bewirtschaften die beiden Projektpartner *FIB e.V.* und *LFE* seit 2009 zunächst 9 Modellflächen und inzwischen 11 typische Robinienbestände in kurzen und dem Wuchsverlauf angepassten Nutzungszyklen.

Unser wissenschaftliches Interesse gilt den ertragswirksamen Faktoren, waldbaulichen Zusammenhängen, aber genauso ökonomischen und nutzungstechnischen Aspekten. Es wird also die gesamte Holzbereitstellungskette hinterfragt, ausgehend von der Bestandesverjüngung bis zur Vermarktung. Abbildung 1 illustriert das Versuchsdesign am Beispiel der Fläche *Schwenow 1*:

- Das Element (1) „Niederwald“ betrachtet die reine Energieholzproduktion in ein- bzw. zweijähriger Rotation und seit 2012/2013 mit längerem Umtrieb („Midi“-Rotation, U = 15-30 Jahre).
- Für vorrangig stoffliche Verwertungsziele stehen die Varianten: (2) „Mittelwald“ – Überhaltbetrieb von Wertholzbäumen und Nutzung des Zwischenstandes in kurzen Zyklen.
- (3) „Hochwald“ - praxisübliche Bestandesbehandlung in Anlehnung des Ertragstafelverlaufes (ET Erteld 1952), U = 60 Jahre.
- Als waldbauliche Kontrolle dient (4) eine unbehandelte Referenzparzelle, jedoch mit Kennzeichnung und fortlaufender Vermessung aussichtsreicher „Zukunftsbäume“.



Schwenow 1 (2013)
H 5779338 R 3435164 (ETRS 89)

- ***Referenzparzelle*** ohne weitere Eingriffe, 150 Z-Baum-Anwärter ha^{-1}
- ***Parzellen*** mit selektiver und schematischer Freistellung
- ***Kurzumtrieb*** (2 x 2-jährig), ab 2013 als ***„Midi-Rotation“***
- ***Kurzumtrieb*** (3 x 1-jährig), ab 2012 als ***„Midi-Rotation“***
- ***Ausgangsbestand***, 23 Jahre, BON -0.1

Abb. 1: Versuchsanordnung am Beispiel der FastWOOD II-Modellfläche *Schwenow 1*. Die Parzellengrößen betragen rund 0,25 Hektar, Stand: 01.01.2014, Luftbild vom Frühsommer 2012. U = Umtriebszeit / Nutzungszeitraum

Standortspektrum und waldbauliche Ausgangssituation

Nach Tabelle 1 handelt es sich bei den Untersuchungsflächen um trockene bis mäßig frische, ziemlich arme bis reiche Sandbraunerden. Alle Böden sind grundwasserfern; in *Müncheberg* und *Schwenow* 1 begünstigt ein mäßiger Stauwassereinfluss das Waldwachstum (Knoche und Engel 2012b).

Die Ausgangsbestände beschreiben in ihren relativen Höhenbonitäten (BON) das weite Standort- bzw. Leistungsspektrum der Robinie in Brandenburg (DSW 2 2011). Demnach benötigt die Baumart für hohe Zuwächse mindestens mäßig nährstoffhaltige Substrate. Andererseits ist sie eine wichtige Bestockungsalternative für arme Rekultivierungsböden, allein wegen ihrer effizienten Luftstickstoff-Bindung.

Tabelle 1: Übersicht der FastWOOD II-Modellflächen zur Bewirtschaftung der Robinie in kurzen Umtriebszeiten, Angaben für die Ausgangsbestände

Flächen-bezeichnung	Oberförsterei	Alter (2009)	Höhenbonität (BON)	Bodentyp (nach AG Boden 2005)	Standort-einheit
Waldstandorte in Brandenburg					
Schwenow 1	Hammer	19	-0,1	Normbraunerde (BBn)	K2
Schwenow 2	Hammer	45	II,3	Treposol aus Braunerde (BB-YU)	Z2
Schwenow 3	Hammer	45	III,0	Treposol aus Braunerde (BB-YU)	Z2
Schwenow 4	Hammer	62	0,7	Normbraunerde (BBn)	M2
Schwenow 5	Hammer	68	0,3	Pseudogley-Braunerde (SS-BB)	M2
Müncheberg	Hangelsberg	56	0,1	Normbraunerde (BBn)	M2
Kippen-Erstaufforstungen (Lausitzer Braunkohlenrevier)					
Drebkau 1	Peitz	20	I,6	Normlockersyrosem (OLn) Kipp-Kohlesand (pq)	k.A.
Drebkau 2	Peitz	23	II,7	Normregosol (RQn) Kipp-Reinsand (q)	k.A.
Senftenberg	Doberlug	43	III,0	Normregosol (RQn) Kipp-Gemengesand (q/pq)	Z2

Eine umfassende Flächen- und Bestandescharakteristik findet sich bei Knoche und Engel (2012b).
Relative Höhenbonität (BON) nach ET Erteld (1952), Standorteinheit nach Sea 95: Stamm-Nährkraftstufe: K (kräftig), M (mäßig nährstoffhaltig), Z (ziemlich arm); Stamm-Feuchtestufe: 2 (mittelfrisch und grundwasserfern)

Biomassepotenzial

Allometrische Biomassefunktionen für junge Stockausschlagbestände

Grundlage der Massenermittlung sind allometrische Biomassefunktionen des Typs BM = a x d_{oo}^{b} mit nur einer Erklärungsvariablen, hier dem Triebbasis-Durchmesser (d_{00}) (vgl. Ketterings et al. 2001, Fehrmann 2006, Röhle et al. 2009).

Zur Herleitung der Regressionsbeziehung werden je Ernteparzelle 20 Stock- bzw. Wurzelaustriebe ausgemessen und gewogen. Die speziellen, für Einzelflächen und bestimmte Aufwuchsalter berechneten Funktionen sind annähernd deckungsgleich bzw. überlappend (Manthe 2010, Engel und Knoche 2011). So resultiert eine allgemein gültige Gleichung hoher Bestimmtheit (R^2 = 0,9598, Abb. 2), wie sie im Folgenden zur Biomassebestimmung in jungen Stockausschlagbeständen verwendet wird.

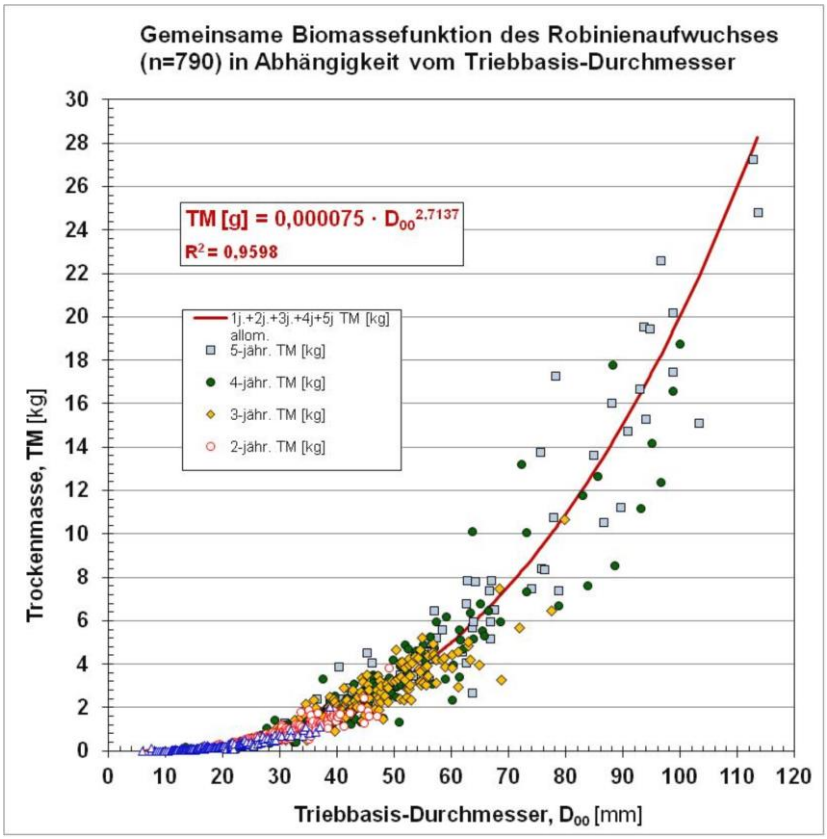


Abb. 2: Allometrische Biomassefunktion über alle *FastWOOD* II-Modellflächen und Versuchsparzellen des ein- bis fünfjährigen Aufwuchses (2009 bis 2013). Als Bezugsgröße dient der Triebbasis-Durchmesser (d_{oo}, mit Rinde in ca. 5 cm Schnitthöhe), da eine Probekreisaufnahme erst nach Flächenräumung möglich ist.

Daneben definiert eine weitere Schätzfunktion die Einzelbaumbiomasse in älteren, stärker dimensionierten Aufwüchsen (BM-Funktion 2), hier ermittelt an 20- bis 30-jährigen Robinien-Erstaufforstungen auf Rekultivierungsflächen (Abb. 3). Diese Beziehung knüpft biologisch plausibel an den Verlauf der erstgenannten Funktion.

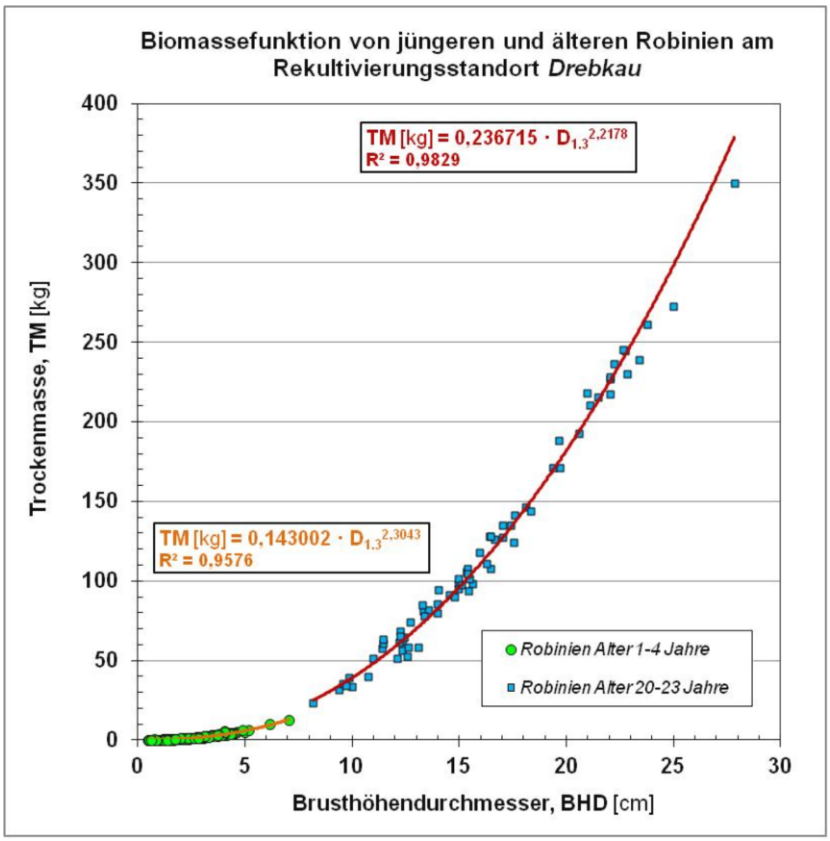


Abb. 3: Allometrische Biomassefunktionen für junge Stockausschlag- und ältere Robinienbestände aus Kernwuchs. Die Bezugsgröße ist jeweils der Brusthöhendurchmesser (BHD, $d_{1,3}$)

Durchschnittlicher jährlicher Gesamtzuwachs an Biomasse (dGZ_B)

Nach Tabelle 2 kulminiert der durchschnittliche jährliche Gesamtzuwachs (dGZ_B) von Robinien-Stockausschlagbeständen bereits im vierten Aufwuchsjahr. Zwar verläuft die Bestandesentwicklung bis dahin weitgehend synchron, je nach Standortgüte kommt es aber zu einer deutlichen Leistungsabstufung. Während die gut nährstoffversorgte Fläche *Schwenow 1* (BON -0.1, K2) im Maximum 10,7 t_{atro} ha^{-1} a^{-1} aufweist, sind dies in *Schwenow 3* (BON III.0, Z2) nur 3,8 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}.

Auffällig ist die rasante Bestandesdynamik: So kehrt sich der anfängliche Wuchstrend im fünften Jahr nach Wiederaustrieb um. Zugleich nivelliert die Ertragsleistung, ausgenommen der beiden mattwüchsigen Bestände *Schwenow* 3 und *Senftenberg*. In ihrer aufstockenden Biomasse übertreffen nun die jungen Kippenflächen mit 29,4 t_{atro} ha^{-1} knapp die „Altwaldstandorte“, entgegen erster Ertragsprognosen.

Nach wie vor unklar sind die ertragsbestimmenden Faktoren. Offensichtlich wirken neben der Standorttrophie weitere, bisher varianzanalytisch nicht verrechenbare Größen (Jürgens 2012). Ein Indiz dafür sind die gleichförmigen Zuwachsschwankungen zwischen dem zweiten und vierten Jahr, welche auf Witterungseinflüsse verweisen. Hinzu kommen eine sehr unterschiedliche Regenerationsfähigkeit der Genotypen (Schröck 1953, Bongarten et al. 1992, Dini-Papanastasi 2008) und die Bestandesstruktur, sprich Anzahl und Verteilung der Wurzelstöcke. Schließlich reagieren gerade junge Robinienbestände besonders empfindlich auf Vergrasung, Pilzbefall und Mäusefraß (Jürgens 2012, Landgraf und Heydeck 2014).

Tabelle 2: Durchschnittlicher jährlicher Gesamtzuwachs an Biomasse (dGZ_B) des ein- bis fünfjährigen Aufwuchses in den Jahren 2009 bis 2013

Flächenbezeichnung	1-jährige Rotation (2009 / 2010 / 2011)	2-jährige Rotation (2009-2010)	3-jährige Aufwuchs (2009-2011)	4-jährige Aufwuchs (2009-2012)	5-jährige Aufwuchs (2009-2013)
	dGZ_B [t_{atro} ha^{-1} a^{-1}]				
Waldstandorte in Brandenburg					
Schwenow 1	7,61	10,54	7,36	10,68	8,79
Schwenow 2	5,39	4,28	3,28	9,13	5,23
Schwenow 3	2,22	1,52	1,15	3,83	1,94
Schwenow 4	6,37	8,93	5,37	9,51	4,16
Schwenow 5	5,56	6,10	5,63	8,83	4,20
Müncheberg	3,51	2,86	5,84	6,77	4,74
Kippen-Erstaufforstungen (Lausitzer Braunkohlenrevier)					
Drebkau 1	5,29	3,16	5,29	9,01	6,22
Drebkau 2	4,08	5,42	4,98	6,36	5,84
*Senftenberg**	2,65	4,17	10,60	2,88	-
im Mittel für:					
Waldstandorte	5,11	5,71	4,77	8,13	4,84
Kippenstandorte	4,01	4,25	6,95	6,08	6,03
alle Standorte	4,74	5,22	5,50	7,45	5,14

*am Standort *Senftenberg*: 1) einjährige Rotation: 2010/2011/2012, 2) zweijährige Rotation: 2010-2011, 3) dreijähriger Aufwuchs: 2010-2012, 4) vierjähriger Aufwuchs: 2010-2013

Für die Forstpraxis: Anwendungsorientierte Holzernteversuche

Wie eine erste finanzmathematische Analyse vorgibt, lässt sich die Robinie in Brandenburg profitabel bewirtschaften, vor allem bei niedrigen Kalkulationszinssätzen (Knoche et al. 2014b). Dabei ist der nieder- und mittelwaldartige Stockausschlagbetrieb dem schlagweisen Hochwald aus Pflanzung in allen Szenarien überlegen, optimal sind 30- bis 50-jährige Umtriebszeiten.

Allerdings bleibt unklar, inwieweit solche theoretischen, mit Annahmen verknüpften Betrachtungen die forstbetriebliche Realität abbilden, offene Fragen bleiben: Zu welchem Zeitpunkt lassen sich kostendeckende Nutzungs- bzw. Pflegeeingriffe durchführen? Lohnt eine frühzeitige Überführung von Pflanzbeständen in den Kurzumtrieb? Wie hoch ist der Abtriebs- und Bestandeserwartungswert? Welche erntekostenfreien Erlöse sind möglich und wie viel erwirtschaften die einzelnen Sortimente?

Harvester PONSSE Beaver mit Fäller-Bündler-Aggregat BRACKE C16.b

Das Arbeitsverfahren

Nach bisheriger Einschätzung können <10-jährige Robinienaufwüchse im Wald kaum gewinnbringend genutzt werden (Rupprecht 2012), vor allem wegen der hohen Erntekosten. Becker (2006) kommt sogar zum Fazit, dass die Energieholzgewinnung dort erst ab einem mittleren Brusthöhendurchmesser (BHD) von rund 17 cm lohnt. Allerdings sind mittlerweile spürbare Verfahrensfortschritte erkennbar (Eberhardinger 2010, Engel et al. 2012).

Daraufhin wird nunmehr das im unteren Durchmesserbereich als besonders leistungsfähig eingestufte Fäller-Bündler-Aggregat *BRACKE C16.b* erprobt. Diese speziell für die Jungbestandspflege und -ernte ausgelegte Technologie verfügt über eine „Sammelfunktion“ (Greifkapazität 40 cm), kann also etliche Aufwüchse hintereinander fällen, bündeln und entlang der Rückegasse ablegen, andererseits mit seinem 800 mm Kreissägeblatt bis zu 25 cm starke Bäume bearbeiten (Stoll und Burger 2012). Abbildung 4 illustriert die Arbeitsschritte: → Ernte des Ganzbaumes durch Harvester

PONSSE Beaver (130 KW) mit Fäller-Bündler-Aggregat → Rückung mit Tragschlepper frei Waldstraße → optionale Vortrocknung → Hackung (Mobilhacker) → LKW-Abtransport der Hackschnitzel.

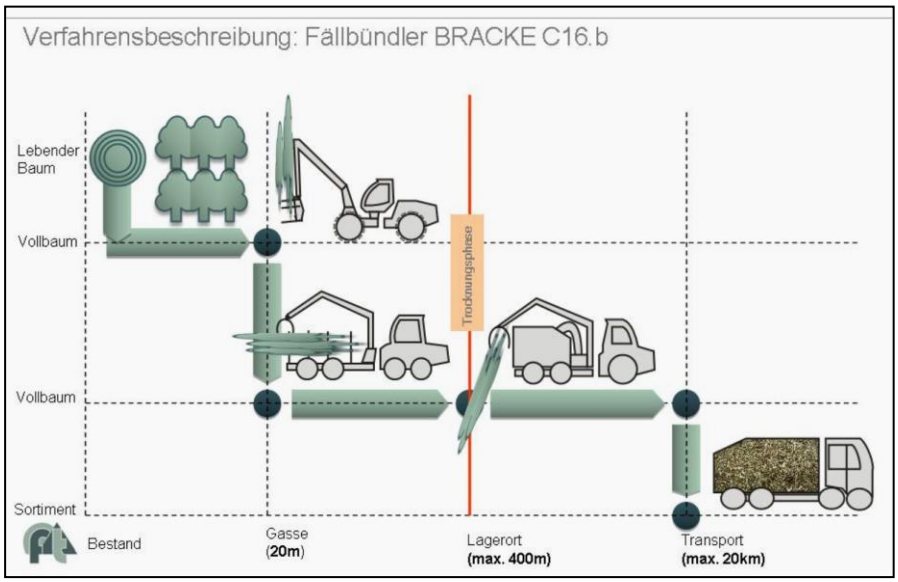


Abb. 4: Harvester *PONSSE Beaver* mit Fäller-Bündler-Aggregat *BRACKE C16.b* - Verfahrensbeschreibung für die Erntekette in jungen Robinien-Stockausschlagbeständen

Betriebliche Kosten- und Leistungsrechnung

Im Folgenden wird der gesamte Arbeitsablauf zur Energieholzbereitstellung analysiert, wobei sich alle Verfahrensschritte in Multi-Moment-Aufnahmen (MMH) gemäß kwf-Schema[1] dokumentieren lassen. Die anschließende Deckungsbeitrags- bzw. Teilkostenrechnung (= Holzerlös abzüglich der variablen Kosten)basiert auf folgenden Kostensätzen der Maschineneinsatzstunde: Harvester der mittleren Leistungsklasse mit Fäller-Bündler-Aggregat: 100,- EUR, Rückezug: 100,- EUR, Mobilhacker: 250,- EUR. Der Hackschnitzelerlös wird mit 100,- EUR pro t_{atro} (Lieferung frei Werk) kalkuliert (Carmen 2012)[2]. Abbildung 5 betrachtet als Stückrechnung die reinen Arbeitszeiten zur Erzeugung von einer Tonne (atro) Robinien-Hackschnitzel.

Demnach erzielen selbst sehr „massenreiche“ Aufwüchse mit 80 bis 160 min pro t_{atro} Hackschnitzel noch keinen positiven Deckungsbeitrag. Bei der Ernte werden im Durchschnitt vier Griffe pro Stockausschlag benötigt, ein „Sammelgriff“ ist in den sperrigen Aufwüchsen schwierig. Allerdings verbessert sich die Arbeitsproduktivität in Abhängigkeit der mittleren Stückmasse. Eine Teilkosten-deckung wird nach den so fortgeschriebenen Arbeitszeiten mit rechnerischen 57 min pro t_{atro} Hackschnitzel erreicht (Abb. 6). Dies entspricht einem mittleren Triebbasis-Durchmesser (d_{oo}) von etwa 40 mm, also in etwa dem 6. bis 8. Jahr.

Zu einer ähnlichen Bewertung gelangen Stoll und Burger (2012). Hier stellt das Fäller-Bündler-Aggregat in fünfjährigen Pappel- und Weiden-Energieholzplantagen (BHD $\leq$50 mm) noch keine wirtschaftliche Lösung dar. Wesentliche Rationalisierungseffekte sind vor allem über die Stückmasse des Erntegutes zu erwarten.

[1] Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik e. V. (kwf)
[2] Aktuelle Preise und Trends unter: www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/kup-hackschnitzel

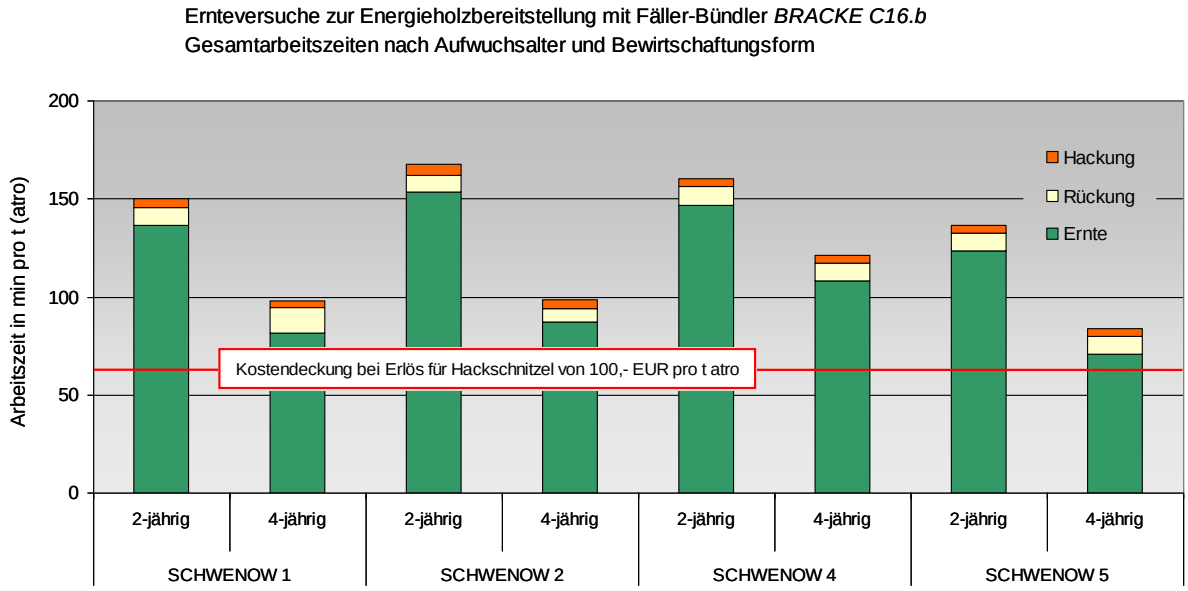


Abb. 5: Harvester *PONSSE Beaver* mit Fäller-Bündler-Aggregat *BRACKE C16.b* - Gesamtarbeitszeiten zur Energieholzerzeugung aus zwei- und vierjährigen Aufwüchsen der *FastWOOD* II-Modellflächen *Schwenow 1*, *2*, *4* und *5*

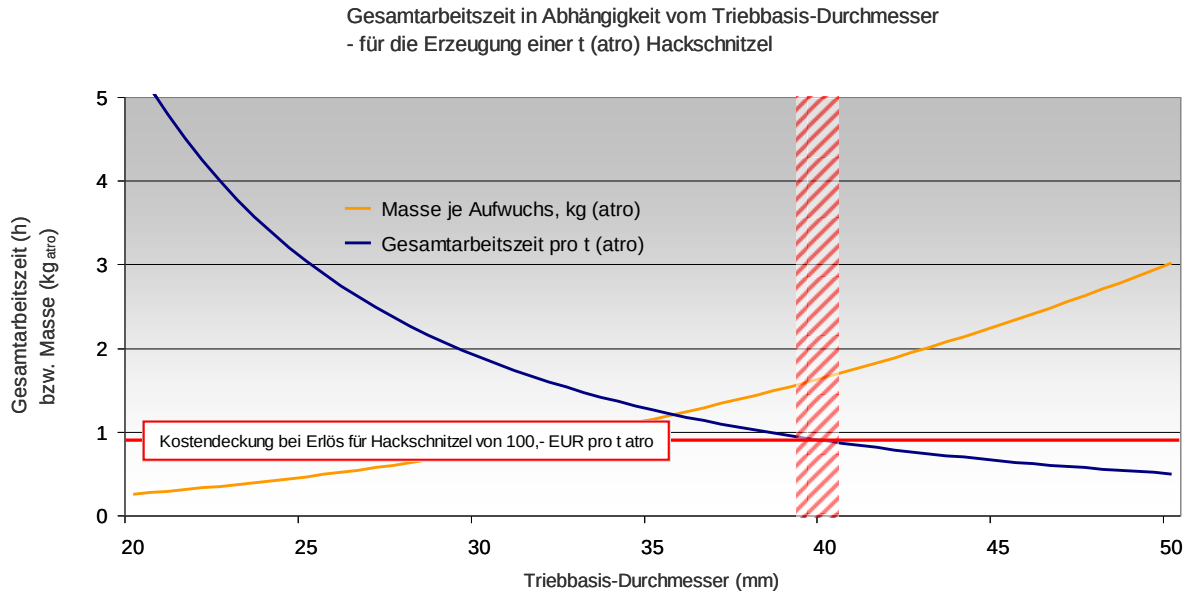


Abb. 6: Harvester *PONSSE Beaver* mit Fäller-Bündler-Aggregat *BRACKE C16.b* - Aus den Versuchsergebnissen fortgeschriebene Gesamtarbeitszeit in Abhängigkeit des Triebbasis-Durchmessers (d_{oo})

Bewertung des Verfahrens

Der Fäller-Bündler *BRACKE C16.b* erweist sich für junge Robinien-Stockausschlagbeständen als geeignet. Das Verfahren ermöglicht eine mehrmonatige Zwischenlagerung bzw. Vortrocknung von Ganzbäumen. Im Gegensatz zu anderen Energiehölzern treten hier keine lagerungsbedingten Substanzverluste auf, noch neigen die geernteten Stämme zum Wiederaustrieb. Durch die Bündelung von kleineren Hackaufträgen sinken die Arbeits- bzw. Maschineneinsatzkosten. Es lässt sich flexibel auf Marktanforderungen und Preisschwankungen reagieren.

Jedoch gelangen solche Ganzbaum-Verfahren schnell an ihre Einsatzobergrenze, vor allem ab baumfallenden Längen über 10 m, die eine weitere Manipulation erschweren. Es ist daher fraglich, ob sich eine solche, für die Energieholzerzeugung konzipierte Technologie in der forstlichen Praxis durchsetzen kann. Zudem fallen angesichts der geringen Schlaggrößen die relativ hohen Umsetzungskosten bzw. Zuschläge für Kleinaufträge ins Gewicht (Kröber und Heinrich 2014, Pecenka et al. 2014). Für eine abschließende Beurteilung der Wirtschaftlichkeit sind weitere Arbeitsstudien bei längeren Rotationsperioden und im gesamtbetrieblichen Zusammenhang erforderlich. Aus der umfassenden Versuchsbegleitung und -dokumentation[3] ergibt sich folgende Bewertung:

+ es erfolgt ein zertifizierungskonformes Arbeiten von der Rückegasse aus, der Gassenabstand beträgt 20 m
+ die Rückung verläuft effektiv, da *BRACKE C16.b* die Bündel paketweise vorkonzentriert, hier wäre die Produktion eines Sondersortimentes „Faschinen“ denkbar
+ bereits in vierjährigen Aufwüchsen mit baumfallenden Längen von etwa 4 m sind Ladezeiten und Hackung unerheblich für die Gesamtbetrachtung
+ aufgrund der gebrochenen Arbeitskette lässt sich das Energieholz im Wald kostensparend vortrocknen (Kudlich 2014)

− die Ernteverluste betragen etwa 5-8 %, Einzelruten fallen gelegentlich bei Ernte, Rückung und Hackung aus dem Greifer
− nicht zu unterschätzen sind die Hackverluste wegen der geringen Stückmasse (Nemestóthy 2012)
− stärkere Stöcke (d_{00} >25 cm) werden nicht am Stammfuß erfasst, es lassen sich nur die Austriebe oberhalb ernten, häufig nur im „Einzelgriff“

4.2 Harvester *PONSSE Beaver* mit Aggregat *PONSSE H 6* (ohne Sammelfunktion)

Das Arbeitsverfahren

Für höhere Stückmassen mit stofflicher Verwertung kommt eine praxisübliche Aufarbeitung durch Harvester ohne Sammelfunktion in Frage (Spinelli et al. 2012). Hierzu sind Arbeitsstudien in ökonomisch interessanten Ernte- bzw. Verjüngungsbeständen („Zielbeständen“) von besonderem Interesse. Nach Knoche et al. (2014b) betrifft dies Bestockungen des Durchmesserbereiches ≥15 cm, also die Altersspanne von 30 bis 50 Jahren mit hoher Rentabilitätserwartung.

Abbildung 7 beschreibt den Arbeitsablauf: → Ernte und Holzaushaltung mit Harvester *PONSSE Beaver* (130 KW) mit Aggregat *PONSSE H 6*, Sortimente: Industrieholz kurz der Güteklasse IN (ISN), Pfähle (2,5 m), Brennholz, Kronenholz (X-Holz) → Rückung des abgelegten Rundholzes mit Tragschlepper und Polterung entlang des Waldweges → Hackung des Kronenmaterials im Bestand und Transport zum Sammelcontainer → LKW-Abfuhr des Holzes.

[3] Beschreibung des Arbeitsverfahrens, Versuchsbegleitung und -dokumentation durch das Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation (IFF) in Magdeburg zur Verwendung im dortigen KUP-WIKI

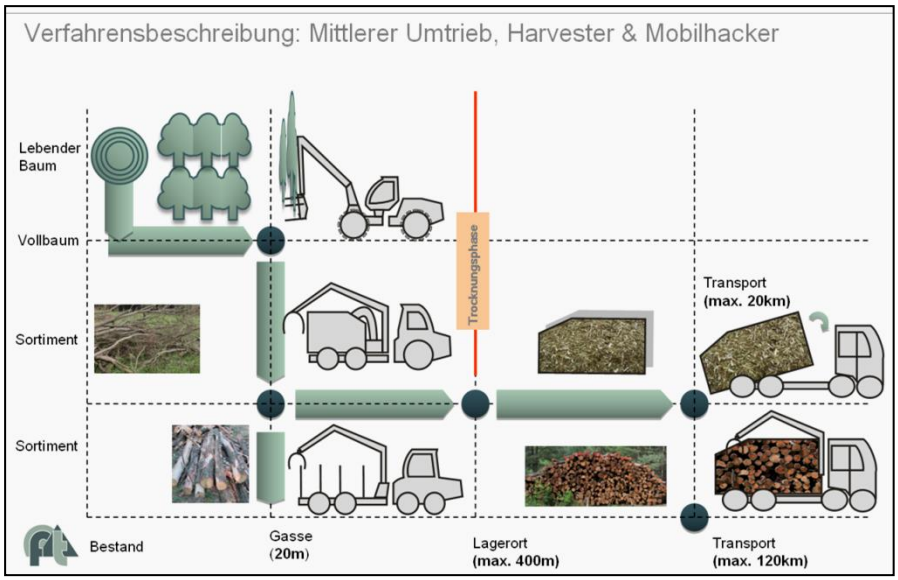


Abb. 7: Harvester *PONSSE Beaver* mit Aggregat *PONSSE H 6* - Verfahrensbeschreibung für die Erntekette in 30- bis 50-jährigen Robinien-Beständen

Betriebliche Kosten- und Leistungsrechnung

Es werden zwei praxisnahe Ernteversuche in typischen, bis dahin ungepflegten Robinien-Erstaufforstungen des Lausitzer Braunkohlenreviers vorgestellt. Dabei sind Nutzungsart (Endnutzung), Ernteverfahren und Hiebsanfall vergleichbar. Die Holzerntesituation skizziert sich wie folgt: (1) mittlerer Durchmesser des ausscheidenden Bestandes (BHD) 15 cm, (2) Sortimentierung wie zuvor beschrieben, (3) Rückegassenabstand 20 m, mittlere Rückeentfernungen 100 m, (4) sandige Substratverhältnisse und ebene Geländetopographie.

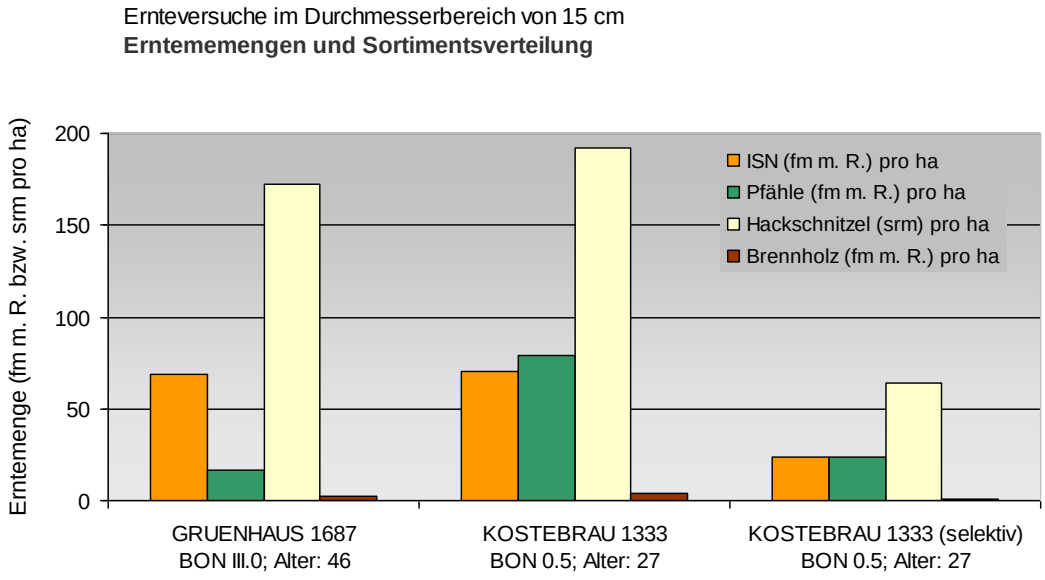


Abb. 8: Harvester *PONSSE Beaver* mit Aggregat *PONSSE H 6* - Erntemengen und Sortimentsverteilung bei Endnutzung mit Belassung einzelner „Überhälter“ und für die selektive Durchforstung (Begünstigung von „Zukunftsbäumen“)

Nach Abbildung 8 ist der jüngere, aber dafür wüchsigere Bestand *Kostebrau 1333* in seinem Holzertragswert überlegen. Hier wirkt sich insbesondere das im Vergleich zum Energieholz höherpreisige Pfahlsortiment aus. Zwar nehmen Pfähle nur 27 % der Hiebsmenge ein, sie sind aber

mit immerhin 2.700 € ha^{-1} zu 48 % am Gesamtreinerlös beteiligt, selbst eine selektive Durchforstung mit Entnahme der unmittelbaren Bedränger ist teilkostendeckend. Dagegen lassen sich für den 19 Jahre älteren Bestand *Gruenhaus 1687* im Ganzen nur knapp 3.000 € ha^{-1} realisieren (Abb. 9).

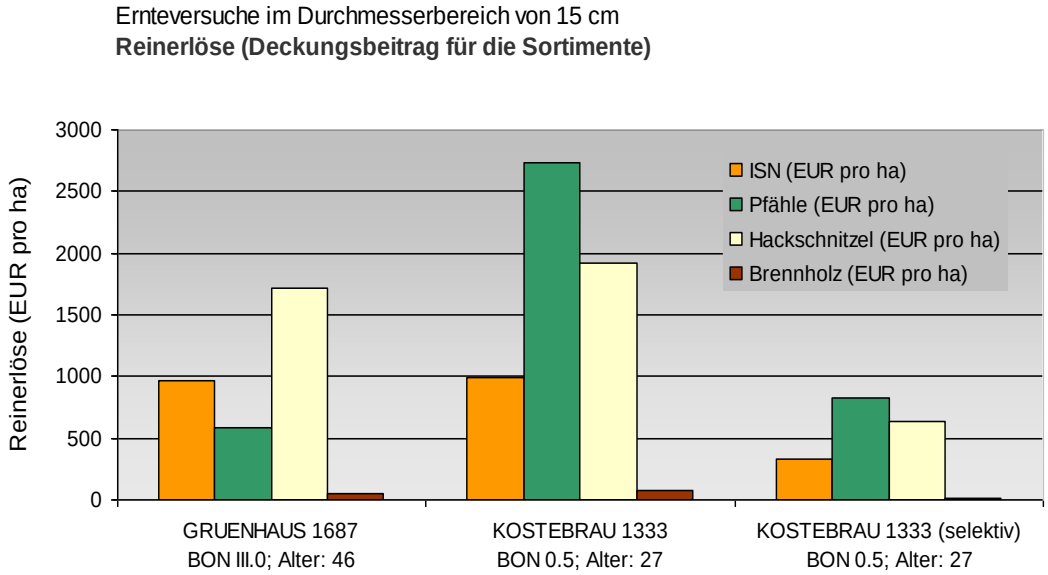


Abb. 9: Harvester *PONSSE Beaver* mit Aggregat *PONSSE H 6* - Sortimentsbezogene Reinerlöse bei Endnutzung mit Belassung einzelner „Überhälter“ und für die selektive Durchforstung (Begünstigung von „Zukunftsbäumen“)

Bewertung des Verfahrens

Durch Fortführung des pflegeextensiven Stockausschlagbetriebes mit vollmechanisierter Erntekette ist also eine insgesamt profitable Bewirtschaftung der Robinie anzunehmen. Dies betrifft vor allem gute Bestandesbonitäten (BON <2.5) und stammzahlreiche Aufwüchse mit hoher Gesamtwuchsleistung, was die Ergebnisse der angeführten Investitionsanalyse stützt. Eine Steigerung der stofflichen Ausbeute ist anzustreben, weitere Sortierungsgewinne sind bei enger Kundenbindung möglich. Zusammenfassend lässt sich festhalten:

+ die konventionelle Harvester-Technologie ist zertifizierungskonform, der optimale Rückegassenabstand beträgt 20 m
+ das Verfahren kann reibungslos in den Betriebsablauf integriert werden, Erntemaßnahmen, -flächen und -mengen lassen sich bündeln
+ sehr effektive Holzrückung, da die anfallenden Sortimente durch den Harvester vorkonzentriert werden
+ bei Einschlag im Saft verbleibt die Rinde größtenteils im Bestand, so dass sich der erntebedingte Nährstoffentzug minimiert
− die Aushaltung gut bezahlter Robinien-Spezialsortimente („Spielplatzholz“, Handläufe etc.) muss wegen unerwünschter Druckstellen der Harvesterwalzen manuell erfolgen
− größere, leicht vermarktungsfähige Energieholzmengen ergeben sich nur bei Endnutzungen, angesichts der geringen Bestandesgrößen (< 1 ha)
− die relativ hohen Umsetzungskosten für den Mobilhacker erfordern möglichst massenreiche Holzschläge (u.a. Landgraf 2012)

Ein Fazit: Die Robinie - Leistungsstark und ertragreich im Stockausschlagbetrieb

Bis heute erfolgt die Robinien-Bewirtschaftung eher intuitiv und wenig konsequent. Andererseits bestehen für unsere Forstbetriebe gute Chancen einer verbesserten Wertschöpfung (Knoche et al. 2014a). So bestechen die jungen Stockausschlagbestände durch eine hohe Biomasseleistung und Wuchsdynamik. Ihr durchschnittlicher jährlicher Gesamtzuwachs (dGZ_B) gipfelt bereits im vierten Aufwuchsjahr mit 7,5 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}. Zwar lässt sich eine standortabhängige Leistungsabstufung feststellen, insgesamt aber übertrifft die Robinie in ihrer Jugend alle anderen Waldbaumarten. Mehr noch, aus der intensiven Wurzelbrutbildung rekrutieren sich zahlreiche vitale und qualitativ hochwertige „Zukunftsbäume“, ohne nennenswerte Pflege.

Dementsprechend ist die Überführung von Robinien-Baumholzbeständen in den „kurzumtriebigen“ Stockausschlagbetrieb nahe liegend, quasi als „Nieder- und Mittewald“. Wie Ernteversuche mit neuartiger Fäller-Bündler-Technologie zeigen, können bereits 6- bis 8-jährige Aufwüchse zumindest teilkostendeckend genutzt werden. Wirklich rentabel sind aber erst 30- bis 50-jährige Umtriebszeiten und vorrangig stoffliche Verwertungsziele. Dabei reagieren solche Produktionsmodelle empfindlich auf den Holzerlös, eine kundenorientierte Holzaushaltung bzw. -sortierung kann also die Kapitalrendite erheblich steigern.

Dagegen ist eine künstliche Ausweitung der Robinien-Anbaufläche durch Aufforstung betriebswirtschaftlich fragwürdig und aus ökologischen Gründen abzulehnen. Tatsächlich konkurriert die schnellwüchsige Robinie auf geeigneten Standorten mit den favorisierten „Klimaxbaumarten“, insbesondere der gebietsheimischen Trauben- und Stieleiche.

Literaturverzeichnis

AG Boden, 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage, Hannover. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 438 S.

Becker G, 2006: Die Wald-Holz-Kette für Holzhackschnitzel-Bereitstellungsformen von Energieholz aus dem Wald. „Wirtschaftsförderung im Rahmen der Zukunftsinitiative Eifel - Stärkung der Holzenergie als Zukunftsenergie - Strategien für die Eifel“, Vortrag am 22.05.2006 im Forum Daun. 27 S.

Blümke S, 1950: Die Robinie in Deutschland. Forstw. Holzw. 1: 8.

Bongarten BC, Huber D, Apsley D, 1992: Environmental and genetic influences on short-rotation biomass production of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in the Georgia Piedmont. Forest Ecology and Management 55: 315-331.

Büssow P, Jander A, Scholz C, 1997: Robinienwirtschaft in Ostbrandenburg. In den nächsten zwei Jahrzehnten muß mehr Robinie vermarktet werden. Holz-Zentralblatt 116: 1686.

BWI^3 [Bundeswaldinventur 3], 2014: http://www.bundeswaldinventur.de

Carmen - Centrales-Agrar-Rohstoff-Marketing- und Energie-Netzwerk e.V. (2012): http://www. carmen-ev.de/dt/energie/hackschnitzel/hackschnitzelpreis_grafiken.html

Dini-Papanastasi O, 2008: Effects of clonal selection on biomass production and quality in *Robinia pseudoacacia* var. *monophylla* Carr. Forest Ecology and Management 256: 849-854.

DSW 2 [Datenspeicher Waldfonds 2], 2011: Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB). Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE).

Eberhardinger A, 2010: Innovative Energieholzernte-Ernteverfahren mit Fäller-Bündler-Aggregaten bieten neue Möglichkeiten. EnergieHolz 2010: 14-18.

Engel J, Knoche D, 2011: Energie aus dem Stock - Zur Bewirtschaftung der Robinie im Schnellumtrieb. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 45: 25-35.

Engel J, Knoche D, Lange C, 2012: Verbundvorhaben: Züchtung schnell wachsender Baumarten der Gattungen Populus, Robinia und Salix für den Kurzumtrieb (FastWOOD II) - Entwicklung von innovativen Bewirtschaftungsverfahren für Robinienbestände (*Robinia pseudoacacia* L.). Zwischenbericht 2012.

Erteld W, 1952: Wachstum und Ertrag der Robinie im Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. Dissertation, Forstwissenschaftliche Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin, Eberswalde.

Fehrmann L, 2006: Alternative Methoden zur Biomasseschätzung auf Einzelbaumebene unter spezieller Berücksichtigung der k-Nearest Neighbour (k-NN) Methode. Georg August Universität Göttingen, Fakultät für Forstwissenschaft und Waldökologie, Dissertation. 155 S.

Hapla F, 1998: Robinien-Holzprodukte europaweit nachgefragt. Holz-Zentralblatt 133: 1976-1977.

Jürgens A, 2012: Modellierung des Biomassepotentials von Robinie im Kurzumtrieb auf forstlichen Flächen in Brandenburg. Diplomarbeit, Studienfachbereich Geographie, Technische Universität Dresden (TUD)

Ketterings, Q, M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagu, Y. u. Palm, C.A. (2001): Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. Forest Ecology and Management 146: 199-209.

Kleinbauer I, Dullinger S, Peterseil J, Essl F, 2010: Climate change might drive the invasive tree Robinia pseudoacacia into nature reserves and endangered habitats. Biological Conservation 143: 382-390.

Knoche D, Engel J, 2012a: Robinie: Lichtbaumart beendet ihr Schattendasein - Brandenburg erprobt Schnellwuchsbetrieb als nachfrageorientierte Bewirtschaftungsstrategie für die Robinie. Holz-Zentralblatt 1: 16-17.

Knoche D, Engel J, 2012b: Verbundvorhaben. Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD), Teilvorhaben 7 & 8: Modellprojekt zu Begründungsverfahren der Robinie. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 8: 143-164.

Knoche D, Engel J, Lange C, 2014a: Bewirtschaftung von Robinien-Beständen in Brandenburg - Ergebnisse aus dem FNR-Projekt FastWOOD. Informationen für den Waldbesitzer: 12 S.

Knoche, D., Rupprecht, S., Engel, J. u. Lange, C. (2014b): Bewirtschaftung der Robinie in Brandenburg - eine finanzmathematische Analyse. AFZ-Der Wald 2: 40-43.

Kröber M, Heinrich J, 2014: Optimierung der Flächenausnutzung bei der Anlage von Kurzumtriebsplantagen. AFZ-Der Wald 21: 63-67.

Kowarik I, 1990: Zur Einführung und Ausbreitung der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) in Brandenburg und zur Gehölzsukzession ruderaler Robinienbestände in Berlin. Verh. Berl. Bot. Ver. 8: 33-67.

Küchler S, 2001: Stand und Entwicklung des Rohholzaufkommens der Robinie in Ungarn - Unter besonderer Betrachtung der Rohholzqualität. Diplomarbeit, Professur für Forst- und Holzwirtschaft Osteuropas, Technische Universität Dresden (TUD).

Kudlich W, 2014: Energiewald profitabler als Ackerbau? Der Mittlere Umtrieb. AFZ-Der Wald 21: 10-12.

Landgraf D, 2012: Die Begründung von KUP auf Kleinstflächen. AFZ-Der Wald 15: 10-11.

Landgraf D, Heydeck P, 2014: Pilzinfektion in neu begründeten Robinienbeständen. AFZ-Der Wald 2: 44-45.

Lockow K-W, Lockow J, 2013: Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.). Eine schnellwachsende Baumart mit wertvollen Holzeigenschaften. Mitt. d. Ges. zur Förderung schnellwachsender Baumarten in Norddeutschland e.V., Heft 1: 1-7.

Manig K, 2001: Grundlagen zur Erarbeitung eines Marketingkonzeptes am Beispiel der Baumart Robinie unter besonderer Berücksichtigung des Forstbetriebes Sauen. Technische Universität Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Diplomarbeit

Manthe, K. 2010: Alters- und standortsabhängiges Stockausschlagsvermögen der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) nach einjährigem Umtrieb in Brandenburg. Bachelorarbeit, Fachrichtung Forstwirtschaft und Ökosystemmanagement, Fachhochschule Erfurt

Molnár S, 1992: Die Robinie eine vernachlässigte Holzart wird salonfähig. Internationaler Holzmarkt 7: 9-11.

Nemestóthy N, 2012: Energieholzzerkleinerung - vom wertvollen Holzrohstoff zum Hackschnitzel oder zu Staub? BFW-Praxisinformation 28: 24-26.

Pecenka R, Schweier J, Lenz H, 2014: Was kostet die Ernte von KUP? Praxiserprobte Erntetechnologien im Vergleich. AFZ-Der Wald 21/2014: 6-9.

Rédei K, Csiha I, Keserü Z, 2011: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). Short-rotation crops under marginal site conditions. Acta Silv. Lign. Hung. 7: 125-132.

Röhle H, Hartmann K-U, Steinke C, Murach D, 2009: Leistungsvermögen und Leistungserfassung von Kurzumtriebsbeständen. In: Reeg T, Bemmann A, Konold W, Murach D, Spiecker H (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen: 41-55.

Roloff A, Grundmann B, 2008: Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol. 42: 97-109.

Rupprecht S, 2012: Die Rentabilität der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) im Land Brandenburg bei Nieder-, Mittel- und Hochwaldbewirtschaftung. Masterarbeit, Fachrichtung Umweltwissenschaften, Masterstudiengang Raumentwicklung und Naturressourcenmanagement, Technische Universität Dresden (TUD)

Schröck O, 1953: Beitrag zur Züchtung der Robinie (*Robinia pseudoacacia*). Der Züchter 23, 266-272

Sea 95. Schulze G, Kopp D, 1996: Anleitung für die forstliche Standortserkundung im nordostdeutschen Tiefland. Schwerin, Eberswalde

Spinelli R, Schweier J, De Francesco F, 2012: Harvesting techniques for non-industrial biomass plantations. Biosystems Engineering 113: 319-324.

Stoll B, Burger F, 2012: Fäller-Bündler-Technologie in der KUP-Ernte. LWF-aktuell 90: 18-19.

Korrespondierender Autor:
Dr. Dirk Knoche
Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB)
Brauhausweg 2,
03238 Finsterwalde
d.knoche@fib-ev.de

Untersuchungen der Ertragsleistung und -stabilität bei Robinien-Jungpflanzen verschiedener Herkunft auf einem Standort im Land Brandenburg

Thomas Guse[1], Volker Schneck[1], Georg von Wühlisch[2], Mirko Liesebach[2]

[1]Thünen-Institut für Forstgenetik, Waldsieversdorf
[2]Thünen-Institut für Forstgenetik, Großhansdorf

Zusammenfassung

Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) stockt in Deutschland auf über 14.000 ha. Sie gilt als trockenheitstolerante Baumart mit geringen Standortansprüchen und guten Holzeigenschaften.

Auf landwirtschaftlichen Grenzertragsstandorten und Kipprohböden in Brandenburg erreicht sie im Vergleich zu den anspruchsvolleren Energieholzarten Pappel und Weide einen höheren jährlichen Biomasseertag (3,0 - 10,0 t_{atro}/ha*a), bei deutlich größerem Heizwert des Holzes. Der jährliche Grenzertrag für eine rentable Bewirtschaftung liegt bei 10 - 12 t_{atro}/ha*a. Allein in der Auswahl von standortgeeigneten Herkünften besteht ein beträchtliches Potential zur Steigerung der Ertragsleistung und -stabilität.

In der ersten Phase des Züchtungsvorhabens zur Robinie wurde die Ertragsleistung von 55 Herkünften untersucht. Nachfolgend wird nur auf die Wuchsleistung von 45 Nachkommenschaften europäischer Erntebestände und Samenplantagen eingegangen, darunter Bulgarien (7), Deutschland (11), Griechenland (1), Italien (3), Rumänien (17), Slowakei (2) und Ungarn (3). Die Anzucht erfolgte seit 2010 unter natürlichen Bedingungen in Waldsieversdorf (Brandenburg, Jahresmittel: 8,9 °C bei 545 mm) sowie ergänzend für das erste Jahr unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus bei ausreichender Wasserversorgung. Aus dem Verhältnis der Wuchsleistung beider Bedingungen (optimal vs. trocken) werden für die einzelnen Herkünfte Indices abgeleitet, welche eine Einschätzung der Trockentoleranz bzw. der Ertragsstabilität erlauben. In dem fortlaufenden Herkunftsvergleich unter natürlichen Bedingungen werden die jährlichen Zuwächse im Jugendstadium der Robinie erfasst und die erbrachte Ertragsleistung verglichen.

Wegen der hohen Variabilität in der Wuchsleistung innerhalb der Nachkommenschaften (Saatgut) können durch die Herkunftswahl allein die Züchtungsziele nicht erreicht werden. Daher wurden aus dem Untersuchungsmaterial 50 leistungsstarke Genotypen ausgewählt und vermehrt, welche in einer zweiten Züchtungsphase bearbeitet werden (aktuell laufend).

Schlagworte: *Robinia pseudoacacia*, schnell wachsende Baumart, Herkunftsvergleich, Wachstum, Trockentoleranzindex, Biomasseproduktion

Abstract

Yield analyses of provenances of black locust at a site in Brandenburg

In Germany black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) is grown on an area of 14.000 ha. This drought tolerant tree species with good wood characteristics has low site requirements. On marginal and post-mining sites in Brandenburg (Germany) the annual production of biomass reaching 3.0 – 10.0 t_{dry}/ha) was substantially greater than that of other fast-growing species of poplar and willow. An annual yield of 10 – 12 t_{atro}/ha is often quoted as economic threshold. By , There is considerable potential to increase biomass productivity and stability by just selecting well-adapted progenies.

We investigated the yield potential of 45 European seed orchards and stands from Bulgaria (7), Germany (11), Greece (1), Hungary (3), Italy (3), Romania (17), and Slovakia (2) . Since 2010, seedlings were grown under natural conditions at the study site in Waldsieversdorf (Brandenburg; annual average t of 8.9 °C and 545 mm precipitation) and in the first year additionally under controlled conditions in a greenhouse with sufficient water supply. Yield was determined for each progeny under both conditions and tolerance indices were estimated, which allows an initial evaluation of yield potential and stress tolerance. These results were compared with the growth performance under natural conditions in subsequent years.

A high variability within progenies and a low differentiation between progenies made the selections at the progeny level inefficient. Therefore 50 productive genotypes were selected and micro-propagated for further testing.

Keywords: *Robinia pseudoacacia*, fast growing tree species, comparison of provenances, growth, drought tolerance index, biomass production

Einleitung

Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) besitzt eine breite Amplitude bezüglich Boden- und Klimaansprüchen (DeGomez und Wagner 2001) und zählt zu den weltweit häufigsten Laubbaumarten (ca. 3 Mio. ha). Sie wurde Anfang des 17. Jh. aus Nordamerika in Europa eingeführt, wobei ihr heutiger Anbauschwerpunkt in Südosteuropa liegt (Ungarn: 440.000 ha, Rumänien: 250.000 ha, Bulgarien: >110.000 ha) und sie eine wichtige Wirtschaftsbaumart ist (Iliev et al. 2005, Redei et al. 2008, Enescu und Danescu 2013). In Deutschland wächst die Robinie auf einer Fläche von 14.100 ha (BfN 2013), wovon fast 60% der Bestände im Bundesland Brandenburg liegen.

Durch die Symbiose der Robinie (Leguminose) mit Bakterien (Rhizobien) wird molekularer Luftstickstoff (N_2) in Wurzelknöllchen reduziert und biologisch verfügbar gemacht. Die Robinie ist eine Baumart, welche sehr effektiv Stickstoff fixiert (Olesniewicz und Thomas 1999). Auf einem armen Standort fixieren 2-14jährige Pflanzen jährlich 48-85 kg N/ha in der oberirdischen Biomasse, 63 bis 83% des Stickstoffs stammen aus der Atmosphäre (Veste et al. 2013). Insbesondere auf stickstoffarmen Standorten führt dies zu einem Konkurrenzvorteil gegenüber anderen Baumarten und trägt deutlich zur Bodenverbesserung bei.

Das Holz der Robinie ist sehr dauerhaft und widerstandsfähig gegen Pilzbefall. Wegen seiner hohen Holzdichte besitzt es einen ähnlichen Heizwert wie Braunkohle. Bedingt durch ihr schnelles Jugendwachstum und die Fähigkeit zum Stockaustrieb eignet sich diese Pionierbaumart zur Energieholzerzeugung mit kurzen Umtriebszeiten. Vor allem auf trockenen und armen Standorten Nordostdeutschlands (Kipprohböden, Grenzertragsstandorte), deren Flächenanteil sich bedingt durch den Klimawandel vergrößern wird (Gerstengarbe et al. 2003), kann die Robinie im Vergleich zu anderen schnellwachsenden Baumarten (Pappel, Weide) deutlich höhere jährliche Biomasseerträge und bessere Anwuchsraten erreichen. Auf Lausitzer Rekultivierungsflächen liegt der durchschnittliche jährliche Biomasseertrag von 6-jährigen Pflanzen für die Robinien bei 4,7 t_{atro}/ha*a, für die Pappel (Hybride 275, Androscoggin, Muhle Larson) bei 1,4 t_{atro}/ha*a und für die Weide (*S. virminalis*) bei 0,8 t_{atro}/ha*a. Somit erreicht lediglich die Robinie relevante Biomasseerträge (Grünewald et al. 2009, Kanzler et al. 2014).

In Deutschland ist die Robinie züchterisch kaum bearbeitet worden (Schneck 2010). Durch das Nutzungsziel Stammholz lag das Augenmerk auf der Geradschaftigkeit. Speziell für die Energieholzerzeugung im Kurzumtrieb in Deutschland wurde bisher kein Pflanzmaterial selektiert. Der jährliche Grenzertrag für eine ökonomisch rentable Bewirtschaftung liegt bei 10 – 12 t_{atro}/ha*a (Foster 1992), wobei allein in der Auswahl von standortgeeigneten Herkünften ein beträchtliches Potential zur Ertragssteigerung besteht (Bongarten et al. 1992, Olesniewicz und Thomas 1999, Dini-Papanastasi 2008).

Weitaus intensiver sind die Züchtungsbemühungen zur Robinie in Ungarn und Rumänien. In diesen Ländern herrschen ähnliche klimatische Bedingungen (450 – 550 mm bei 9,5 – 12,5 °C) wie im Osten Deutschlands (Waldsieversdorf: 545 mm bei 8,9 °C), wobei auch hier Dürreperioden im Sommer zusammen mit hohen Temperaturen (>30 °C) und geringer Luftfeuchte (20 – 50 %) häufig sind.

In diesem Vorhaben wird die Ertragsleistung verschiedener Herkünfte (Schwerpunkt Mittel- und Südosteuropa) auf einem Standort im Land Brandenburg unter natürlichen Bedingungen untersucht. Ziel ist die Identifizierung von angepasstem und leistungsfähigem Pflanzmaterial zur Energieholzgewinnung auf trockenen und armen Standorten.

Material und Methoden

Untersuchungsmaterial und Anzucht

Es wurde die Wuchsleistung von 45 Nachkommenschaften aus 26 Saatgutbeständen und 15 Samenplantagen aus verschiedenen europäischen Ländern unter kontrollierten (Gewächshaus) und natürlichen (brandenburgischen) Bedingungen geprüft (Abb. 1). Ein Großteil der Saatgutpartien (39) wurde über europäische Partnerinstitutionen oder den Saatguthandeln bezogen. Sechs Partien (Waldsieversdorf I-IV, Hasenholz, Buckow) stammen aus Selbsteinsammlungen. Zu beachten ist, dass es sich bei den Partien Waldsieverdorf I-IV und Göritz I und II um Ernten verschiedener Reifejahre in der jeweils gleichen Samenplantage handelt.

Abb. 1: Einsammlungsorte der untersuchten Saatgutpartien

Um die Keimruhe zu brechen wurde vor der jährlichen Aussaat im April die harte und dauerhafte Samenschale mechanisch angeritzt und die Samen mit heißem Wasser übergossen (Khadduri et al. 2002).

Im Frühjahr 2010 wurde ein Teil der Nachkommenschaften unter kontrollierten Bedingungen, ein andere Teil unter natürlichen Standortbedingungen angezogen. „Kontrolliert" bezieht sich hierbei auf die klimatisierten Bedingungen im Gewächshaus (GH), wobei die Pflanzen in 2 l-Töpfen mit kommerziellem Vermehrungssubstrat (Einheitserde classic, Gebr. Patzer GmbH & Co. KG) und ausreichender Wasserversorgung kultiviert wurden. „Natürlich" meint die Bedingungen im Freiland (FL) der eigenen Baumschule in Waldsieversdorf (Brandenburg, Deutschland). Dieser Standort ist mäßig frisch und grundwasserfern. Während der Auskeimphase wurden die Anzuchtbeete schattiert und durch regelmäßiges Jäten die Konkurrenz von Begleitkräutern minimiert. Eine künstliche Bewässerung erfolgte nur nach langen Trockenperioden (>4 Wochen) für wenige Stunden um einer hohen Ausfallrate entgegenzuwirken.

Im Herbst 2010 wurde die Höhe, der Basaldurchmesser (WHD) und das Sprosstrockengewicht (STG) von jeweils 20 Pflanzen einer Herkunft unter beiden Anzuchtbedingungen bestimmt. Die Trocknung erfolgte 48 h bei 105 °C. Nach der ersten Vegetationsperiode wurden die im Gewächshaus angezogenen Pflanzen in der Baumschule ausgepflanzt. Die im Freiland ausgesäten Pflanzen wurden im Mai 2011 stark durch Spätfrost geschädigt. Nach dem 2. Standjahr wurden von jeder Herkunft der Freilandaussaat die wüchsigsten Einzelpflanzen ausgewählt (Pluspflanzen) und erneut auf dem Baumschulgelände in Waldsieversdorf verschult. Mit den übrigen Pflanzen wurde ein Feldversuch in Forst (Lausitz) angelegt (Ergebnisse dazu werden nachfolgend nicht dargestellt). Während der Vegetationsruhe der Jahre 2011, 2012 und 2013 wurden an den Pflanzen beider Gruppen (Gewächshaus- und Freilandanzucht) Höhe und Wurzelhalsdurchmesser erfasst, nicht aber das Sprosstrockengewicht.

Toleranzindices

„Trockentoleranzindices" finden üblicherweise als Selektionskriterium bei der Abschätzung der Trockentoleranz Verwendung. Das Untersuchungsmaterial wird dabei unter bewässerten und nicht-bewässerten Bedingungen angezogen und die jeweiligen Ertragsleistungen ins Verhältnis gesetzt. Bei der nachfolgenden Analyse wurden die Toleranzindices aus der Ertragsleistung (Median von STG) unter natürlichen und kontrollierten Bedingungen abgeleitet. Damit handelt es sich nicht um Trockentoleranzindices i. e. S., eher um „Standorttoleranzindies", welche eine Abschätzung der Ertragsstabilität für einen relativ armen und trockenen Standort im ersten Standjahr erlauben. Nachfolgend wurden die üblichen Abkürzungen für Trockentoleranzindices beibehalten und nach folgenden Formeln berechnet:

$Tolerance\ index = TOL = Yp - Ys$ (Rosielle und Hamblin 1981)

$Mean\ productivity = MP = \frac{Yp+Ys}{2}$ (Rosielle und Hamblin 1981)

$Stress\ susceptibility\ index = SSI = \frac{1-\frac{Ys}{Yp}}{SI};\ SI = 1 - \frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p}$ (Fischer und Maurer 1978)

$Stress\ tolerance\ index = STI = \frac{Yp \times Ys}{\bar{Y}p^2}$ (Fernandez 1992)

$\boldsymbol{Ys}$ ist die Ertragsleistung (STG) unter natürlichen Wuchsbedingungen, $\boldsymbol{Yp}$ die Ertragsleistung (STG) unter kontrollierten Bedingungen. $\bar{Y}s$ und $\bar{Y}p$ sind die Gesamtmedianwerte aller Pflanzen unter natürlichen bzw. kontrollierten Bedingungen.

Statistische Datenanalyse

Die statistische Datenanalyse wurde mit den Programmen Microsoft Excel 2010 (Microsoft) und R (R Development Core Team 2009, R version 3.0.2 (2013-09-25)) durchgeführt. Die Ähnlichkeitsgruppen der Clusteranalyse wurden mit einem partitionierenden Verfahren (*k-Means*) in R gefunden. Die Variable wurden skaliert und die Clusterzentren mit 20 Wiederholungssets gefunden. Um die Anzahl *k* der Cluster zu wählen, wird der Verlauf der Fehlerquadratsumme *RSS* für eine wachsende Zahl *k* betrachtet. Dort, wo diese Kurve einen „Knick“ hat, also die Fehlerquadratsumme mit einem weiteren Cluster nicht mehr entscheidend sinkt, hört man in aller Regel auf. Eine gute Anpassung des Modells wird durch eine Minimierung der Fehlerquadratsumme innerhalb der Cluster und einer Maximierung der Fehlerquadratsumme zwischen den Clustern erreicht.

Ergebnisse

Toleranzindices

Die Toleranzindices wurden für insgesamt 44 Nachkommenschaften abgeleitet. Bei einer Nachkommenschaft (Hasenholz, D) war keine repräsentative Aufnahme im Freiland und damit keine Berechnung möglich.

Der mittlere Gesamtertrag im Gewächshaus (Yp = 2,13 g) war siebenfach größer als der im Freiland (Ys = 0,29 g), was deutlich den Einfluss von Standort und Wasserversorgung auf das Pflanzenwachstum zeigt (Tabelle 1). Zwischen der Wuchsleistung unter kontrollierten und natürlichen Bedingungen war keine Korrelation festzustellen (rs = 0,08). Ein großes Ertragspotential der Herkünfte gewährleistet demnach keine hohen Erträge bei ungünstigeren Bedingungen. So war die im Gewächshaus ertragsstärkste Herkunft (Arnaia, GR) im Freiland nur auf Platz 17, umgekehrt die im Freiland ertragsstärkste (Stara Zagora, BG) im Gewächshaus nur auf Rang 25.

Entsprechend der Indices lassen sich die relativen Ertragsleistungen für die Herkünfte ableiten und vergleichen. So korreliert der **TOL-Index** signifikant positiv (rs = 0,92) mit dem Ertragspotential (Yp) und negativ (-0,21) mit der Ertragsleistung unter natürlichen Bedingungen (Ys) (Tabelle 2). Je größer der TOL-Wert, um so größer ist der Ertragsverlust und entsprechend trockensensitiv sind die Herkünfte. Die sensitivsten Herkünfte dieses Indexes sind gleichzeitig die mit dem gößten Ertragspotential. Die Auslese von nur „toleranten“ Herkünften (mit geringem TOL-Wert) würde demnach zu verminderten Erträgen bei günstigen Wuchsbedingungen führen. Der **MP-Index** beschreibt die mittlere Produktivität beider Bedingungen und korreliert signifikant positiv (rs = 0,93) mit Yp. Ein großer Indexwert deutet auf eine gute Ertragsleistungen unter beiden bzw. wechselnden Wuchsbedingungen hin und erlaubt damit Rückschlüsse auf die Ertragsstabilität. Die besten und schlechtesten Herkünfte dieses Indexes entsprechen in etwa der Rangfolge für Yp (vgl. Tabelle 1). Der **STI-Index** ist für eine Abschätzung nicht interpretierbar, da er jeweils signifikant positiv mit Ys (rs = 0,86) und Yp (rs = 0,52) korreliert. Damit könnten unter Umständen tolerante Herkünfte nicht als solche identifiziert werden. Der **SSI-Index** korreliert als einziger der untersuchten Indices signifikant negativ (rs = -0,78) mit Ys und signifikant positiv (rs = 0,48) mit Yp. Damit gehen beide Parameter unabhängig in die Berechnung ein, weshalb der SSI den anderen Indices bei der Identifizierung von sensitiven / toleranten Herkünfte vorzuziehen ist und als bevorzugtes Selektionskriterium Verwendung findet. Ein SSI-Wert >1 weist auf eine überdurchschnittliche Trockensensitivität hin (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Geografische Angaben und Reifejahr der untersuchten Herkünfte sowie Ertragsleistungen nach der ersten Vegetationsperiode (Yp: Gewächshaus, Ys: Freiland) und daraus abgeleitete Toleranzindices (TOL, MP, SSI, STI) mit entsprechender Rankzahl der Herkünfte (Farbverlauf)

Land	Ort	ID	LAT	LONG	ALT	Reifejahr	Yp		Ys		TOL		MP		SSI		STI	
Bulgarien	Dobrich	BG-DOB	N43° 34' 08"	E27° 49' 38"	300	2009	1,32	40	0,19	37	1,13	11	0,75	41	0,99	19	0,05	41
	Hasskovo	BG-HAS	N41° 55' 53"	E25° 33' 26"	100	2009	2,11	24	0,16	38	1,95	24	1,13	28	1,07	37	0,07	37
	Nessebar	BG-NES	N42° 43' 28"	E27° 35' 29"	100	2008	2,01	27	0,73	4	1,29	14	1,37	20	0,74	6	0,32	6
	Plovdiv	BG-PLO	N42° 08' 38"	E24° 44' 58"	150	2009	1,5	37	0,46	9	1,04	9	0,98	36	0,80	9	0,15	23
	Stara Zagora	BG-SZ	N42° 25' 26"	E25° 37' 30"	150	2009	2,06	25	1,46	1	0,60	1	1,76	9	0,34	1	0,66	2
	Varna I	BG-VARI	N43° 12' 60"	E27° 54' 43"	100	2009	1,15	42	0,33	16	0,82	4	0,74	42	0,83	10	0,08	35
	Varna II	BG-VARII	N43° 12' 60"	E27° 54' 43"	100	2008	1,41	39	0,20	36	1,21	13	0,80	40	0,99	17	0,08	36
Deutschland	Altbrandsleben	D-ALT	N52° 04' 24"	E11° 15' 02"	77	2001	1,05	43	0,07	44	0,99	6	0,56	43	1,09	41	0,02	44
	Buckow	D-BUC	N52° 33' 49"	E14° 04' 44"	77	2000	1,57	36	0,63	7	0,94	5	1,10	32	0,69	4	0,22	13
	Göritz I	D-GÖRI	N51°59'02"	E12°29'55"	30	2002	3,62	3	0,26	26	3,36	42	1,94	4	1,07	38	0,22	14
	Göritz II	D-GÖRII	N51°59'02"	E12°29'55"	30	2007	2,95	10	0,34	14	2,61	35	1,65	11	1,02	23	0,22	12
	Hasenholz	D-HAS	N52° 33' 45"	E14° 01' 16"	84	2002												
	Kusel	D-KUS	N49° 32' 18"	E07° 24' 23"	226	2009	1,22	41	0,42	11	0,80	3	0,82	39	0,76	7	0,11	28
	Meyenburg	D-MEY	N53° 18' 46"	E12° 14' 33"	72	2008	2,45	17	0,21	34	2,24	29	1,33	22	1,06	33	0,11	27
	Waldsieversdorf I	D-WSDI	N52° 32' 32"	E14° 04' 15"	58	2000	3,52	4	0,59	8	2,93	38	2,05	2	0,96	14	0,45	3
	Waldsieversdorf II	D-WSDII	N52° 32' 32"	E14° 04' 15"	58	2001	2,18	22	0,31	19	1,87	23	1,25	24	0,99	18	0,15	24
	Waldsieversdorf III	D-WSDIII	N52° 32' 32"	E14° 04' 15"	58	2002	2,04	26	0,22	33	1,82	22	1,13	30	1,03	29	0,10	32
	Waldsieversdorf IV	D-WSDIV	N52° 32' 32"	E14° 04' 15"	58	2002	3,78	2	0,26	25	3,52	43	2,02	3	1,08	39	0,21	15
	Wriezen	D-WRI	N52° 43' 11"	E14° 07' 60"	12	2008	1,95	29	0,16	39	1,79	21	1,05	34	1,07	35	0,07	38
Griechenland	Arnaia	GR-ARN	N40° 29' 11"	E23° 35' 37"	10-500	2009	4,1	1	0,33	17	3,77	44	2,21	1	1,07	36	0,17	21
Italien	Corsagna	I-COR	N43° 58' 44"	E10° 33' 50"	630	2009	2,83	11	0,39	13	2,45	34	1,61	12	1,00	21	0,24	10
	Poggio Rosso	I-PR	N41° 42' 27"	E09° 21' 35"	350	2009	1,87	31	0,27	24	1,60	19	1,07	33	0,99	16	0,11	30
	Rifreddo	I-RIF	N44° 39' 06"	E07° 20' 51"	800	2009	2,4	18	1,28	2	1,12	10	1,84	6	0,54	2	0,68	1
Rumänien	Arginesti	RO-ARG	N44° 34' 29"	E23° 24' 50"	120	2009	2,68	12	0,31	20	2,38	31	1,49	15	1,03	25	0,18	17
	Baciu	RO-BAC	N46° 47' 34"	E23° 31' 30"	500	2009	1,76	34	0,20	35	1,56	18	0,98	37	1,03	24	0,06	40
	Berzasca	RO-BER	N44° 38' 58"	E21° 56' 48"	67	2009	1,99	28	0,23	32	1,76	20	1,11	31	1,02	22	0,18	18
	Calafat	RO-CAL	N43° 59' 23"	E22° 56' 03"	35	2009	2,67	13	0,29	21	2,38	32	1,48	16	1,03	28	0,17	20
	Carlogani	RO-CAR	N44° 31' 55"	E24° 06' 11"	230	2009	3,33	6	0,33	15	3,00	40	1,83	7	1,04	30	0,24	9
	Comana	RO-COM	N45° 54' 56"	E25° 13' 31"	434	2009	1,78	33	0,29	22	1,49	17	1,03	35	0,97	15	0,11	29
	Cuci	RO-CUC	N46° 49' 45"	E27° 11' 51"	290	2009	2,15	23	0,69	5	1,46	15	1,42	17	0,79	8	0,33	5
	Focsani	RO-FOC	N45° 42' 02"	E27° 11' 20"	35	2009	3,1	8	0,26	28	2,84	36	1,68	10	1,06	34	0,08	34
	Gugesti	RO-GUG	N45° 34' 00"	E27° 07' 60"	55	2009	1,46	38	0,26	29	1,21	12	0,86	38	0,96	12	0,14	25
	Mihaiesti	RO-MIH	N46° 54' 06"	E23° 24' 52"	455	2009	3,48	5	0,23	31	3,25	41	1,86	5	1,08	40	0,10	31
	Poiana Mare I	RO-PMI	N43° 55' 09"	E23° 04' 07"	36	2009	2,33	20	0,13	41	2,21	28	1,23	26	1,10	42	0,06	39
	Poiana Mare II	RO-PMII	N43° 55' 09"	E23° 04' 07"	36	2009	0,89	44	0,10	42	0,79	2	0,50	44	1,03	26	0,02	43
	Poiana Mare III	RO-PMIII	N43° 55' 09"	E23° 04' 07"	37	2009	3	9	0,14	40	2,86	37	1,57	13	1,10	43	0,09	33
	Sacueni	RO-SAC	N47° 21' 09"	E22° 05' 29"	140	2009	2,57	15	0,26	27	2,32	30	1,41	18	1,04	31	0,17	19
	Topoloveni	RO-TOP	N44° 48' 25"	E25° 05' 02"	570	2009	2,54	16	0,10	43	2,45	33	1,32	23	1,11	44	0,05	42
	Vidra	RO-VID	N45° 54' 36"	E26° 53' 60"	260	2009	2,23	21	0,25	30	1,98	25	1,24	25	1,03	27	0,12	26
	Viisoara	RO-VII	N46° 33' 28"	E23° 54' 35"	170	2009	1,67	35	0,65	6	1,02	8	1,16	27	0,71	5	0,24	11
Slowakei	Levice	SK-LEV	N48° 13' 09"	E18° 36' 23"	164	2007	1,87	32	0,40	12	1,47	16	1,13	29	0,91	11	0,16	22
	Sobrance	SK-SOB	N48° 44' 45"	E22° 10' 47"	127	2008	3,28	7	0,29	23	2,99	39	1,78	8	1,06	32	0,21	16
Ungarn	Kiskunsagi	H-KIS	N46° 50' 15"	E19° 11' 41"	79	2008	1,9	30	0,91	3	1,00	7	1,40	19	0,61	3	0,38	4
	Nyirsegi	H-NYI	N47° 57' 12"	E21° 43' 35"	104	2008	2,59	14	0,45	10	2,14	27	1,52	14	0,96	13	0,26	8
	Pusztavacs	H-PUS	N47° 10' 17"	E19° 30' 04"	126	2007	2,36	19	0,33	18	2,03	26	1,34	21	1,00	20	0,29	7
gesamt							**2,13**		**0,29**		**1,84**		**1,21**		**1**		**0,14**	

Tabelle 2: Spearman-Korrelationskoeffizienten zwischen Yp, Ys und Toleranzindices. * p<0,05; ** p<0,01

	Ys	Yp	TOL	MP	SSI
Yp	0.0799				
TOL	-0.2080	0.9188**			
MP	0.3605	0.9315**	0.7290**		
SSI	-0.7829**	0.4840*	0.6875**	0.2094	
STI	0.8564**	0.5152**	0.2108	0.7544**	-0.4304**

Clusteranalyse

Der Grafik zufolge wählt man mindestens 3 Cluster, evtl. auch 4 (Abb. 2). Für den Vergleich von 3 und 4 Clustern wurden die ersten beiden Hauptkomponenten (Yp und Ys) in einem Streudiagramm visualisiert. Dabei sind die Clusterzugehörigkeit mit Herkunfts-ID und Cluster-Mittelwert in selber Farbe dargestellt (Cluster 1: schwarz/grün, Cluster 2: rot/blau, Cluster 3: grün/rot, Cluster 4: -/schwarz).

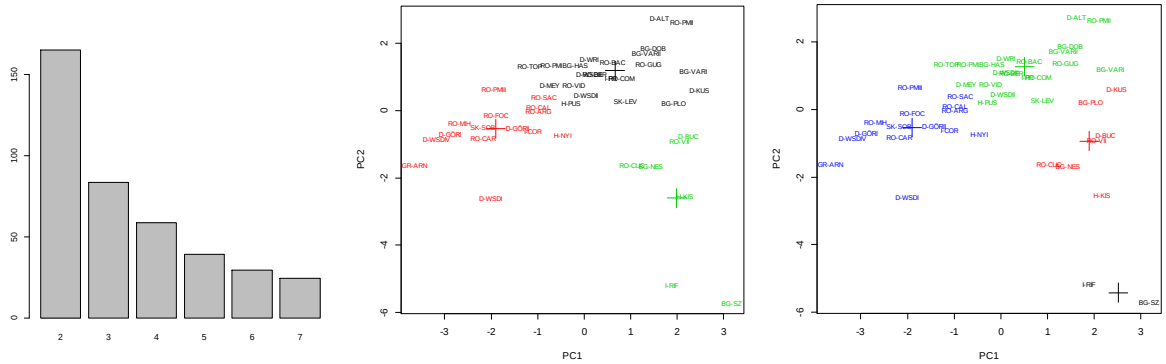


Abb. 2: Fehlerquadratsumme *RSS* mit steigender Clusterzahl (links). Streudiagramm der Ertragsleistung im ersten Wuchsjahr unter kontrollierten und natürlichen Bedingungen (PC1, PC2) mit einer Clusteranzahl von drei (mittig) und vier (rechts)

Der zweite Cluster (rot/blau) ist bei beiden Varianten identisch, der erste (schwarz/grün) annährend. Bei *k=4* werden vom dritten Cluster (grün/rot) zwei Herkünfte (Stara Zagora (BG), Rifreddo (I)) in einem neuen vierten Cluster (-/schwarz) ausgelagert. Dadurch verringert sich die Fehlerquadratsumme innerhalb der Cluster (tot.withinSS) von 83,4 auf 58,7, die Fehlerquadratsumme zwischen den Clustern (betweenSS) steigt von 174,6 auf 199,3 (Tabelle 3). Dadurch verbessert sich die Modellanpassung (betweenSS/totalSS) von 67,7 % auf 77,2 %, weshalb vier statt drei Cluster zur Abgrenzung betrachtet werden.

Die zwei Herkünfte in Cluster 4 (schwarz) zeichnen sich durch ihre sehr gute Ertragsleistung unter natürlichen Bedingungen aus (hoher PC2-Wert, Tabelle 4). Cluster 1 (grün) umfasst 20 Herkünfte mit geringer Ertragsleistung unter beiden Wuchsbedingungen (geringe PC1- und PC2-Werte). Durch die insgesamt schwache Gesamtproduktivität sind diese für die Biomasseerzeugung nicht geeignet. Cluster 3 (rot) mit sieben Herkünften liegt intermediär zwischen dem ersten und vierten Cluster. Cluster 2 (blau) besitzt einen hohen PC1-Wert aus und umfasst 15 Herkünfte. Diese Herkünfte sind bei guten Bedingungen wüchsig, reagieren aber sehr empfindlich auf Trockenheit.

Tabelle 3: Vergleich der Güte der Modelle mit drei und vier Clustern

	k=3	**k=4**
betweenSS	174,6	199,3
tot.withinSS	83,4	58,7
size	22 – 7 – 15	20 – 2 – 15 – 7
withinSS	33,9 – 27,9 – 21,7	26,8 – 1,2 – 21,7 – 9,1

Tabelle 4: Cluster-Mittelwert (k=4) der Hauptkomponenten Ys und Yp sowie der Toleranzindices

Cluster	**Yp (PC1)**	**Ys (PC2)**	**TOL**	**MP**	**SSI**	**STI**
1	-0,58	-0,53	-0,36	-0,73	0,37	-0,67
2	1,13	-0,20	1,12	0,99	0,53	0,23
3	-0,73	0,95	-1,01	-0,37	-1,32	0,45
4	-0,08	3,51	-1,27	1,14	-3,04	3,38

Ertragsleistung

Für die Abschätzung der Ertragsleistung wird nachfolgend der Parameter „Wurzelhalsdurchmesser“ (WHD) betrachtet. Durch diesen nicht-destruktiven Parameter konnten die jährlichen Zuwächse an denselben Einzelbäumen erhoben werden. Der WHD korreliert stark mit dem Biomasseertrag (rs = 0,87), welcher exponentiell zum Durchmesser zunimmt (Abb. 3). Grundlage ist die allometrische Biomassefunktion ($STG = a * WHD^b$) bei der die Zielgröße auf einer Erklärungsvariablen (WHD) beruht. Die Ertragsparameter werden von den Faktoren Standort, Klima, Alter und Bestandsdichte beeinflußt.

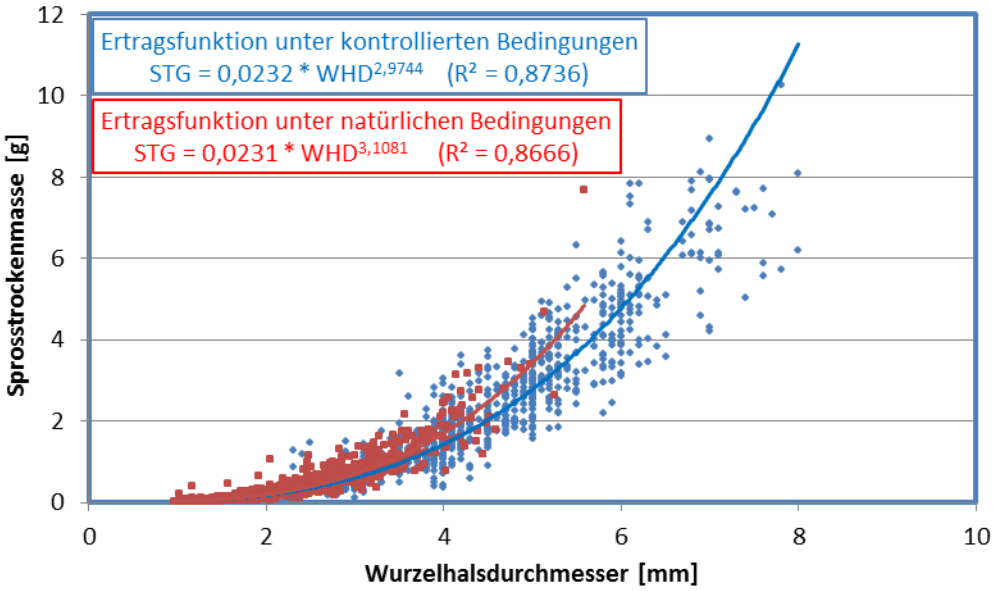


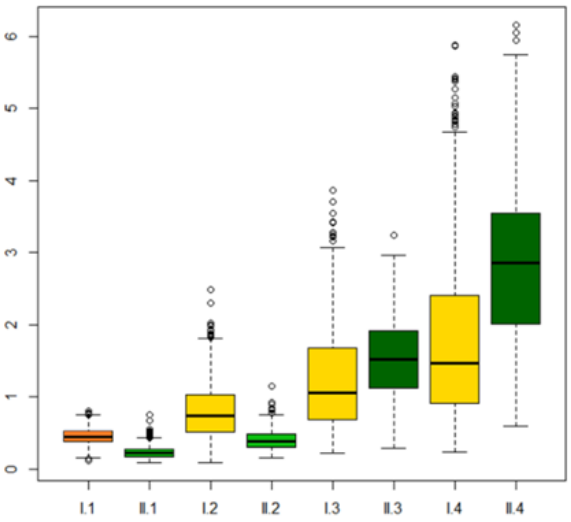
Abb. 3: Ertragsfunktionen einjähriger Robinien unter Freiland- (rot) und Gewächshaus-Bedingungen (blau)

Die einjährigen Pflanzen, welche unter kontrollierten Bedingungen angezogen wurden (I.1), wiesen im Durchschnitt einen doppelt so großen WHD (0,45 cm) wie die im Freiland angezogenen Pflanzen auf (0,23 cm (II.1), Abb. 4). Nach der Verschulung der GH-Pflanzen im Freiland (I.2) betrug der mittlere Durchmesser 0,91 (± 0,36) cm. In den folgenden beiden Jahren lag die durchschnittliche Wuchsleistung bei 1,22 (± 0,68) cm (I.3) bzw. 1,77 (± 1,08) cm (I.4). Insgesamt ist bezüglich der Wuchsleistung eine sehr große Spanne zwischen den verschiedenen Gruppen aber auch innerhalb der Nachkommenschaften festzustellen (Abb. 4). Der Durchmesser 4-jähriger Pflanzen variiert zwischen 0,3 und 5,89 cm. Die wüchsigste Pflanze liegt 3,3fach über dem Gesamtmittel, die schlechtwüchsigste Pflanze liegt knapp 6fach darunter.

Die Wuchsleistung der 2-jährigen Freilandaussaaten (II.2) lag mit 0,39 cm noch unter der, die nach einem Jahr im Gewächshaus (I.1) erreicht wurde. Nach dem Austrieb der Pflanzen im Frühjahr 2011 führte ein Spätfrostereignis zu starken Schäden, wodurch von den insgesamt ∼50.000 angezogenen Pflanzen ein Großteil ausfiel oder zumindest bis auf den Stock zurückgefroren ist. Nachfolgend war eine repräsentative Erhebung der Wuchsleistung dennoch gewährleistet.

Nach der ersten Vegetationsperiode im Freiland lag die wüchsigste Herkunft gut 50 % über dem Gesamtmittel (Stara Zagora, BG). Die Herkünfte Nessebar (BG) und Rifreddo (IT) folgten mit etwa 40 % (Abb. 5). Auf den Plätzen 4 bis 10 waren 6 deutsche Herkünfte vertreten (10-30 %). Fast alle rumänischen Herkünfte erbrachten unterdurchschnittliche Wuchsleistungen. Am schwach-wüchsigsten war die Herkunft aus Topoloveni (-27 %), gefolgt von den drei Herkünften aus Poiana Mare (-22 bis -17 %). Im folgenden Jahr bestätigten sich die Wuchsleistungen vieler Herkünfte. Stara Zagora (BG) und Rifreddo (IT) zählten ebenfalls zu den wüchsigsten. Bei einigen Herkünften kam es jedoch zu einer deutlichen Verschiebung im zweiten Wuchsjahr (grüne Sterne in Abb. 5). Vor allem

bei den deutschen Herkünften Hasenholz, Altbrandsleben und Göritz II sowie Poggio Rosso (IT) wurde eine deutliche Steigerung festgestellt. Hingegen kam es zu deutlichen Wuchseinbrüchen (rote Sterne in Abb. 5) bei den Herkünften Waldsieversdorf I (DE), Viisoara (RO) und Poiana Mare II und III (RO). Die deutlichen Unterschiede in der Wuchsleistungen der genannten Herkünfte sind überwiegend auf das Spätfrostereignis im Frühjahr 2011 zurückzuführen. So zeigten besonders die Herkünfte aus Altbrandsleben, Hasenholz, Göritz II (alle DE) und Poggio Rosso (IT) eine hohe Toleranz, wohingegen die Herkünfte Waldsieversdorf I (DE), Viisoara (RO) und Poiana Mare II + III (RO) anfällig waren.



	Alter (Jahr)	WHD [cm] (sd)	min-max	n
I.1 (GH)	1 (2010)	0,45 (0,12)	0,12 - 0,80	837
I.2 (GH-FL)	2 (2011)	0,91 (0,36)	0,19 - 2,49	1346
I.3 (GH-FL)	3 (2012)	1,22 (0,68)	0,28 - 3,87	1188
I.4 (GH-FL)	4 (2013)	1,77 (1,08)	0,30 - 5,89	1028
II.1 (FL)	1 (2010)	0,23 (0,08)	0,10 - 0,56	889
II.2 (FL)	2 (2011)	0,39 (0,16)	0,10 - 1,15	561
II.3 (FL-Plus)	3 (2012)	1,38 (0,52)	0,26 - 3,25	167
II.4 (FL-Plus)	4 (2013)	2,64 (1,08)	0,46 - 6,05	167

Abb. 4: Gesamtwuchsleistung (WHD [cm]) der Robinienherkünfte im Alter von 1-4 Jahren entsprechend ihrer „Anzuchtbehandlung". I.x wurde im ersten Wuchsjahr (2010) unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus (GH) angezogen und im Frühjahr 2011 im Freiland (FL) ausgepflanzt. II.x wurde im Frühjahr 2010 im Freiland ausgesät und nach zwei Jahren nur wüchsige Vertreter (fast) jeder Herkunft (Pluspflanzen) verschult. In der Tabelle sind Alter, Wuchsjahr, Wuchsleistung (WHD) mit Standartabweichung (sd), Extrema (Minimum-Maximum) und Stichprobenzahl (n) der Herkunftsvergleiche angegeben.

Die Gesamtwuchsleistung der ausgewählten Pluspflanzen lag im Folgejahr (II.3) 350 % über der Wuchsleistung der Freilandaussaat 2011 (II.2, vgl. Abb. 4). Nach vier Jahren (II.4) betrug der WHD-Mittelwert dieser Pflanzen 2,64 (±1,08) cm. Trotz der Vorselektion war auch in dieser „Untersuchungsgruppe" die Streuung sehr groß (0,46 – 6,05 cm).

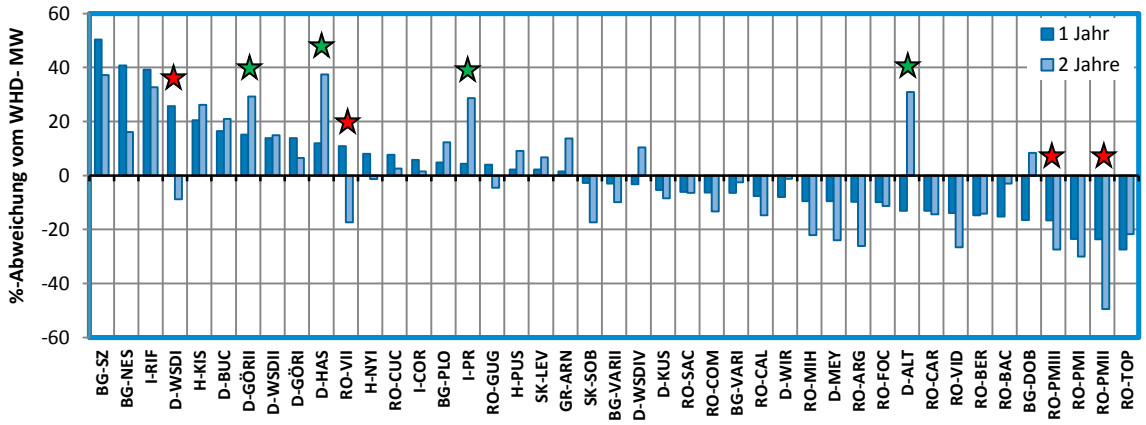


Abb. 5: Prozentuale Abweichung der Wuchsleistung der Herkünfte vom WHD-Gesamtmittelwert nach dem ersten und zweiten Standjahr im Freiland. Die Frostanfälligkeit ausgewählter Herkünfte ist mit „Sternen" markiert (rot: sensitiv, grün: tolerant)

Bei der Wuchsleistung von 2- bis 4-jährigen Pflanzen kam es nur zu geringen Verschiebungen im Vergleich der Herkünfte. Herkünfte, welche sich nach zwei bzw. drei Standjahren als wüchsig erwiesen, hielten ihren Vorsprung auch in den Folgejahr(en) und setzten damit den Wuchstrend fort (Abb. 6). Betrachtet man die Wuchsleistung aus dem Herkunftsvergleich der ehemals im Gewächshaus angezogenen Pflanzen (I.2 und I.4 ≙ „Gruppe I“, blaue Balken), können die Herkünfte Nessebar (BG), Levice (SK) und Waldsieversdorf III (DE) deutlich (>15 %) zulegen, wohingegen nur die Herkunft aus Vidra (RO) deutlich zurückfiel (-18 %). In der Versuchsgruppe der Pluspflanzen (II.3 und II.4 ≙ „Gruppe II“, grüne Balken) konnten deutliche Steigerungen bei den Herkünften Plovdiv (BG), Gugesti und Sacueni (beide RO) festgestellt werden, klar zurückgefallen ist die Herkunft Nyirsegi (HU).

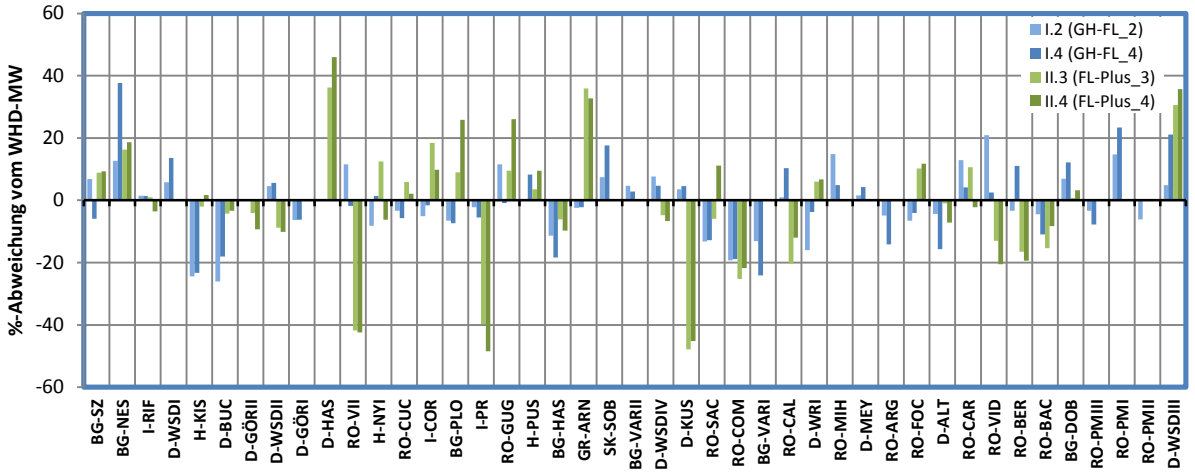


Abb. 6: Prozentuale Abweichung der Wuchsleistung der Herkünfte vom WHD-Gesamtmittelwert nach dem zweiten und vierten Standjahr der im Freiland verschulten Gewächshauspflanzen (blau), sowie nach dem dritten und vierten Standjahr vorselektierter Pluspflanzen (grün).

Beim Vergleich zwischen den beiden Gruppen unterscheiden sich einige Herkünfte deutlich in ihrer Wuchsleistung (blaue vs. grüne Balken in Abb. 6). So sind die selektierten Pluspflanzen der in „Gruppe I“ gut wüchsigen Herkünfte Berzasca (RO), Kusel (DE), Poggio Rosso (IT) und Viisoara (RO) nur schwachwüchsig. Im Gegensatz sind die Pluspflanzen der Herkünfte Hasenholz (DE), Arnaia (GR), Plovdiv (BG) und Gugesti (RO) deutlich wuchskräftiger bezogen auf das Herkunftsmittel der „Gruppe I“.

Die bisher präsentierten Ergebnisse sind zusammenfassend in Abbildung 7 dargestellt. In der Darstellung wurde die Ertragsleistung einjähringer Nachkommenschaften unter kontrollierten und natürlichen Bedingungen als Basis verwendet. Ergänzend wurden gute (>10 % vom Gesamtmittel) und schlechte (<10 %) Wuchsleistung der Herkünfte nach vier Jahren von beiden Gruppen hervorgehoben. Die„Sterne“ markieren die Frostanfälligkeit.

Die zwei Herkünfte (I-RIF und BG-SZ), die sich in der ersten Untersuchung als tolerant unter natürlichen Wuchsbedingungen herausgestellt haben, erbrachten als 4jährigen Pflanzen nur mittlere Wuchsleistungen. Herrausragend ist die Herkunft aus Nessebar (BG-NES), welche als mäßig tolerant eingestuft wurde, und in beiden Gruppen eine gute Wuchsleistung erbrachte. Ebenfalls in beiden Gruppen im Spitzenfeld vertreten ist WaldsieversdorfIII (D-WSDIII). Auch zwei weitere Herkünfte aus Waldsieversdorf (D-WSDI und D-WSDIV) sowie Sobrance (SK), die ein hohes Ertragspotential bei der Toleranzuntersuchung zeigten (grünes Cluster), waren auch in „Gruppe I“ gutwüchsig. Ergänzend sei GR-ARN erwähnt, welche in „Gruppe II“ deutlich über dem Gesamtmittel lag. Drei rumänische Herkünfte (CAL, TOP, BER) waren gutwüchsig in „Gruppe 1“, bei den Pluspflanzen jedoch nur unterdurchschnittlich. Die Herkunft aus Comana (RO) zeigte insgesamt eine schlechte Wüchsigkeit.

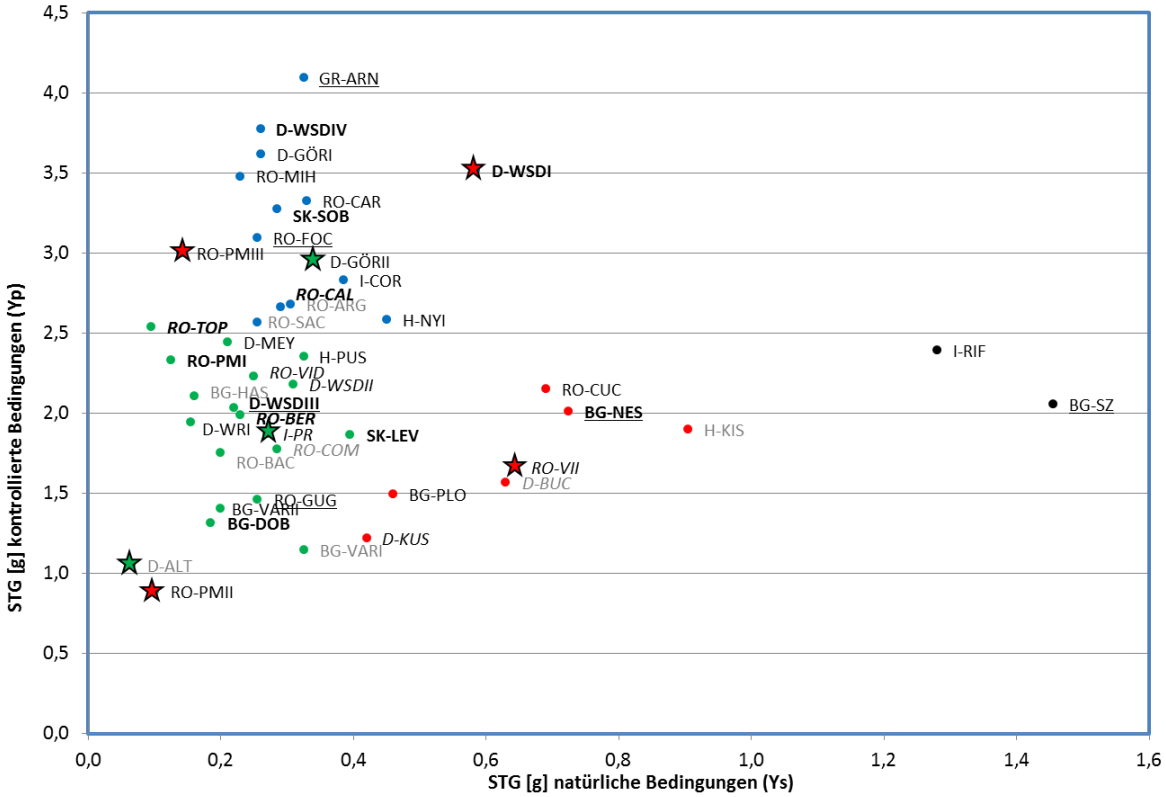


Abb. 7: Ertragsleistung einjähriger Pflanzen verschiedener Herkünfte unter natürlichen und kontrollierten Bedingungen. Die Punktfarben entsprechen den Toleranzclustern (vgl. Abb. 2). Die Sterne geben die Frostanfälligkeit wieder (rot: sensitiv, grün: tolerant; vgl. Abb. 5). Gute Wuchsleistungen (>10 % vom Gesamtmittel) der Herkünfte in „Gruppe I" sind in fetter Schriftart, schlechte Wuchsleistung (<10 %) in grauer Farbe. Wüchsige Vertreter (>10 %) bei den Pluspflanzen (II.4) sind unterstrichen, schlechtwüchsige (<10 %) kursiv dargestellt.

Schlussfolgerung

Die Ertragsleistung der einjährigen Nachkommenschaften unter kontrollierten und natürlichen Bedingungen war voneinander weitgehend unabhängig. Damit konnte die Standorttoleranz der Herkünfte im ersten Wuchsjahr und ihr Ertragspotential eingeschätzt werden. Der SSI-Index wies als einziger der abgeleiteten Toleranzindices (TOL, MP, SSI, STI) eine signifikant negative Korrelation mit der Ertragsleistung unter natürlichen Bedingungen auf, was die Einteilung in „sensitive" und „tolerante" Herkünfte gewährleistet. Zu demselben Ergebnis kommen u.a. auch Clarke *et al.* (1992) und Talebi et al. (2009) bei Trockentoleranzuntersuchen an Weizen. Bei der entsprechenden Clusteranalyse wurden neun Herkünfte dem „Toleranzcluster" zugewiesen. Diese Herkünfte haben einen SSI-Wert <0,8. Weizensorten mit einem SSI-Wert >1 werden von Guttieri et al. (2001) als trockensensitiv eingestuft. Des Weiteren zeigt sich, dass Herkünfte mit geringem Ertragspotential unter Stressbedingungen in Relation deutlich produktiver sind. Demnach kann eine Selektion von Pflanzmaterial für arme/trockene Standorte nur unter entsprechenden Bedingungen erfolgen.

Im Jahr 2011 kam es nach einem warmen und trockenen April im Mai zu einem Spätfrostereignis, wodurch die gerade ausgetriebenen Freilandpflanzen erfroren oder stark beschädigt wurden. Die hohe Frostanfälligkeit der Robinie beschreibt auch Göhre (1952), was erhebliche Auswirkungen auf die Wuchsform und Folgeinfektionen durch Pathogene hat. Die Spätfrostanfälligkeit wurde indirekt über die Wuchsleistung der überlebenden Pflanzen nach der Vegatationsperiode abgeleitet. Das Ergebnis ist keinesfalls repräsentativ und fundiert, jedoch zeigt sich eine Wuchstendenz der Herkünfte nach diesem Ereignis. Demnach erwiesen sich besonders die deutschen und bulgarischen Herkünfte als tolerant, wohingegen die rumänischen Herkünfte anfällig waren. Diese Pflanzen erbrachten etwa die Wuchsleistungen des Vorjahres, benötigten also eine Vegetationperiode um sich

zu regenerieren. Bei größeren/älteren Pflanzen wurden in den Folgejahren nur geringe Frostschäden beobachtet, meist an nicht bzw. schwach verholzten Jahrestrieben bedingt durch Frühfrost.

Die Untersuchungspflanzen wurden bisher nicht geerntet. Der Wurzelhalsdurchmesser wird daher als Indikator für die Wuchsleistung verwendet. Die tatsächliche Ertragsleistung liegt also nicht vor, kann aber über den WHD aus Ergebnissen anderer Untersuchungen hergeleitet werden. Kanzler et al. (2014) bestimmten auf einer Lausitzer Rekultivierungsfläche die Biomasse von zwei- bis vierjähriger Robinien (Pflanzdichte: 9.200 Bäumen/ha). Zweijährige Pflanzen besaßen einen mittleren WHD von 2,1 cm, was einer Gesamtwuchsleistung (ohne Ausfall) von 2,88 t_{atro}/ha bzw. 1,44 t_{atro}/ha*a entspricht. Die dreijährigen Pflanzen kamen im Schnitt auf 3,1 cm (7,56 t_{atro}/ha bzw. 2,54 t_{atro}/ha*a), Vierjährige auf 3,9 cm (18,10 t_{atro}/ha bzw. 4,53 t_{atro}/ha*a). Auf einer anderen Fläche lag die Wuchsleistung nach 6 Jahren bei 5 cm bzw. 6,39 t_{atro}/ha*a. Einzelpflanzen mit einem Durchmesser von 2 cm sind etwa 3 kg schwer, bei 3 cm etwa 8 kg und 4 cm entsprechen etwa 20 kg. Vergleicht man diese Ertragsleistungen mit den untersuchten Herkünfte (für Vierjährige 1,8 cm bzw. 2,6 cm), so ist die Gesamtwuchsleistung als relativ schwach zu bewerten. Einen großen Unterschied macht dabei das Ausgangsmaterial. In dieser Untersuchung wurden die Pflanzen aus Saatgut angezogen, hingegen werden auf Versuchsflächen ein- bis zweijährige Pflanzen ausgebracht.

Bei der Gesamtbetrachtung (Abb. 7) liegen die Herkünfte Nessebar (BG) bei 2,4 cm (I.4) und 3,1 cm (II.4) sowie Waldsieversdorf III bei 2,2 cm (I.4) und 3,6 cm (II.4) und somit in beiden Gruppen deutlich über dem Gesamtmittel. Insgesamt schlagen sich die waldsieversorfer Herkünft ganz beachtlich und „streuen“ im oberen Mittelfeld. In den Jahren von 1950-1965 wurden im Osten Deutschlands Plusbäume (v.a. Geradschaftigkeit) für den Aufbau einer Samenplantage in Sachsen-Anhalt selektiert. Mit diesem Material wurde auch die Samenplantage in Waldsieversdorf begründet.

Die deutlichen Unterschiede in der Wuchsleistung und Toleranz der in diesen Untersuchungen vertretenen Nachkommenschaften von Robinienbeständen und –samenplantagen, belegen deutlich die Wichtigkeit der Wahl des „richtigen“ Vermehrungsguts. Da den hier präsentierten Ergebnissen Erhebungen in Gewächshaus- bzw. Baumschulversuchen zugrunde liegen, ist eine Empfehlung geeigneter Herkünfte und Samenplantagen für die Erzeugung von angepasstem und leistungsstarkem Pflanzmaterial noch nicht möglich. Dafür müssen die Ergebnisse der bereits angelegten und noch geplanten Nachkommenschaftsprüfungen abgewartet werde. Der beobachtete Leistungssprung durch die Selektion der wüchsigsten Bäume (Plusbäume) in den Nachkommenschaften zeigt, dass auch die Auslese und Vermehrung von Leistungsklonen ein möglicher Weg für eine deutliche Ertragssteigerung sein kann.

Literatur

Bongarten BC, Huber DA, Apsley DK, 1992: Environmental and genetic influences on short-rotation biomass production of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in the Georgia Piedmont. Forest Ecology and Management 55: 315–331.

BfN [Bundesamt für Naturschutz], 2013: Neobiota: *Robinia pseudoacacia*. Neobiota.de - Gebietsfremde und invasive Arten in Deutschland.

Clarke JM, DePauw RM, Townley-Smith FT, 1992: Evaluation of Methods for Quantification of Drought Tolerance in Wheat. Crop Science 32: 723–728.

DeGomez T, Wagner MR, 2001: Culture and Use of Black Locust. HortTechnology 11: 279-288.

Dini-Papanastasi O, 2008: Effects of clonal selection on biomass production and quality in *Robinia pseudoacacia var. monophylla* Carr. Forest Ecology and Management 256: 849–854.

Enescu CM, Danescu A, 2013: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) - an invasive neophyte in the conventional land reclamation flora in Romania. Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II - Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering 6: 23–30.

Fernandez GCJ, 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. (CG Kuo, Ed.). Taipei, Taiwan: Avrdc.

Fischer R, Maurer R, 1978: Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29: 897-912.

Foster C, 1992: Wood fuel production from short rotation coppice. In: Cambridge: British Crop Protection Council (BCPC): 215-222.

Gerstengarbe F-W, Badeck F, Hattermann F et al., 2003: Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst-und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Potsdam: PIK.

Göhre K, 1952: Die Robinie (falsche Akazie) und ihr Holz. Berlin: Deutscher Bauernverlag.

Grünewald H, Böhm C, Quinkenstein A, Grundmann P, Eberts J, Wühlisch G von, 2009: *Robinia pseudoacacia* L.: A Lesser Known Tree Species for Biomass Production. BioEnergy Research 2: 123–133.

Guttieri MJ, Stark JC, O'Brien K, Souza E, 2001: Relative Sensitivity of Spring Wheat Grain Yield and Quality Parameters to Moisture Deficit. Crop Science 41: 327–335.

Iliev N, Iliev I, Park Y-G, 2005: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Bulgaria. Journal of Korean Forestry Society 94: 291–301.

Kanzler M, Böhm C, Quinkenstein A, Steinke C, Landgraf D, 2014. Wuchsleistung der Robinie auf Lausitzer Rekultivierungsstandorten. AFZ-Der Wald 5: 35–37.

Khadduri N, Harrington JT, Rosner LS, Dreesen DR, 2002: Percussion as an alternative scarification for New Mexico locust and black locust seeds. In: National proceedings: forest and conservation nursery associations-1999, 2000, and 2001. Ogden, UT: U.S.: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 309–316.

Olesniewicz KS, Thomas RB, 1999: Effects of mycorrhizal colonization on biomass production and nitrogen fixation of black locust (*Robinia pseudoacacia*) seedlings grown under elevated atmospheric carbon dioxide. New Phytologist 142: 133–140.

Redei K, Osvath-Bujtas Z, Veperdi I, 2008: Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) improvement in Hungary: a review. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 4: 127–132.

Rosielle AA, Hamblin J, 1981: Theoretical Aspects of Selection for Yield in Stress and Non-Stress Environment1. Crop Science 21: 943–946.

Schneck V, 2010: Robinie - Züchtungsansätze und Begründungsverfahren. *In:* Deutschland/ Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.). Beiträge - Agrarholz 2010: Symposium am 18. und 19. Mai 2010 in Berlin. Bonn: BMELV, pp. 1-8.

Talebi R, Fayaz F, Naji AM, 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat *(Triticum durum* Desf.). General and Applied Plant Physiology 35, 64–74.

Veste M, Böhm C, Quinkenstein A, Freese D, 2013: Biologische Stickstoff-Fixierung der Robinie. AFZ-Der Wald 2: 40–42.

Korrespondierender Autor:
Thomas Guse
Thünen-Institut für Forstgenetik
Eberswalder Chaussee 3 a
15377 Waldsieversdorf
thomas.guse@ti.bund.de

Erzeugung, Nutzung und genetische Charakterisierung polyploider Pappeln

Kristina Ulrich[1], Heike Liesebach[2], Dietrich Ewald[1]

[1]Thünen-Institut für Forstgenetik, Waldsieversdorf
[2]Thünen-Institut für Forstgenetik, Großhansdorf

Zusammenfassung

Triploide Aspen und Pappeln können neben hervorragenden Wachstumsleistungen auch besondere Holzeigenschaften wie längere Fasern, eine höhere Holzdichte und einen geringeren Ligninanteil besitzen. Außerdem werden polyploide Bäume oft mit verbesserten Resistenzeigenschaften und einer gesteigerten Anpassungsfähigkeit in Zusammenhang gebracht.

Ziel der Arbeiten war die Erzeugung und Selektion schnell wachsender triploider Aspen und Pappeln für die Biomasseerzeugung im Kurzumtrieb. Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Methoden zur Erzeugung triploider Aspen- und Pappelklone etabliert und bei unterschiedlichen Kreuzungen angewendet. Als Voraussetzung für die Kreuzungen wurden leistungsfähige Elternklone ausgewählt, und mit dem Ziel, bestimmte Eigenschaften wie Trockentoleranz oder die Fähigkeit zur Stecklingsbewurzelung zu verbessern, auch intersektionelle Kreuzungen einbezogen. Insgesamt konnten 45 triploide Klone erzeugt werden. Der größte Anteil der triploiden Klone, darunter 13 intersektionelle Hybride (Schwarzpappel × Balsampappel), resultiert aus gelenkten Kreuzungen bzw. *in vitro*-Bestäubungen mit diploidem Pollen. Dazu wurde spontan entstandener unreduzierter (diploider) Pollen, der unter natürlichen Bedingungen bis zu 5% der Gesamtpollenmenge betragen kann, durch Mikrosiebung angereichert. In einigen Fällen gelang außerdem eine Induktion diploider Pollen durch künstliche Wärmebehandlung der Pollenmutterzellen während der Meiose. Weitere triploide Klone konnten durch Induzierung von diploiden Embryosackzellen (postmeiotische Restitution) und durch Größenselektion von Einzelpflanzen aus konventionellen gelenkten Kreuzungen erzeugt werden.

Diploide Gameten können durch Störung der ersten (FDR, First Devision Restitution) oder zweiten (SDR, Second Division Restitution) Zellteilung der Meiose entstehen, wobei die FDR-Gameten und damit auch die resultierenden triploiden Pflanzen einen höheren Heterozygotiegrad aufweisen. Zur Unterscheidung beider Mechanismen wurden Mikrosatellitenmarker eingesetzt, die auch zeigten, dass ein weiblicher Hybridaspen-Klon spontan eine erhöhte Rate diploider Eizellen erzeugt.

In Freiland-Containerversuchen und bei einer Klonprüfung von ausgewählten triploide Klonen zeigten mehrere Aspenklone, die durch gelenkte Kreuzung mit angereicherten diploiden Pollen hervorgegangen bzw. durch Einzelpflanzenselektion aus konventionellen Kreuzungen entstanden waren, sehr gute Wachstumseigenschaften, die mit der Performance von triploiden Graupappel-Leistungsklonen vergleichbar sind.

Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung triploider Pflanzen ist die Kreuzung diploider und tetraploider Eltern. Aus dem Projekt „Tetraploide“ (FNR, FKZ 22013409) wurden 12 tetraploide Aspen-, Pappel- bzw. Graupappellinien in das FastWood-Projekt einbezogen, die durch Polyploidisierung selektierter Elternklone erzeugt wurden. Diese Linien liegen als *in vitro*-Kulturen und Containerpflanzen vor und können nach Erreichen der Blühfähigkeit zur Gewinnung diploider Gameten für die Züchtung leitungsfähiger triploider Klone verwendet werden.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass man mit den angewendeten Methoden effektiv triploide Pflanzen erzeugen kann, von denen einige herausragende Wachstumseigenschaften besitzen.

Schlüsselworte: *Populus* sp., triploid, tetraploid, unreduzierte Gameten, Mikrosatellitenmarker, FDR, SDR

Abstract

Establishment, utilisation and genetic characterisation of polyploid poplars

Triploid trees often show higher growth potential, higher wood density, longer fibers and improved pulp properties in comparison with their diploid counterparts. Triploids were also found to have higher stress resistance and a greater ecological adaptability.

The aim of this project was to breed fast-growing triploid aspen and poplars for biomass production in short rotation coppice plantations. As prerequisite for the crossings, parent clones with high performance were selected. Intersectional crossbreeding had been conducted with the aim of improving tolerance characteristics and transferring the rooting capacity of shoot cuttings to the progeny.

Different methods were established and applied to breed triploid trees. In total, 45 triploid clones could be generated. The majority of the clones, including 13 intersectional hybrids (sections *Aigeiros* × *Tacamahaca*) resulted from crossings using enriched diploid pollen. Spontaneously occuring diploid pollen, which can reach up to 5% of total pollen under natural conditions, was enriched using microsieves. Additionaly, in some clones, unreduced diploid pollen could be induced by thermo-treatment of microspore mother cells during meiosis. Some triploid clones were generated by thermo-treatment of female flowers after pollination to induce postmeiotic restitution of embryo sac nuclei for the formation of 2n eggs or selected from conventional crossings.

Diploid, unreduced gametes (pollen or eggs) may arise from disturbances of the first (FDR, First division restitution) or the second (SDR, Second division restitution) phase of meiosis, with FDR gametes being more effective for transmitting heterozygosity. Microsatellite markers allowed a very effective determination of FDR resp. SDR processes and showed that a female hybrid aspen clone was assured to be able to cause a frequent spontaneous formation of diploid ovules.

Container tests and a field trial were performed to select the best-growing triploid clones. Some aspen clones derived from crossings using enriched pollen, and from selection of single plants from conventional crossings, showed excellent growth performance comparable to that of fast-growing triploid *P.* × *canescens* clones.

Another approach to produce triploids is to cross diploid with tetraploid trees. Twelve tetraploid clones of aspen, poplar and greypoplar, respectively, obtained by polyploidisation of selected parent clones were transferred from the project ”Tetraploide” (FKZ: 22013409). These plants can be used as valuable breeding material for the production of triploid plants after flower formation.

All in all, results show that the methods applied here are suitable to generate triploid plants, with some of them showing excellent growth.

Keywords: *Populus* sp., triploid, tetraploid, unreduced gametes, microsatellite markers, FDR, SDR

Einleitung

Nach der Entdeckung einer stark wüchsigen *P. tremula* mit ungewöhnlich großen Blättern („Gigas-Form“) in Schweden (Nilsson-Ehle 1936), die von Müntzing (1936) als Pflanze mit dreifachem Chromosomensatz beschrieben wurde, wuchs das Interesse an triploiden Bäumen. Weitere triploide Aspen wurden in verschiedenen Regionen Schwedens (Johnsson 1940) und in Russland (Mackevic 1959) gefunden, und auch in Nordamerika begann man, finanziert durch die Papierindustrie, nach triploiden Aspen zu suchen. Die ersten triploiden *P. tremuloides* wurden in Minnesota (van Buijtenen et al. 1957, Einspahr et al. 1963) und später in Utah (Every und Wiens 1971) entdeckt.

In der Natur aufgefundene, spontan entstandene triploide Pflanzen zeigen neben einem besseren Wachstum oft veränderte Holzeigenschaften wie längere Fasern, eine höhere Holzdichte und einen geringeren Ligninanteil, was vor allem für die Papier- und Zellstoffindustrie wichtig ist. Polyploide Pflanzen werden deshalb generell in Zusammenhang mit einer höheren Anpassungsfähigkeit an extreme klimatische Bedingungen gebracht (de Wet 1980), was besonders angesichts der zunehmenden Klimaerwärmung ein positiver Aspekt für die Züchtung von Forstpflanzen ist. Auch das Resistenzverhalten kann zum Beispiel durch morphologische Veränderungen wie stärkere Blattstrukturen verbessert sein. Die Fertilität triploider Pflanzen ist meist gestört, so dass keine oder nur infertile Blüten gebildet werden.

Unter natürlichen Bedingungen können triploide Pflanzen entstehen, wenn die Gametenbildung (Reifeteilung - Meiose) durch äußere Einflüsse wie zum Beispiel Temperaturextrema gestört wird, so dass anstelle der normalen haploiden Gameten diploide (unreduzierte) Eizellen oder Pollen entstehen. Je nach beeinflusster Teilungsphase entstehen diploide FDR-Gameten (First Division Restitution) oder SDR-Gameten (Second Division Restitution). Je nach Anzahl und Lokalisation der Chiasmata beim Crossing over kann bei FDR-Gameten eine deutlich höhere Heterozygotie als bei SDR-Gameten entstehen. Bei der Befruchtung mit diploiden Gameten kommt es neben dem Gen-Dosis-Effekt zur zusätzlichen Erhöhung der Heterozygotie in den triploiden Nachkommen (de Wet 1980).

Bald nach der Entdeckung der ersten triploiden Aspen und ihrer Leistungsfähigkeit begann die Suche nach Methoden zur künstlichen Erzeugung triploider Bäume.

Die gängigste Methode zur Züchtung triploider Pflanzen ist die Verwendung von spontan entstandenem oder induziertem diploiden Pollen. Natürlich entstandener 2n Pollen wurde in verschiedenen Aspen und Pappeln wie *P. tremula*, *P. × canescens*, *P. tomentosa* und *P. nigra* nachgewiesen (Müntzing 1936, Seitz 1954, Zhang und Kang 2010, Bradshaw und Stettler 1993). Weil die Entstehungsrate diploider Pollen nur sehr gering ist (unter 5%, Xi et al. 2011) wurde nach Methoden zur künstlichen Induzierung von 2n Pollen gesucht. Johnsson und Eklundh (1940) erzeugten triploide Bäume durch Bestäubung von weiblichen Blüten mit colchizin-induziertem 2n-Pollen von *P. tremula* und *P. tremuloides*. Mashkina et al. (1989) untersuchten die Bildung diploider Pollen verschiedener Pappeln und Aspen durch Thermobehandlung. Berichte über die Erzeugung triploider Bäume durch Induzierung diploider Eizellen sind selten, weil es sehr schwierig ist, die verschiedenen Stadien der Makrosporenbildung zu erkennen und zu differenzieren (Wang et al. 2010). Li et al. (2008) konnten durch Colchizinbehandlung der Eizellen triploide Nachkommen in *P. alba* × *P. glandulosa* erzeugen. Eine Methode zur Induzierung diploider weiblicher Gameten durch Temperatur- bzw. Colchizinbehandlung während der Embryosackentwicklung wurde für *P. pseudosimonii* × *P. nigra* beschrieben (Wang et al. 2012).

Eine andere Möglichkeit zur Herstellung triploider Bäume ist die Kreuzung zwischen tetraploiden und diploiden Elternbäumen, wobei das spontane Vorkommen tetraploider Bäume sehr selten ist. So wurde zum Beispiel aus der Kreuzung einer tetraploiden *P. tremula* mit Pollen einer diploiden kanadischen *P. tremuloides* der triploide Klon „Astria“ selektiert, der noch heute angebaut wird (Baumeister 1980). Durch Kreuzung selektierter diploider weiblicher *P. tremuloides* Klone mit einer einzigen tetraploiden *P. tremula* schwedischen Ursprungs wurden 1958 erstmals triploide Hybrid-aspen in größerem Umfang erzeugt, die neben einer etwa doppelten Wachstumsrate eine höhere Holzdichte und längere Fasern aufwiesen (Einspahr 1984). Eine gezielte Erzeugung tetraploider Elternpflanzen ist durch Anwendung des Alkaloids Colchizin möglich, das durch Hemmung der Mitose zur Verdopplung der Chromosomen in der Zelle führt. Auf diese Weise wurden in den letzten Jahren einzelne tetraploide Bäume der Sektionen *Populus* (Ewald et al. 2009) und *Tacamahaca* (Cai und Kang 2011, Wang et al. 2013) erzeugt, die jedoch noch nicht blühen.

Ziel dieses Teilprojektes war die Etablierung und Anwendung von effektiven Methoden zur Erzeugung und Selektion von leistungsstarken triploiden Aspen, Aspenhybriden und Pappelklonen. Durch Größenfraktionierung mit Mikrosieben wurde diploider Pollen angereichert und für gelenkte

Kreuzungen bzw. *in vitro*-Bestäubungen verwendet. Zusätzlich gelang in einigen Fällen die Induzierung diploider Pollen bzw. diploider weiblicher Gameten durch Thermobehandlung. Intersektionelle Kreuzungen wurden einbezogen, um besondere Eigenschaften wie Trockentoleranz oder die Fähigkeit zur Stecklingsbewurzelung zu verbessern. Die Selektion triploider Klone mit erhöhter Wuchsleistung wurde in Freiland-Containerversuchen und unter Baumschulbedingungen durchgeführt. Zur Einschätzung der Leistung der erzeugten triploiden Klone im Kurz- bzw. mittelfristigen Umtrieb sind weiterführende Untersuchungen auf unterschiedlichen Versuchsflächen erforderlich.

Die Genotypisierung aller Kreuzungseltern und aller triploiden Nachkommen mit nuklearen Mikrosatellitenmarkern wurde routinemäßig durchgeführt. Damit können Informationen gewonnen werden, ob der weibliche oder männliche Kreuzungselter einen doppelten Beitrag zum triploiden Nachkommen geleistet hat, und welcher zelluläre Mechanismus (FDR oder SDR) jeweils stattgefunden hat. Diese Erkenntnisse sollen dazu beitragen, die verschiedenen Methoden zur Erzeugung von triploiden Pflanzen in ihrer Effektivität besser zu beurteilen.

Erzeugung triploider Aspen und Pappeln

Verwendung diploider Pollen

Anreicherung von natürlich entstandenem diploiden Pollen

Diploider Pollen, der zum Beispiel ausgelöst durch Temperaturschwankungen in der Winterperiode spontan entsteht, kann durch Fraktionierung mit Mikrosieben angereichert werden. Basierend auf der Annahme, dass diploide Pollenkörner durch eine gestörte Meiose entstehen (Bildung von nur 2 anstelle der normalen 4 Zellen), haben diploide runde Pollenzellen das doppelte Volumen und dementsprechend nach mathematischer Berechnung den 1,26-fachen Durchmesser im Vergleich zu haploiden Pollenkörnern. Für die für die Kreuzungen verwendeten männlichen Aspen- und Pappelklone wurden die mittleren Durchmesser der nativen Pollenkörner mikroskopisch ermittelt und liegen bei einer hohen Klonspezifität im Bereich von 28,8 bis 34,5 µm. Nach Messung und Berechnung der Größe der haploiden Pollenkörner kann durch Multiplikation mit dem Faktor 1,26 der Bereich ermittelt werden, in dem sich theoretisch der spontan gebildete diploide Pollen befindet. Zur Anreicherung der diploiden Pollen wurden für kleinere Pollen (unter 38 µm für den errechneten Durchmesser der 2n Pollen) Fraktionen von 32-45 µm bzw. 32-38 µm und für größere Pollen Fraktionen von 36-45 µm bzw. 40-45 µm herausgesiebt (Ulrich und Ewald 2014). Abbildung 1 zeigt die Größenverteilung der Pollen in einer nativen Pollenprobe des amerikanischen *P. tremuloides*-Klons T-46-60. Aus dem mittleren Durchmesser des haploiden Pollens (ca. 34 µm) kann der Bereich errechnet werden, in dem die 2n Pollen zu erwarten sind (42-43 µm) und durch Separierung der Fraktion 40-45 µm ist eine Anreicherung der diploiden Pollenkörner möglich.

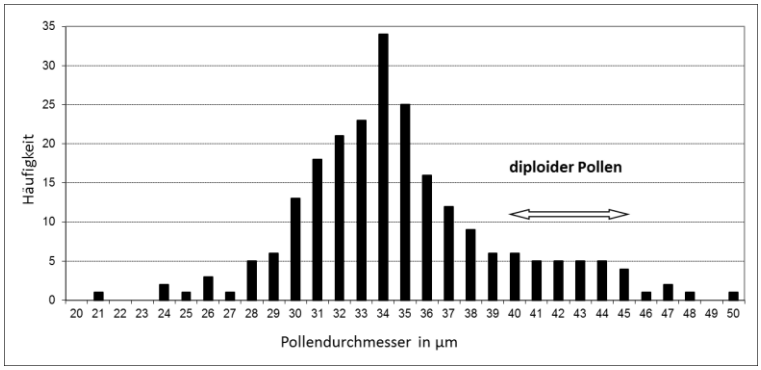


Abb. 1: Messung der Größenverteilung der Pollenkörner des *P. tremuloides* Klons T-46-60 zur Vorbereitung der Siebfraktionierung zur Gewinnung spontan entstandenen diploiden Pollens

Thermobehandlung zur Erhöhung des Anteils diploider Pollen

Bei einigen männlichen Aspenklonen wurde eine Thermobehandlung durchgeführt, um die Bildung von unreduziertem diploiden Pollen zu erhöhen. Dazu wurden nach einer Methode von Mashkina et al. (1989) Zweige mit männlichen Blüten im frühen Stadium der Meiose drei Stunden bei 38°C im Wärmeschrank inkubiert. Zur Erkennung der optimalen Behandlungszeit (Prophase I der Meiose) wurden Antheren nach Karminessigsäurefärbung mikroskopisch auf das Stadium der Pollenmutterzellen untersucht (Kang et al. 2000, Ulrich und Ewald 2014).

Ein Vergleich der Größenverteilung (Pollendurchmesser) der thermobehandelten Probe des *P. tremula*-Klons L9 mit dem entsprechenden nativen Pollen ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Menge der diploiden Pollen wurde durch die Behandlung deutlich erhöht und die Werte (Maxima) für die haploiden und diploiden Pollen stimmen mit dem berechneten Verhältnis von 1:1,26 (n:2n) überein. Durch Separation der Fraktion 36-45 µm mit Hilfe von Mikrosieben wurden die thermoinduzierten diploiden Pollen angereichert.

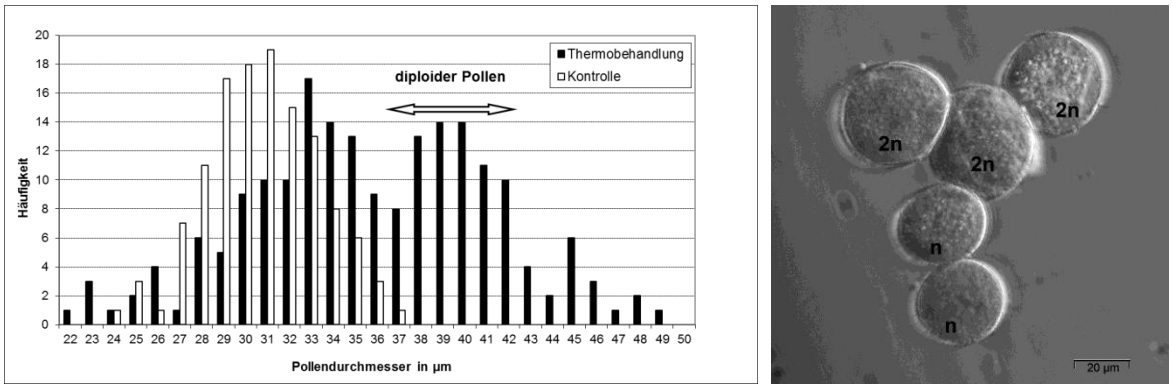


Abb. 2: Veränderung der Größenverteilung der Pollenkörner des *P. tremula* Klons L9 nach Thermobehandlung (3h, 38°C) im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (links), Pollenkörner des *P. tremula* Klons L9 nach Thermobehandlung (3h, 38°C) zu Beginn der Meiose. „2n“ - diploider, unreduzierter Pollen, „n“ - normaler haploider Pollen (Karminessigsäure-Färbung) (rechts)

Die Thermobehandlung war nur bei zwei männlichen Klonen (*P. tremula* L9 und *P. tremula* × *P. tremuloides* L2) erfolgreich. Bei allen anderen getesten Klonen konnten nur sehr geringe bzw. keine 2n Pollen angereichert werden. Die Schwierigkeit der Methode liegt darin, dass viele verschiedene Faktoren die Induzierung der Bildung diploider Pollen und die anschließende Pollenfreisetzung beeinflussen wie zum Beispiel der Entwicklungsstatus der männlichen Blüten, der von den vorangegangenen Witterungsbedingungen abhängig ist, Zeit und Dauer der Behandlung und die Temperatur, die zur Induktion verwendet wird (Mashkina et al. 1989, Kang et al. 1999).

Lagerung des Pollens und Durchführung der Kreuzungen

Der gesiebte (angereicherte) diploide Pollen wurde entweder unmittelbar zur Bestäubung verwendet oder unter Vakuum in Ampullen eingeschweißt und bei -20°C gelagert.

Die konventionellen Kreuzungen erfolgten in geschlossenen Kabinen im Gewächshaus. In einigen Fällen, zum Beispiel bei frühzeitigem Absterben der Samenkapseln bzw. bei unzureichender Ausreifung der Samen wurden durch Embryo-Rescue frühe Stadien zygotischer Embryonen *in vitro* zur Entwicklung, Reifung und Keimung gebracht.

Bei einigen Kreuzungen kam die Technik der *in vitro*-Bestäubungen zum Einsatz (Ewald und Ulrich 2012). Diese Methode ist zwar sehr aufwendig, kann aber z.B. bei Kombinationen mit inkompatiblen Partnern, die ein Embryo-Rescue erforderlich machen, oder auch bei limitierten Pollenmengen von

Nutzen sein. Weibliche Aspen- bzw. Pappelblüten wurden im „fängischen“ Stadium im Gewächshaus entnommen und unter dem Stereomikroskop in der sterilen Werkbank präpariert. Die Fruchtknoten wurden abgetrennt und mit der Narbe nach oben auf ein Nährmedium aufgesetzt. Unter dem Mikroskop und unter semi-sterilen Bedingungen wurden Pollenkörner nach Größe selektiert und mit einer speziell präparierten Borste auf die Narben übertragen. Nach etwa 14 Tagen konnten die reifen Samen mit einem Mikroskalpell entnommen und zur Anzucht auf ein Regenerationsmedium überführt werden. Nach Umsetzen der Pflänzchen auf Vermiculit erfolgte die Selektion der triploiden Nachkommen durch flowcytometrische Messung.

Induktion diploider Embryosackzellen (Thermobehandlung nach Bestäubung)

In Anlehnung an eine Methode von Wang et al. (2012) wurde im Frühjahr 2013 erstmals versucht, triploide Nachkommen durch die Induktion diploider Embryosackzellen durch Thermobehandlung nach der Bestäubung zu erzeugen (Postmeiotic restitution, PMR).

Als Mutter wurde der Graupappelklon *P.* × *canescens* L447 verwendet. Die Bestäubung wurde mit Pollen des *P. tremula* Klons L2 bzw. der chinesischen Silberpappel *P. tomentosa* C5088 (*P. alba* × *P. adenopoda*) vorgenommen. Die Thermobehandlung erfolgte 67 Stunden nach der Bestäubung für 6 Stunden bei 38°C. Zu beiden Kreuzungen wurde eine Kontrollvariante ohne Thermobehandlung durchgeführt. Die Samen wurden unter Vakuum eingefroren und im Frühjahr 2014 auf Vermiculit ausgesät. Danach wurden die Pflanzen in 104er Paletten pikiert und nach ca. 6 Wochen mit dem Flowcytometer auf ihre Ploidie getestet. Aus 150 gemessenen Pflanzen der ersten Kreuzung L447 × L2 konnten drei triploide und aus den 39 Pflanzen der Kreuzung L447 × *P. tomentosa* C5088 eine triploide Pflanze selektiert werden. In beiden Kontrollvarianten wurden keine Triploiden gefunden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Thermobehandlung nach Bestäubung eine geeignete Methode zur Erzeugung triploider Pflanzen ist. Auf 50 Pflanzen konnte durchschnittlich eine triploide selektiert werden.

Die selektierten Pflanzen werden verklont, *in vitro* vermehrt und im nächsten Jahr im Containerversuch auf ihre Wachstumseigenschaften getestet.

Abb. 3: Triploide Pflanzen der Kreuzung *P.* × *canescens* L447 × L2 (*P. tremula* × *P. tremuloides*), die durch Thermobehandlung während der Embryosackentwicklung erzeugt wurden. Eine Pflanze (links) zeigte ein besonders starkes Wachstum und extrem große Blätter (möglicherweise „Gigas“-Merkmale)

Im Frühjahr 2014 wurden sieben weitere Kreuzungen durchgeführt, bei denen eine Induzierung diploider Embryosackzellen während der Megagametophytenentwicklung vorgenommen wurde. Als Mütter kamen verschiedene *P. tremula* bzw. *P. tremula* × *P. tremuloides* Klone zum Einsatz, die Bestäubung erfolgte mit Pollen unterschiedlicher *P. tremula*-, *P. tremuloides*-, *P. alba*- bzw. *P.* × *canescens* Klone. Die gewonnenen Samen wurden unter Vakuum eingefroren und werden im Frühjahr 2015 zur Selektion triploider Nachkommen ausgesät.

Charakterisierung der erzeugten triploiden Klone

Insgesamt wurden bisher 45 triploide Klone erzeugt (Tabelle 1): 26 durch konventionelle Kreuzungen und fünf durch *in vitro*-Bestäubung mit angereicherten diploiden Pollen, 4 durch Thermobehandlung während der Embryosackentwicklung und 10 durch Größenselektion von Einzelpflanzen aus konventionellen Kreuzungen.

Tabelle 1: Übersicht über die bisher erzeugten triploiden Klone

Kreuzungskombination	Klone [n]	Art der Erzeugung
L40 × L311 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × *P. tremula*	2	*In vitro*-Bestäubung mit angereicherten diploiden Pollen
L40 × L2 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × (*P. tremula* × *P. tremuloides*) *	1	
L40 × L443 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × (*P.* × *canescens*)	1	
ARB4M × ARB2M (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × (*P. tremula* × *P. tremuloides*)	1	
L40 × L311 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × *P. tremula*	3	Gelenkte Kreuzungen mit angereicherten diploiden Pollen
L40 × ARB2M (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × (*P. tremula* × *P. tremuloides*)	2	
L40 × L448 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × *P. tremula*	1	
L40 × L317 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × *P. tremula*	1	
S39 × Androscoggin *P. deltoides* × (*P. maximowiczii* × *P. trichocarpa*)	4	
S39 × Sim1 *P. deltoides* × *P. simonii*	9	
P. alba × L311 (*P. alba* × *P. tremula*)	3	
P. alba × L2 (*P. alba*) × (*P. tremula* × *P. tremuloides*)	2	
L 40 × L 317 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × *P. tremula*	1	
L447 × C5088 (*P.* × *canescens*) × *P. tomentosa*	1	Thermobehandlung während der Embryosackentwicklung + angereicherter diploider Pollen
L447 × L2 (*P.* × *canescens*) × (*P. tremula* × *P. tremuloides*)	3	
L40 × ARB3M (P. *tremula* × *P. tremuloides*) × (*P. tremula* × *P. tremuloides*)	2	Selektion aus konventionellen Kreuzungen
L40 × L448 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × *P. tremula*	2	
KP1 × L334 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × (*P. tremula* × *P. tremuloides*)	2	
Uhyst27 × L311 *P. tremula* × *P. tremula*	1	
L455 × ARB2M *P.* × *canescens* × (*P. tremula* × *P. tremuloides*)	1	
L40 × L311 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × *P. tremula*	1	
L 40 × S13 (*P. tremula* × *P. tremuloides*) × *P. deltoides*	1	

***** Durchführung einer zusätzlichen Thermobehandlung zur Induzierung diploider Pollen

Untersuchung des Wachstumspotenzials ausgewählter triploider Klone

Von den bisher insgesamt 45 erzeugten triploiden Klonen wurden ausgewählte Klone - einige davon schon über mehrere Jahre - im Freiland-Containertest (12-er Quickpot-Paletten) getestet. Von jeweils 20-36 Einzelpflanzen pro Klon wurden nach einer Wachstumsperiode von 6 Monaten die Sprosslänge und der Wurzelhalsdurchmesser (WHD) gemessen (Abb. 3). Die besten Ergebnisse im Containertest 2012 zeigten der durch *in vitro*-Bestäubung erzeugte Klon L40 × L311/1 und die aus einer konventionellen Kreuzung mit angereicherten diploiden Pollen hervorgegangenen Klone L40 × L311/3 und 38. Alle drei Klone waren hinsichtlich der Sprosslängen vergleichbar mit dem triploiden Vergleichsklon Astria (*P. tremula*), zeigten aber signifikant höhere WHD. Die Werte für die WHD sind vergleichbar mit denen der stark wüchsigen triploiden *P.* × *canescens*-Klone Buchhorst 1 und 2, die auf alten Versuchsflächen gefunden und *in vitro* vermehrt worden waren. Die triploiden Klone 314 und 152, die durch konventionelle Bestäubung von *P. deltoides* mit angereichertem diploiden Pollen des Klons Androscoggin (*P. maximowiczii* × *P. trichocarpa*) erzeugt wurden, wiesen nur ein sehr geringes Wachstum auf, zeichnen sich jedoch durch ein langes Wuchsintervall und ein hohe Rostresistenz aus.

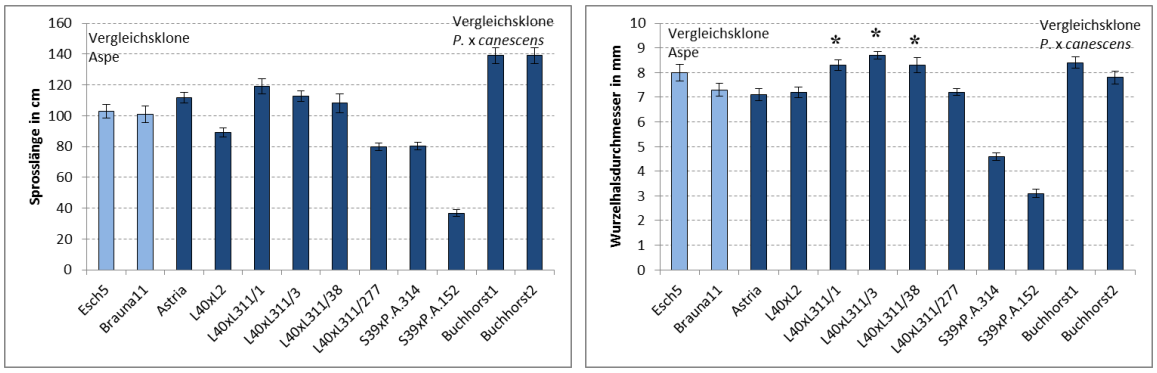


Abb. 3: Wuchsleistung (Sprosslänge und WHD) ausgewählter triploider Klone im Containerversuch 2012. Als Vergleichskone wurden die diploiden Aspenklone Esch 5 und Brauna 11 und der triploide Klon Astria verwendet. Die Sternchen (*) kennzeichnen statistisch signifikant höhere Werte im Vergleich zum triploiden Klon Astria (Dunn`s Test, p<0,05). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler der Mittelwerte an. Dunkelblau: triploid, hellblau: diploid

Abbildung 4 zeigt die Wachstumsleistung von neun triploiden Klonen aus dem Containertest 2014. Acht Klone stammen aus gelenkten Kreuzungen mit angereicherten diploiden Pollen (L40 × ARB2M/27 bzw. L455 × ARB2M/1) oder wurden durch Selektion von Einzelpflanzen aus konventionellen Kreuzungen (Volker Schneck) erzeugt (KP1 × L334 Nr. 1 und 21, L40 × ARB3M Nr. 4 und 5, Graupa II/9 und L40 × L448/12). Hinsichtlich der Sprosslänge und des WHD liegen alle diese Klone deutlich, zum Teil signifikant über den Werten des triploiden Klons Astria. Der triploide Klon S39 × *P. simonii*, der durch intersektionelle Kreuzung von *P. deltoides* S39 (Sekt. *Aigeiros*) und eines chinesischen *P. simonii*-Klons entstanden ist, zeigte besonders bezüglich der Sprosslänge sehr geringe Werte.

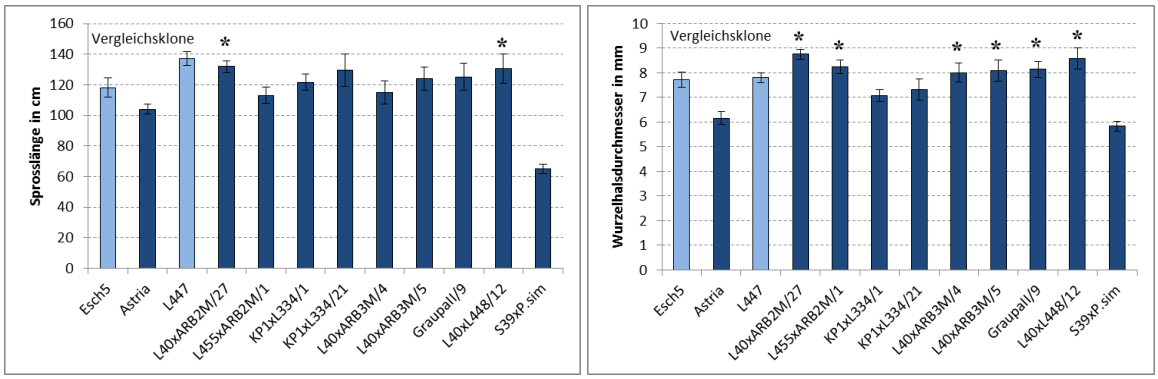


Abb. 4: Wuchsleistung ausgewählter triploider Klone im Containerversuch 2014. Als Vergleichskone wurden die Aspenklone Esch 5 und Astria und der *P.* × *canescens*-Klon L447 verwendet. Die Sternchen (*) kennzeichnen statistisch signifikant höhere Werte im Vergleich zum triploiden Klon Astria (Dunn`s Test, p<0,05). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler der Mittelwerte an. Dunkelblau: triploid, hellblau: diploid

Ein erster Freilandtest, der im Frühjahr 2013 in der Baumschule angelegt wurde, konnte die Ergebnisse der Containerversuche bestätigen. Die aus der konventionellen Kreuzung L40 × L311 mit diploiden Pollen hervorgegangenen triploiden Klone L40 × L311/3, 38 und 277 zeigten in der Klonprüfung von insgesamt 35 Klonen hinsichtlich der Sprosshöhe (Abb. 5) und des WHD (nicht gezeigt) das beste Wachstum und waren vergleichbar mit den gut wüchsigen triploiden *P.* × *canescens*-Klonen Buchhorst 1 und 2. Auch der durch *in vitro*-Bestäubung erzeugte triploide Klon L40 × L311 Nr.1 brachte gute Ergebnisse.

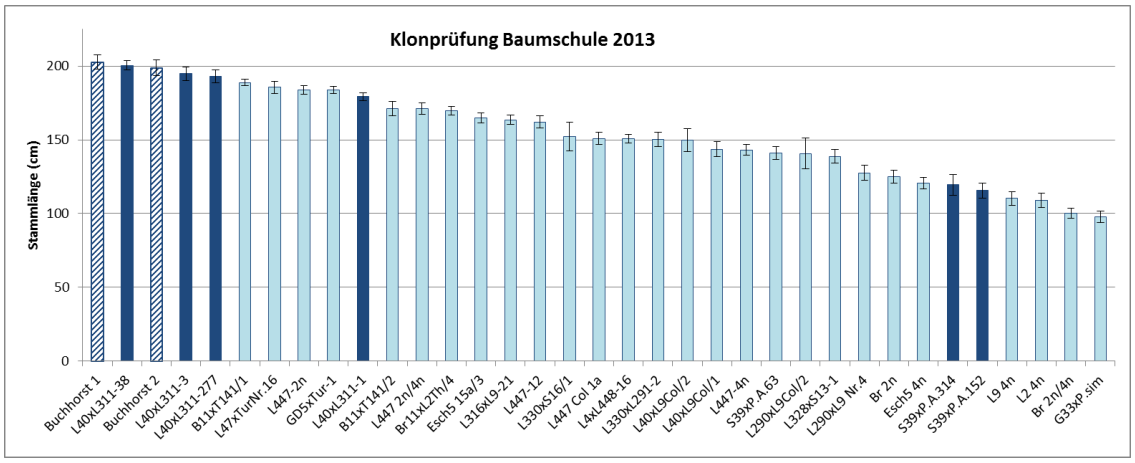


Abb. 5: Wuchsleistung ausgewählter triploider Klone (Alter: 3 Jahre) im Baumschultest 2013 (Klonprüfung). Die Fehlerbalken geben den Standardfehler der Mittelwerte an.

Untersuchung der Bewurzelungsfähigkeit triploider Pappelklone

Aus einer im Frühjahr 2011 durchgeführten intersektionellen Kreuzung zwischen *P. deltoides* S39 × *P. simonii* (Sekt. *Aigeiros* × *Tacamahaca*) mit angereichertem diploiden Pollen wurden 9 triploide Nachkommen selektiert. Die Überführung in die *in vitro* Vermehrung war sehr schwierig und nur bei zwei Klonen gelang die Anzucht von Pflanzen. Als Alternative zur *in vitro* Kultivierung soll in diesem Jahr die Stecklingsbewurzelbarkeit getestet werden. Dazu wurden von den 5 größten Pflanzen jeweils 12 Stecklinge geschnitten und ein Bewurzelungstest in 12-er Quickpot-Paletten angesetzt (Abb. 6). Wie bei einer Kombination mit der stark wurzelnden *P. simonii* zu erwarten, bewurzelten sich alle Stecklinge zu einhundert Prozent und trieben auch aus.

Abb. 6: Triploide Pflanzen aus der intersektionellen Kreuzung *P. deltoides* S39 × *P. simonii* (*Aigeiros* × *Tacamahaca*), links: Ausgangspflanzen, rechts: Untersuchung des Bewurzelungspotenzials im Stecklingsversuch

Genetische Charakterisierung der triploiden Klone

Bisher wurden 41 triploide Nachkommen genetisch charakterisiert. Aus den jeweils bekannten Genotypen der beiden Kreuzungseltern und der allelischen Konfiguration der Nachkommen (Abb. 7) kann zweifelsfrei festgestellt werden, ob der weibliche oder männliche Elter einen diploiden Beitrag geleistet hat. Zusätzlich kann anhand der Genotypen an bestimmten Markern, die in der Nähe des Zentromers der jeweiligen Chromosomen lokalisiert sind, bestimmt werden, ob ein FDR- oder SDR-Prozess stattgefunden hat (Tabelle 2). Ausführliche Erklärungen zum genetischen und methodischen

Hintergrund sowie zur Berechnung des Heterozygotiegrades wurden kürzlich veröffentlicht (Liesebach et al. 2014). Bei einer Thermobehandlung nach der Bestäubung und einem weiblichen doppelten Beitrag wird eine PMR angenommen.

Bei gemeinsamer Betrachtung der genetisch bestimmten männlichen bzw. weiblichen diploiden Beiträge und der jeweils eingesetzten Behandlung zur Erzeugung der triploiden Pflanzen musste festgestellt werden, dass trotz Bestäubung mit angereichertem diploidem Pollen in 6 Fällen ein weiblicher diploider Beitrag vorhanden war. Alle 6 stammen aus Kreuzungskombinationen mit dem Hybridaspen-Klon L40 als Mutter. Unter den bisher untersuchten aufgrund der Wuchshöhe selektierten triploiden Pflanzen (7 x weiblich diploid, 1 x männlich diploid) befinden sich ebenfalls 5, die von Klon L40 stammen. Dieser Klon besitzt offensichtlich die Fähigkeit, spontan einen erhöhten Anteil diploider Eizellen über den SDR-Mechanismus zu produzieren, was sich bisher in mehreren Blühperoiden gezeigt hat.

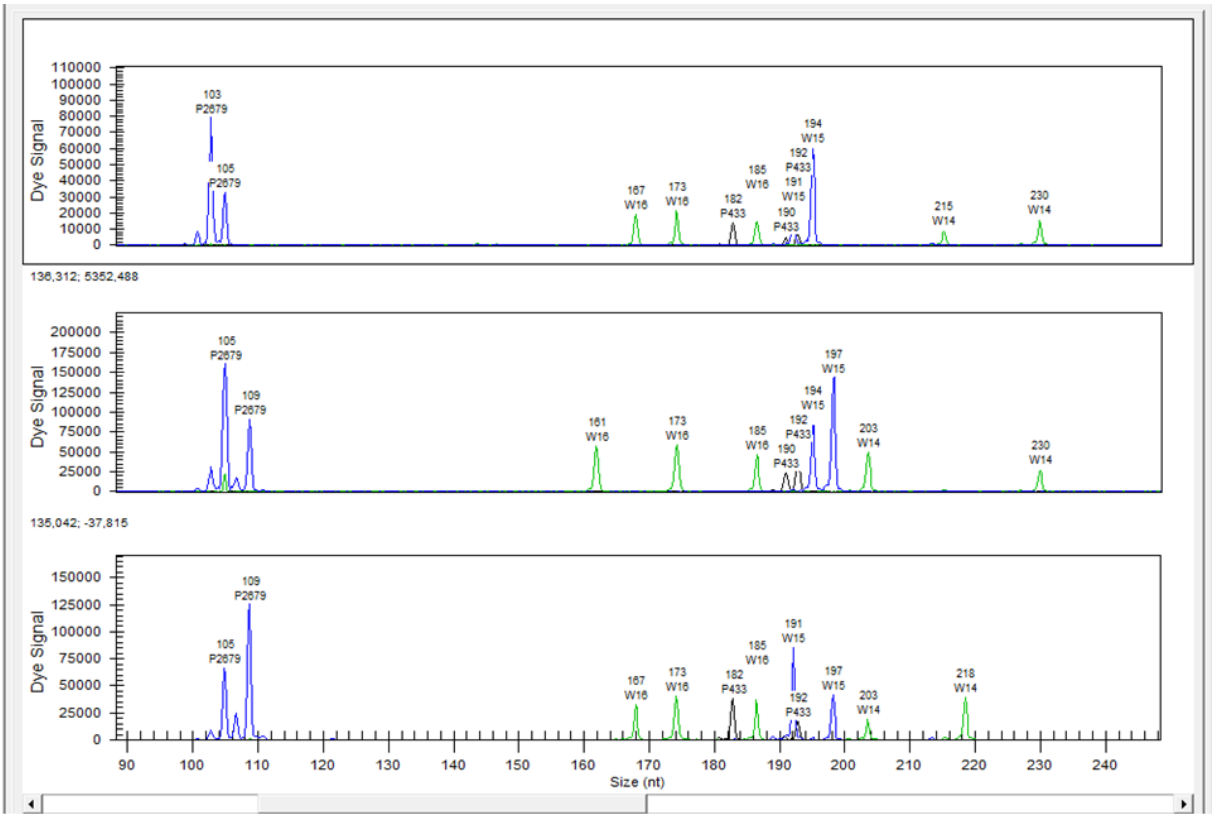


Abb. 7: Typische Genotypenmuster triploider Pflanzen (Beispiel: 3 Nachkommen der Kreuzung L447 × L2) mit teilweise 3 Allelen je Marker (WPMS16) oder einem ausgeprägten Dosis-Effekt (PMGC2679, WPMS15 und WPMS14)

Tabelle 2: Ergebnis der Genotypisierungen: Männlicher bzw. weiblicher diploider Beitrag und FDR-, SDR- bzw. PMR-Prozesse von 41 untersuchten triploiden Nachkommen

Sektion	Diploider Beitrag	Mechanismus	Anzahl
Tacamahaca	Männlich	FDR	8
	Männlich	SDR	5
Populus	Weiblich	FDR	1
	Weiblich	SDR	12
	Weiblich	PMR	6
	Männlich	FDR	2
	Männlich	SDR	7

Erzeugung tetraploider Bäume als Kreuzungspartner für die Züchtung triploider Klone

Auf lange Sicht ist die Kreuzung tetraploider und diploider Eltern die einfachste und direkteste Methode zur Erzeugung triploider Nachkommen. Voraussetzung dafür ist jedoch das Vorhandensein blühfähiger tetraploider Kreuzungspartner. Ziel eines im Februar 2014 beendeten Projektes (FNR „Tetraploide“ FKZ: 22013409) war die Erzeugung stabiler tetraploider Linien aus geprüften Aspen- und Pappelklonen. Als Ausgangsmaterial wurden Klone gewählt, die in vorangegangenen Kreuzungen hervorragende Leistungen erbracht haben, wie zum Beispiel Brauna 11 (*P. tremula*) und Turesson 141 (*P. tremuloides*), die als Elternklone zur Züchtung der Hybridaspe „Holsatia“ verwendet wurden, oder die weiblichen *P. tremula* Klone Großdubrau 1 und 5, die sich in verschiedenen anderen Kreuzungen bewährt haben. Durch Kombination der Polyploidisierung mit der Technik der *in vitro* Kultivierung war es möglich, unabhängig von der Vegetationsperiode gezielt tetraploide Pflanzen herzustellen und zu selektieren. Präparierte Sprossmeristeme wurden mit Mitosehemmern (Colchizin, Oryzalin) behandelt, was zu einer Verdopplung des Chromosomensatzes führt. Aus den behandelten Explantaten wurden Sprosse regeneriert und durch flowcytometrische Messung auf den Grad ihrer Ploidie getestet. Nach mehrfacher Subkultivierung wurden genetische stabile tetraploide Linien selektiert und *in vitro* vermehrt.

Insgesamt konnten tetraploide Linien von 10 Aspenklonen, einem Graupappelklon und einem Pappelklon erzeugt werden (Tabelle 3). Die tetraploiden Linien und die entsprechenden diploiden Ausgangsklone werden als *in vitro* Kulturen und Containerpflanzen erhalten und in das Projekt FastWood III übernommen. Nach Erreichen der Blühfähigkeit sollen diese Linien über die Erzeugung diploider männlicher und weiblicher Gameten zur Züchtung leistungsfähiger triploider Aspen und Pappeln verwendet werden. Um die Zeit bis zur Blüte zu verkürzen, werden verschiedene Methoden zur Blühstimulierung wie z.B. Reduktion des Wurzelsystems, Ringelung, Herabbiegen der Krone oder Pfropfung auf frühblühende Unterlagen getestet.

Tabelle 3: Tetraploide Linien von Aspen- bzw. Pappelklonen, die durch Behandlung mit Colchizin bzw. Oryzalin erzeugt wurden

Name	Art	Anzahl 4n-Linien
Aspen / Graupappel:		
Esch 5 (♀)	*Populus tremula × P. tremuloides* /Brauna11 × Tur141	2
Brauna 11 (♀)	*P. tremula*	1
1 Großdubrau (♀)	*P. tremula*	1
L314 (Großdubrau Nr. 5) (♀)	*P. tremula*	2
L40 (♀)	*P. tremula × P. tremuloides*	3
Turesson 141 (♂)	*P. tremuloides*	1
L291 (♂)	*P. tremula*	6
L9 (♂)	*P. tremula*	1
L2 (♂)	*P. tremula × P. tremuloides*	3
L317 (♂)	*P. tremula*	2
L447 (♀)	*Populus × canescens* (Hybride aus *P. alba × P. tremula*)	4
Pappeln:		
Androscoggin (♂)	*P. maximowiczii × P. trichocarpa*	3

Einige tetraploide Linien, so zum Beispiel zwei Linien der Graupappel L447 und eine Linie des *P. tremula* Klons L291 weisen ein deutlich besseres Wachstum gegenüber den diploiden Ausgangspflanzen auf, das sich besonders in einem signifikant höheren Stammdurchmesser zeigt. Auffallend war auch eine signifikant höhere Blattstärke, die bei zwei Aspen, einem Pappel- und einem Graupappelklon gemessen wurden. Einige tetraploide Klone zeigten einen deutlich geringeren Befall mit blattfressenden Insekten, was mit hoher Wahrscheinlichkeit auch auf die durch die Polyploidisierung bedingte Veränderung der Blattmorphologie zurückzuführen ist. Tetraploide Linien

mit besonders gutem Wachstum könnten nach weiteren Tests (Resistenzverhalten, Holzeigenschaften usw.) perspektivisch direkt in eine Klonzulassungsprüfung aufgenommen werden.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass die angewendeten Methoden zur kurzfristigen Erzeugung triploider Aspen- und Pappelklone geeignet sind. Die Verwendung von angereichertem diploiden Pollen bei Kreuzungen im Gewächshaus und bei *in vitro*-Bestäubungen erwies sich als sehr effektiv.

Eine gezielte oder zumindest bevorzugte Erzeugung von FDR-Gameten, die einen höheren Heterozygotiegrad in den triploiden Nachkommen zur Folge haben und damit über den reinen Dosiseffekt hinausgehende positive Eigenschaften erwarten lassen, scheint bisher nicht möglich. Die Einzelblüten in den weiblichen und männlichen Kätzchen entwickeln sich nicht synchron, sondern beginnend von der Basis und fortschreitend bis zur Spitze. Bei einer stundenweisen Thermobehandlung der Blütenzweige während der Meiose befindet sich immer ein Teil der Blüten in der Meiose I, während in einem anderen Teil offensichtlich schon die Phase der Meiose II stattfindet.

Auch die Selektion von triploiden Einzelpflanzen aus konventionellen Kreuzungen hat sich als geeignet erwiesen, weil hier gleich eine Selektion nach der Größe erfolgt.

Für die langfristige und hocheffiziente Erzeugung triploider Pappelpflanzen bietet sich die Erzeugung tetraploider Elternpflanzen von ausgewählt guten Kreuzungskombinationen an, da dort, nach Erreichen der Blühfähigkeit, beide Kombinationen (4n × 2n) mit jeweils einem tetraploiden Elternteil durchgeführt werden können. Somit kann die effektivste Kombination gewählt und zugleich können aus den triploiden Nachkommen die besten noch einmal gesondert selektiert und verklont werden.

Bei der Züchtung intersektioneller triploider Hybride soll neben der Wuchsleistung weiterhin das Ziel verfolgt werden, Eigenschaften wie Trockentoleranz, Resistenzen gegenüber bestimmten Schaderregern oder die Fähigkeit zur Stecklingsvermehrung auf die Nachkommen zu übertragen.

Literatur

Baumeister G, 1980: Beispiele der Ploidie-Züchtung. AFZ 26: 340-343.

Blakeslee AF, Avery AG, 1937: Methods inducing doubling of chromosomes in plants, J Hered 28: 393-411.

Bradshaw HD, Stettler RF, 1993: Molecular genetics of growth and development in *Populus*. I. Triploidy in hybrid poplars. Theor Appl Genet 86: 301-307 doi:10.1007/bf00222092

Cai X, Kang XY, 2011: *In vitro* tetraploid induction from leaf explants of *Populus pseudosimonii* Kitag. Plant Cell Rep 30: 1771-1778.

De Wet JMJ, 1980: Origin of polyploids. In: Polyploidy - Biological relevance. Lewis, H.W. (ed.): Plenum Press, New York – London: 3-15.

Einspahr DW, Van Buijtenen JP, Peckham JR, 1963: Natural variation and heritability in triploid aspen. Silvae Genet 12: 51-58.

Einspahr DW, 1984: Production and utilisation of triploid hybrid aspen. Iowa State J Res 58: 401-409.

Every DA, Wiens D, 1971: Triploidy in Utah aspen. Madrono: 138-47.

Ewald D, Ulrich K, Naujoks G, Schröder MB, 2009: Induction of tetraploid poplar and black locust plants using colchicine: chloroplast number as an early marker for selecting polyploids *in vitro*. Plant Cell Tiss Organ Cult 99: 353-357.

Ewald D, Ulrich K, 2012: *In vitro* pollination in poplar of section *Populus*. Plant Cell Tiss Organ Cult 111: 255-258.

Johnsson H, Eklundh C, 1940: Colchicine treatment as a method in breeding hardwood species Svensk Papperstidning 43: 373-377.

Johnsson H, 1940: Cytological studies of diploid and triploid *Populus tremula* and crosses between them. Hereditas 26: 321-352.

Kang XY, Zhu ZT, Lin HB, 1999: Study on the effective treating period for pollen chromosome doubling of *P. tomentosa* × *P. bolleana*. Sci Silvae Sin 35: 21-24.

Kang XY, Zhu ZT, Zhang ZY, 2000: Breeding of triploids by the reciprocal crossing of *Populus alba* × *P. glandulosa* and *P. tomentosa* × *P. bolleana*. J Beijing For Univ 22: 8-11.

Kang XY, Zhu ZT, Zhang ZY, 2000a: Suitable period of high temperature treatment for 2n pollen of *Populus tomentosa* × *P. bolleana*. J Beijing For Univ 22: 1-4.

Li YH, Kang XY, Wang SD, Zhang ZH, Chen HW, 2008: Triploid induction in *Populus alba* × *P. glandulosa* by chromosome doubling of female gametes. Silv Genet 57: 37-40.

Liesebach H, Ulrich K, Ewald D, 2014: FDR and SDR processes in meiosis and diploid gamete formation in poplars (*Populus* L.) detected by centromere-associated microsatellite markers. Tree Genet. Genomes 11, DOI: 10.1007/s11295-014-0801-6.

Mackevic NV, 1959: Dokl. Akad. Nauk SSSR (Proc. Acad. Sci. USSR) 126: 183.

Mashkina OS, Burdaeva IM, Belozerova MM, Vyunova LN, 1989: A method of inducing pollen in woody species. Lesovedenie 1: 19-25.

Müntzing A, 1936: The chromosomes of a giant *Populus tremula*. Hereditas 21: 383-393

Nilsson-Ehle H, 1936: Note regarding the gigas form of *Populus tremula* found in nature. Hereditas 21, 372-82

Seitz FW, 1954: The occurrence of triploids after self-pollination of anomalous androgynous flowers of a grey poplar. Z Forstgenet 3, 1-6

Ulrich K, Ewald D, 2014: Breeding triploid aspen and poplar clones for biomass production. Silv Genet 63: 47-58.

Ulrich K, Naujoks G, Ewald D, 2012: Polyploide Bäume für den Kurzumtrieb. AFZ (15): 17-20.

Van Buijtenen JP, Joranson PN, Einspahr DW, 1957: Naturally occurring triploid quaking aspen in the United States. Proc Soc Am Foresters: 62-64.

Wang J, Kang XY, Li DL, 2012: High temperature-induced triploid production during embryo sac development in *Populus*. Silv Genet 61: 85-93.

Wang J, Kang XY, Li DL, Chen H, Zhang P, 2010: Induction of diploid eggs with colchicine during embryo sac development in *Populus* Silv Genet 59: 40-48.

Wang J, Shi L, Song S, Tian J, Kang X, 2013: Tetraploid production through zygotic chromosome doubling in *Populus*. Silva Fennica Vol. 47 no. 2, article id 932. 12 p (SSN-L 0037-5330 | ISSN 2242-4075 (Online)).

Xi XJ, Jiang XB, Li D, Guo LQ, Zhang JF, Wei ZZ, Li BL, 2011: Induction of 2n pollen by colchicine in *Populus × popularis* and its triploids breeding. Silv Genet 60: 155-160.

Zhang Z, Kang X, 2010: Cytological characteristics of numerically unreduced pollen production in *Populus tomentosa* Carr. Euphytica 173: 151-159.

Zhang ZY, Li FL, Zhu ZT, 1992: Chromosome doubling and triploid breeding of *Populus tomentosa* Carr. and its hybrid. J Beijing For Univ 14 (suppl.): 52-58.

Korrespondierende Autorin:
Dr. Kristina Ulrich
Thünen-Institut für Forstgenetik
Eberswalder Chaussee 3 a
15377 Waldsieversdorf
kristina.ulrich@ti.bund.de

Auswirkungen der Züchtung auf einen optimierten nachwachsenden Rohstoff Holz – Beispiel Pappelzüchtung

Matthias Meyer[1], Alexander Solger[1], Laura Panitz[1], Alwin Janßen[2], Doris Krabel[1]

[1]Technische Universität Dresden, Tharandt
[2]Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Hann. Münden

Zusammenfassung

Die Holzanatomie der Stämme von Pappeln ist einerseits bestimmend für die Werkstoffeigenschaften, z.B. für die Rohdichte des Holzes. Andererseits spiegeln sich physiologische Eigenschaften des Stammholzes, welches den Wasser-Ferntransport von den Wurzeln zur Krone vermittelt, in charakteristischen holzanatomischen Strukturen wider. Je effizienter Wasser durch die Gefäße (als Poren im Holzquerschnitt sichtbar) geleitet wird, desto günstiger für die Versorgung der Belaubung, welche wiederum bei ausreichendem Wasser- und Nährstoffangebot effizient Assimilate für weiteres schnelles Wachstum produzieren kann. Sind die Gefäße jedoch zu groß und die Rohdichte gering, bzw. das Holz sehr leicht, besteht ohne andere Schutzanpassungen die Gefahr, dass die betreffende Pappelsorte bei Dürren viele Gefäße durch Embolien verliert und Dürreschäden erleidet. Dies wäre ein Zeichen für eine zu geringe Trockenheitstoleranz der Bäume, welche aber besonders beim Anbau auf grundwasserfernen oder auf leichten, sandigen Standorten zu mangelnder Ertragsstabilität oder stark erhöhten Ausfallraten führt. Die vorgestellten Untersuchungen befassten sich mit der Frage, ob die durch Züchtung erhöhten Erträge der neu selektierten Pappeln des FastWOOD-Projektes durch größere Gefäße (Poren) erzielt wurden und falls ja, ob daran möglicherweise ein Verlust an Trockenheitstoleranz gekoppelt war.

Dazu wurden Querschnittspräparate des dritten Jahrringes von drei Neuzüchtungen im Prüfanbau der Projektpartner des Verbundes FastWOOD holzanatomisch analysiert und die Ergebnisse mit denen von bereits etablierten Sorten verglichen. Es wurden diejenigen Abschnitte des Jahrringes 2012 erfasst, die jeweils den Monaten Juni und Juli zuzuordnen waren und alle darin enthaltenen Gefäßlumina mittels mikroskopischer Imaging-Verfahren vermessen.

Die mittleren Gefäßlumen-Querschnittsflächen (A_G) der neu gezüchteten Akzessionen waren nicht größer als jene der zum Vergleich herangezogenen Sorten obwohl letztere im Wachstum den neuen nachstanden. Eine Regressionsanalyse zwischen A_G (Regressor) und der Dendromasse (DM) der betreffenden Bäume innerhalb der Klonsorten zeigte, dass es einen deutlichen stochastischen Zusammenhang zwischen diesen Größen gab. Die Regressionsgeraden der untersuchten neuen Sorten wiesen einen steileren Anstieg der auf. Dies bedeutet, dass die untersuchten Neuzüchtungen mit einer relativ zu den Vergleichssorten geringfügigeren Zunahme der A_G in den Monaten Juni und Juli einen höheren Dendromasse-Zugewinn realisieren können. Aus den Ergebnissen kann geschlossen werden, dass mit der besseren Dendromasse-Leistung der bisher untersuchten neuen Sorten keine unerwünschte holzanatomische Veränderung gekoppelt war. Die Erkenntnisse deuten eher auf das Vorliegen einer verbesserten, widerstandfähigeren hydraulischen Architektur des Xylems der Neuzüchtungen hin.

Schlüsselworte: *Populus*, Holzanatomie, Gefäß, hydraulische Architektur, Trockenheitstoleranz

Abstract

Impact of breeding on an optimized renewable wood resource – an example from poplar breeding

The anatomy of poplar wood is determining its material characteristics, e.g. specific gravity of the wood. On the other hand it is an important factor on the physiological functionality of the stem xylem that is conducting the sap flow from the roots to the crown part. The more efficient the sap is transported through the xylem vessels (pores), the more efficient becomes the assimilation within the foliage under conditions of favorable water and nutrient supply. But, in case of too large vessel diameters or, respectively, in case of very light wood, the considered poplar clone could suffer severely from drought because of air embolism and pronounced loss of xylem conductivity. Especially on sites with deep sandy soils far from the ground water table, this lack of drought tolerance can result in yield instability or increased percentages of plant loss. Therefore, the present work was dealing with the question if breeding progress in terms of increased yield potential of newly selected accessions of the FastWOOD project was realized on the basis of increased vessel diameters and if this, in turn, might have resulted in an undesirable reduction of drought tolerance.

To answer that question, wood anatomical investigations were carried out in cross-sections of new-bred accessions of our project partners in the FastWOOD consortium. The vessel anatomy was compared with that of recent cultivars well established in Germany. We investigated the radial sections referring to the months June and July of the tree ring 2012. All vessel lumina were assessed and their lumen area was measured with the help of microscopic computer imaging.

Mean vessel-lumen area (A_G) of the new-bred accessions did not differ from that of the clone cultivars that were investigated for the purpose of comparison. A regression analysis for the relationship of A_G (regressor) and the single-tree woody biomass (or dendro-mass, DM) of the respective trees within a clone revealed a stochastic dependence between these traits. The linear regression functions of the new-bred clones had a steeper slope. This indicates that the new-bred clones are able to realize a higher increase in DM with a relatively small increase of A_G in their tree-ring wood of the months June and July. From that we conclude that no undesirable alteration in wood anatomy was linked with the yield improvement within the group of the investigated clones. The findings provide some first evidence that the new-bred clones benefit from an optimized xylem hydraulic architecture.

Keywords: *Populus*, wood, anatomy, vessel, hydraulic architecture, drought tolerance

Einleitung

Pappelzüchtung und Rohdichte des Pappelholzes

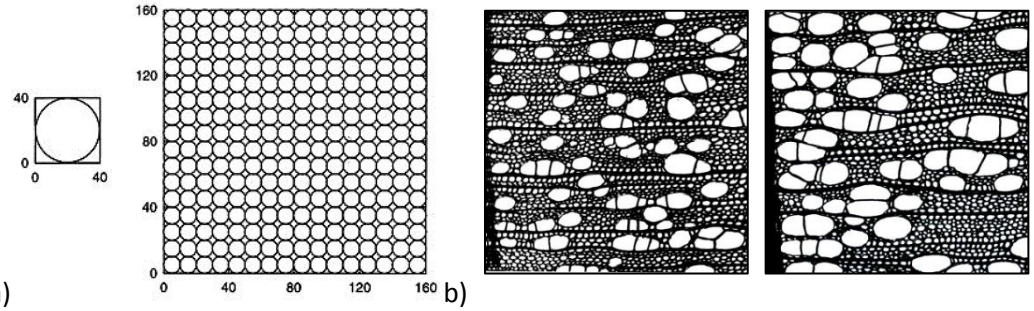
Pappeln (*Populus* spp.) sind noch vor den Weiden (*Salix* spp.) die wichtigsten schnellwachsenden Baumarten in Europa welche hier bereits seit langem züchterisch bearbeitet werden (Fröhlich und Grosscurth 1973, Houtzagers 1941, Jablokov 1963, Mueller und Sauer 1958-1961, von Wettstein 1946). Die Züchtung stützt sich vor allem auf die Selektion von besonders gut den Zuchtzielen entsprechenden Individuen aus natürlichen oder aus Zucht-Kollektiven, z.B. Hybridisierung-Nachkommenschaften, und auf die anschließende Prüfung der selektierten Akzessionen. Bei nachgewiesener Eignung kann ein Genotyp klonal vermehrt und zum Anbau bzw. als Kreuzungs-partner vorgesehen werden. Hauptziel der Pappelzüchtung ist die Ertragsoptimierung hinsichtlich der Ertragshöhe und -sicherheit. Der Ertrag kann einerseits am Dendromasse-Ertrag bemessen werden, d.h. an der in einer bestimmen Umtriebszeit, auf einem bestimmten Standort produzierten oberirdischen Dendromasse (in Tonnen je Hektar und Jahr). Im Falle des Anbaues mit dem Ziel der stofflichen oder kombinierten stofflich-energetischen Nutzung (Stammholzproduktion) interessieren vor allem auch die Entwicklung der Stammdimensionen, d.h. des Brusthöhendurchmessers, der Baumhöhe und der forstlichen Fest- bzw. Raummaße.

Da die Pappeln bedeutende klonspezifische Rohdichte-Unterschiede aufweisen können (Pliura et al. 2007, Semple et al. 2007), muss eine schnelle Entwicklung der Stammdimensionen eines Klons nicht ausschließlich von einer gesteigerten Biomasseproduktion herrühren, sondern kann auch durch eine geringere Rohdichte, bzw. besonders weite Gefäße (Poren) des Holzes begünstigt sein. Die Rohdichte des Holzes wird wiederum entscheidend vom Bau und der Anordnung der leitenden Gefäße (Tracheen) im Xylem bestimmt. Diese Gefäßarchitektur ist jedoch gleichzeitig Grundlage für die hydraulische Architektur des Stammes bzw. die Wasserversorgung der Krone und bestimmt die Angepasstheit des Xylems an Wasserdefizite und trockene Bedingungen wesentlich mit.

Mögliche Nebeneffekte der Pappelzüchtung auf die Trockenheitstoleranz

Gemäß dem Prinzip einer Austauschbeziehung weisen Xyleme mit geringeren Gefäßradien nach TYREE & ZIMMERMANN (2002) zwar geringere Effizienz der Saftstromleitung auf (Gesetz nach Hagen-Poiseuille), sind aber besser geschützt gegen den Verlust der Leitfähigkeit des Xylems bei durch das Eindringen von Embolien und Schäden in Gefäßen. Diese Schäden treten bei besonders negativen atmosphärischen Wasser-Potenzialen (Dürre) und den resultierenden starken Saugspannungen in den Gefäßen ein. Pappelsorten mit sehr weiten, effizient leitenden Gefäßen schaffen mit dieser Gefäßanatomie die hydraulischen Voraussetzungen für ein besonders rasches Wachstum bei optimaler Wasserversorgung. Im Gegensatz dazu bedeutet der Verlust solch großer effizienter Gefäße einen stärkeren Verlust an Leitfähigkeit bei extremen Saugspannungen. Verdeutlicht wird dies in Abb. 2 a).

Theoretisch kann demnach der höhere Ertrag einer neuen Sorte durch eine geringere Trockenheitstoleranz „erkauft“ sein, weil die gesteigerte Leistung durch die genetische Veranlagung zur Bildung sehr weiter Gefäße realisiert worden sein kann. Gleichzeitig könnte zu erwarten sein, dass das betreffende Pappelholz der neuen Akzessionen besonders leicht ist.



a) b)

Abb. 2: a) Skizze von idealisierten Xylemen mit derselben theoretischen Leitfähigkeit (k) mit kreisförmigen Gefäßquerschnitten (Es gilt das Gesetz nach Hagen und Poiseuille; $k \sim r^4$). Quelle: W.A. Côté in Zimmermann M. H. (1983): Xylem Structure and the Ascent of Sap. Springer-Verlag, 143 S. b) Querschnittsfotografien mit gleicher Vergrößerung von zwei gleich alten Bäumen aus demselben Versuchsanbau (Kambiumalter 6, Frühholz des Jahrringes 2003). Links: Aspe (*Populus tremula*, cv. „Graupa III“), rechts: Hybridpappel (*Populus* sp., cv. „Rochester“).

Hinweise für die praktische Relevanz dieser Zusammenhänge können beispielsweise durch den Vergleich der Xyleme bzw. der Trockenheitsreaktionen zwischen Aspen (*Populus* Sektion *Populus*) und Hybrid-Pappeln der Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca* deutlich gemacht werden. Aspen weisen im Mittel eine höhere Holzdichte, einen geringeren Gefäßanteil am Xylem und engere Gefäßlumina auf (Wagenführ 2007). Ein Beispiel zeigt der Vergleich der Frühholzbereiche einer Aspe (*P. tremula* cv. „Graupa III“) mit einer Hybridpappel der Sorte „Rochester“ (*P. maximowiczii* × *P. nigra* var. *plantierensis*) in Abb. 2 b). Parallel zur geringeren A_G haben Aspen in der Regel ein geringeres Ertragsniveau als Hybridpappeln, dagegen aber eine deutlich geringere Reduktion der Jahrringbreite

in Dürrejahren als diese und sind diesbezüglich trockenheitstoleranter (Liesebach et al. 2012, Meyer et al. 2013).

Ziele

Die vorgestellte Untersuchung hat zum Ziel, die mittleren Gefäßlumen-Querschnittsflächen (A_G) von ausgewählten Neuzüchtungen des Projekt-Verbundes FastWOOD im Vergleich zu Standardsorten zu prüfen. Mithilfe dieses Vergleichs soll die Frage beantwortet werden, ob sich Hinweise ergeben, dass der Züchtungsfortschritt mit ungünstigen Auswirkungen auf die hydraulische Architektur des Xylems, d.h. mit einer geringeren Trockenheitstoleranz der Saftstrom leitenden Gewebe verbunden ist. In die Betrachtungen wurden sowohl wüchsige, als auch weniger wüchsige Sorten einbezogen. Es sollten Jahrringabschnitte für die Gefäßanalysen berücksichtigt werden, welche während der Hauptwachstumsphase in den frühen Sommermonaten (Juni, Juli) entstanden.

Darüber hinaus wurde geprüft, ob eine größere mittlere A_G in den betrachteten Jahrringabschnitten mit einer höheren Einzelbaum-Biomasse der Individuen innerhalb der Sorten einhergeht. Dies müsste anhand der Analysen zu bejahen sein, da größere Gefäße eine deutlich effizientere Xylem-Saftstromleitung gewährleisten würden - s.o., Tyree und Zimmermann (2002).

Material und Methoden

Klone und Standortbedingungen

Insgesamt wurden sechs Sorten für die vorliegende Untersuchung ausgewählt, wovon jeweils drei den Neuzüchtungen des koordinierenden Projektpartners im Verbund FastWOOD (NW-FVA, Hann. Münden) bzw. den zu Vergleichszwecken im Prüfanbau (Anlage im Frühjahr 2010) einbezogenen Standardsorten zuzuordnen waren. Als Auswahlkriterien wurde der mittlere Durchmesser der Bäume eines Prüfgliedes auf der Versuchsfläche Thammenhain (Landwirtschaftsbetrieb Uhlemann, Gemeinde Lossatal OT Thammenhain, Landkreis Leipzig, Sachsen) herangezogen. Im Vergleich der sechs in Deutschland verteilt angelegten ehemals zum Anbau einjähriger landwirtschaftlicher Kulturen genutzten FastWOOD-Prüfanbauflächen (Janßen et al. 2012) waren im nordsächsischen Pürrfeld in Thammenhain insgesamt die geringsten Erträge zu verzeichnen, was hauptsächlich auf die vergleichsweise niedrige klimatische Wasserbilanz in Verbindung mit einem eher kontinental getönten Klima, aber auch auf die Bodenbedingen der vorherrschenden Sandlößlandschaft (Thammenhainer Moränen-Hügelgebiet) zurückzuführen ist. Die Ackerzahl der Versuchsfläche liegt bei 42, der mittlere Jahresniederschlag liegt bei 575 mm (Wolf und Bönisch 2003).

Sowohl die drei Prüfglieder der Neuzüchtungen als auch die drei Prüfglieder der Vergleichssorten wurden so gewählt, dass je zwei Prüfglieder zu denjenigen mit den stärksten Stammfußdurchmessern im Alter 3 in der jeweiligen Gruppe der Neuzüchtungen bzw. der Vergleichssorten gehörten. Das jeweilige dritte Prüfglied war dasjenige mit dem schwächsten mittleren Stammfußdurchmesser aller Prüfglieder der Gruppe. Tabelle 1 gibt Aufschluss über die gewählten Prüfglieder.

Tabelle 1: Für die Untersuchungen ausgewählte Akzessionen der Neuzüchtungen (keine Sortennamen vergeben) und Standard-/Vergleichssorten (hier mit Sortennamen). Die Bezeichnungen wurden von der NW-FVA vergeben. Stammfußdurchmesser ($d_{0.1}$) beziehen sich auf Mittelwerte im Prüffeld Thammenhain an einer Stichprobe nach systematischer Auswahl von sechs Individuen aus jeder Akzession (Prüfglied).

Neuzüchtungen		**Standardsorten**		
Akzession Nr.	$\overline{d_{0.1}}$ [cm]	Akzession Nr.	Sortenname	$\overline{d_{0.1}}$ [cm]
7-234 L	4,1	7-728 Z	Hybride 275 (syn. NE 42)	3,6
7-91 R	4,0	7-729 A	Max 1	3,5
7-344 S	2,3	7-843 L	Robusta	2,1

Mikroskopische Holzpräparation und anatomische Messungen

Alle Proben waren im Winter 2012 / 2013 von den Projektpartnern im Rahmen ihrer Prüffeld-Ernten nach einer Umtriebszeit von drei Jahren entnommen worden. Dabei wurden von jedem der 36 Prüfglieder auf jeder Versuchsfläche (Thammenhain, Lehmbach, Wallstave - Janßen et al. 2012) sechs, das Durchmesserspektrum repräsentierende Bäume entnommen, ihre Dimensionen, das Frisch- und Trockensubstanzgewicht bestimmt.

Bei der Ernte wurden Stammfußscheiben entnommen. Die Holzprobenausformung erfolgte durch das Herausspalten eines ca. 1,0 cm breiten Holzriegels aus den Stammfußscheiben in Nord-Süd-Richtung (Meyer et al. 2013). Die Oberflächen der Riegel-Probekörper wurden rechtwinklig zur Faser- bzw. Spaltrichtung fein geschliffen. Die Jahrring- und Rindenbreiten wurden in exakt radialer Nord- und Süd-Richtung mittels Jahrring-Messtisch (LINTAB, Firma RINNTECH, Heidelberg) bestimmt.

Zur Fertigung mikroskopischer Querschnittspräparate wurden von den Riegel-Probekörpern Jahrringproben des letztangelegten Jahrringes 2012 (Südrichtung) abgespalten und mittels eines Schlittenmikrotoms (Fa. Reichert, Wien, Österreich) Querschnitte von einer Dicke zwischen 30 und 70 µm gefertigt. Die Querschnitte wurden entlüftet und ungefärbt in Glycerin auf Objektträgern abgedeckt und fixiert.

Zum mikroskopischen Imaging wurde ein inverses Fluoreszenzmikroskop (Zeiss Axiovert 200M, Kamera: Axiocam MRm, Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Deutschland), mit automatischer XY-Steuerung des Kreuztisches und motorisiertem Z-Stack verwendet (Software: ZEN blue 2012 mit MosaiX-Funktion). Ein 20-fach vergrößerndes Objektiv (Plan-Apochromat 20× 0.8, Zeiss) kam zum Einsatz. Vor der digitalen Analyse der Images (Graubilder) wurden abgebildete störende Schäden an Gefäßwänden manuell korrigiert (Photoshop, Adobe Corporation). Alle Images wurden so besäumt, dass der linke und der rechte Bildrand den Jahrringgrenzen am Jahrringbeginn (Frühholz) bzw. am Jahrringende (Spätholz) entsprachen.

Mit der Software WinCell Pro (V. 2009a, Regent Instruments, Québec, Kanada) wurden alle hell erscheinenden Lumenflächen in den Images erfasst, die Fläche anhand ihrer Quadratpixel-Zahl bestimmt und in µm² umgerechnet. Außerdem wurde die X-Koordinate des Schwerpunktes jeder Lumenfläche aufgezeichnet, welche der Entfernung des Schwerpunktes vom linken Bildrand, d.h. vom Jahrringbeginn entsprach. Um Gefäße von den Lumina der Faser-, Parenchym- oder Tracheidenzellen zu unterschieden wurde ein Schwellwert von 650 µm² Mindest-Lumenfläche angewandt. Die finalen Datensätze wurden im txt-Format abgespeichert, mittels MS Excel (V. 2010, Microsoft Corporation) zusammengeführt und die relative Entfernung der Gefäße vom Jahrring-beginn in Prozent errechnet. Für die weiteren Analysen und Berechnungen wurden nur die Gefäße selektiert, deren Schwerpunkt sich im Jahrringabschnitt zwischen 30 % und 80 % der relativen Entfernung von der Frühholz-Jahrringgrenze befanden. Dieser Abschnitt entspricht nach Erfahrungen mit Dendrometeranalysen an sechsjährigen Pappeln (Ergebnisse nicht gezeigt) denjenigen Jahrringabschnitten, welche in den Monaten Juni und Juli angelegt werden.

Die Daten wurden mittels IMB SPSS Statistics (V. 22, IBM Corporation) statistisch ausgewertet. Für Korrelations- bzw. Regressionsanalysen zwischen der mittleren Gefäßlumen-Querschnittsfläche A_G der o.g. Abschnitte und der Dendromasse des betreffenden Baumes im Alter 3 wurden Dendro-masse-Daten vom koordinierenden Projektpartner NW-FVA bereitgestellt. Für die in Abb. 5 dargestellten Daten wurde zur Prüfung auf signifikante Modelleffekte ein Generalisiertes Lineares Modell konstruiert (SPSS Prozedur: GzLM). Die Likelihood-Ratio Teststatistik wurde zum Testen der Modell-Effekte angewandt.

Ergebnisse

Klonunterschiede

Die mittleren Gefäßlumen-Querschnittsflächen (A_G) in den Juni-Juli-Abschnitten der Jahrringe 2012 der Bäume aller untersuchten Sorten beliefen sich im Mittel auf 2324 µm² ± 583 ($\bar{X} \pm \sigma$). Die beiden Gruppen der untersuchten Neuzüchtungen (mittlere $A_{G\ (Juni\text{-}Juli\ 2012)}$ = 2306 µm² ± 655) und der etablierten Vergleichssorten (2344 µm² ± 520) unterschieden sich nicht signifikant voneinander (p = 0,862, t-Test) im Prüffeld Thammenhain.

Die sortenbezogenen Boxplots (Abb. 4) der mittleren Gefäßlumen-Querschnittsfläche (A_G) der Jahrringabschnitte Juni bis Juli 2012 von Einzelbäumen zeigen, dass sich die Prüfglieder sehr deutlich hinsichtlich ihrer Gefäß-Anatomie unterscheiden. Sowohl bei den beiden wüchsigen Prüfgliedern der Vergleichssorten als auch der Neuzüchtungen gibt es jeweils ein Prüfglied mit großen mittleren A_G-Werten („Max 1“: 2948 µm²; „7-91 R“: 2908 µm²) und je eines mit deutlich kleineren („Hybride 275“: 2189 µm²; „7-234 L“: 2099 µm²). Die beiden Prüfglieder mit der höheren mittleren A_G wiesen jedoch nicht die höheren Dendromasse-Erträge (DM) in Thammenhain auf (Abb. 4, oben rechts) im Vergleich zu denjenigen mit kleineren Gefäßen, sondern waren mit ihnen auf einem vergleichbaren Niveau. Dies zeigte, dass eine höhere mittlere A_G nicht generell unter jeder Konstellation von Standortbedingungen zu besseren Wuchsergebnissen führt, sondern wie am vorliegenden Beispiel in Thammenhain auch weitere Eigenschaften der Angepasstheit der Genotypen eine Rolle gespielt haben müssen. Jedoch waren die Sorten mit den geringsten Stammfußdurchmessern ($d_{0.1}$, Abb. 4 u. l.) bei den Vergleichssorten und bei den Neuzüchtungen in Thammenhain gleichzeitig auch jene, welche die geringsten mittleren A_G aufwiesen („Robusta“: 2018 µm²; „7-344 S“: 1516 µm²). Dies stützte die Annahme, dass generell betrachtet größere Dendromassen mit einer höheren mittleren A_G im dritten Jahrring (2012, Abschnitt Juni bis Juli) einhergegangen sind bzw. die Dendromasse und die mittlere A_G im vorliegenden Versuch als Kovariaten betrachtet werden müssen.

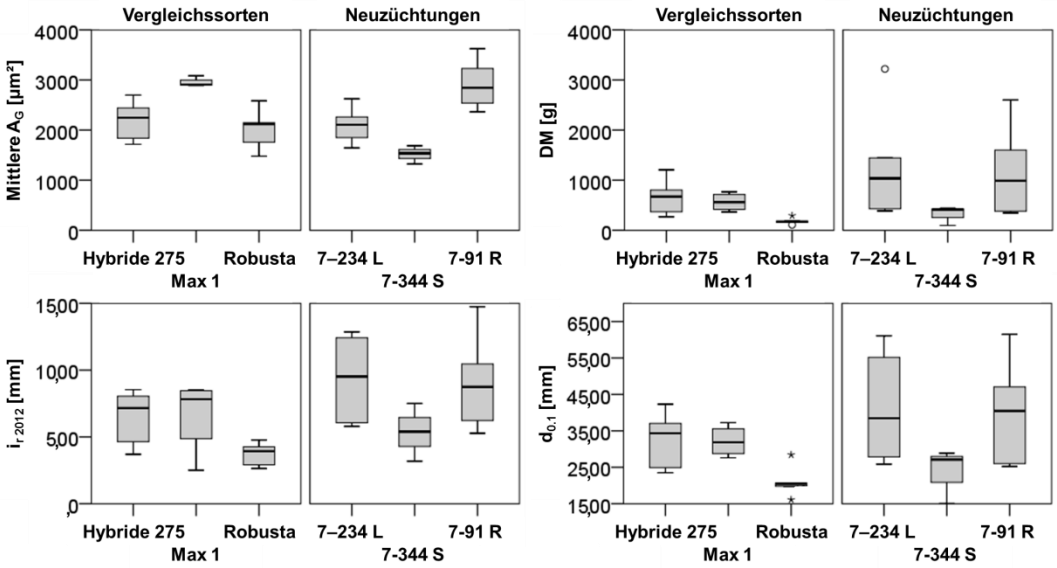
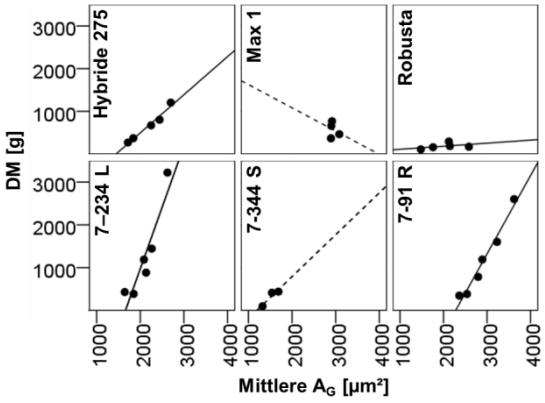


Abb. 4: Boxplots der mittleren Gefäßlumen-Querschnittsfläche (AG, in µm²) des Juni-Juli-Abschnittes des Jahrringes 2012 je Einzelbaum pro Sorte (links oben). Für dieselben Bäume wurden die statistischen Verteilungen der Einzelbaum-Dendromassen im Alter 3 (DM, in g, rechts oben), der Radialzuwächse 2012 (i_r = Jahrringbreite, in mm, links unten) sowie der Stammfußdurchmesser mit Rinde im Alter 3 ($d_{0.1}$, in mm, rechts unten) anhand von Boxplots dargestellt.

Beziehung zwischen mittlerer Gefäßlumen-Querschnittsfläche (A_G) (in Holzabschnitten aus den Monaten Juni und Juli) mit der Dendromasse

Um zu überprüfen, ob die mittlere $A_{G\ (Juni\ bis\ Juli\ 2012)}$ mit der Einzelbaum-Dendromasse nach drei Jahren (DM) in einer stochastischen Beziehung steht, wurden Regressionen errechnet (Abb. 5). Für die beiden Prüfglieder „Max 1“ und „7-344 S“ können wegen eines zu geringen Stichprobenumfanges innerhalb der Sorten keine sicheren Aussagen getätigt werden. Die Regressionen der übrigen vier Prüfglieder ergeben entweder hohe Bestimmtheitsmaße ($R^2 \geq 0{,}861$) oder aber ein geringes Bestimmtheitsmaß bei gleichzeitig sehr geringem Anstieg der Regressionsgeraden („Robusta“: $R^2 = 0{,}198$). Die hohen Bestimmtheitsmaße bestätigen, dass A_G und DM als miteinander kovariierend betrachtet werden müssen. Die Betrachtung der Regressionsgeraden der Neuzüchtungen (Abb. 5 untere Diagrammreihe) ergibt darüber hinaus, dass sie deutlich steilere Anstiege als die Regressionen der Vergleichssorten aufweisen.



Akzession / Sorte	b_1	b_0	R^2
Hybride 275	0,89	-1290	0,986
Max 1	-0,55	2170	0,075
Robusta	0,07	38,21	0,198
7 – 234 L	2,87	-4760	0,861
7 – 344 S	0,98	-1170	0,883
7 – 91 R	1,83	-4170	0,969

Abb. 5: Regressionsmatrix für die Einzelbaum-Dendromasse (DM) über der mittleren Gefäßlumen-Querschnittsfläche (A_G) getrennt nach Akzessionen: oben Vergleichssorten; unten Neuzüchtungen. Tabelle rechts gibt die Paramter der angezeigten Regressionsgeraden wieder. b_1 ist der Anstiegsparameter, b_0 der Y-Achsenschnittpunkt entsprechend der theoretischen linearen Regressionsgleichung $y = b_1x+b_0$. Gestrichelte Linien = unsichere Regressionsgeraden wegen zu geringen Stichprobenumfangs.

Für die Prüffelder Lehmbach (Oberbayern) und Wallstave (Altmark) lagen bereits weitere Messergebnisse für die mittlere Gefäßlumen-Querschnittsfläche (A_G) für die Prüfglieder „Max 1“, „7-344 S“ und „7-91 R“vor. Ein Vergleich der Regressionsgeraden zwischen den Standorten wurde hierdurch ermöglicht (Abb. 5). Die Anstiegsparameter (b_1) der angezeigten Regressionsgeraden (Gleichung $y = b_1x + b_0$) unterschieden sich zwischen den Standorten bei „Max 1“ nur gering. Es reichten nur die Stichprobenumfänge der Regressionen für die Prüffelder Lehmbach ($b_1 = 0{,}99$) und Wallstave ($b_1 = 0{,}75$) aus. Für „7-344 S“ sind $b_1 = 2{,}25$ (Lehmbach) und 0,95 (Wallstave). Für „7-91 R“ lagen an allen drei Standorten ausreichende Stichprobenumfänge vor (b_1 Lehmbach = 1,23, b_1 Thammenhain = 1,83, b_1 Wallstave = 2,01). Somit kann gezeigt werden, dass sich die Anstiegsparameter der Regressionen eines Klons (Prüfglied) für die Beziehung von Einzelbaum-Dendromasse (DM) und Gefäßlumen-Querschnittsfläche (A_G) zwar zwischen den Standorten unterscheiden jedoch fallen diese Unterschiede meist vergleichsweise gering aus. Auch haben die beiden Neuzüchtungen meist höhere Anstiegsparameter b_1 als die etablierte Vergleichssorte „Max 1“.

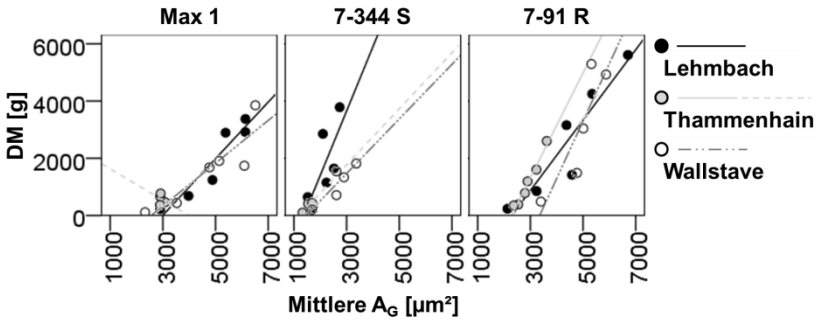


Abb. 5: Regressionsmatrix zum Standortvergleich für die Einzelbaum-Dendromasse (DM) über der mittleren Gefäßlumen-Querschnittsfläche (AG). Akzessionen: „Max 1“ (Vergleichssorte), „7-344 S“, „7-91 R“ (Neuzüchtungen). Beste Wuchsergebnisse am Standort Lehmbach (Oberbayern), schlechteste in Thammenhain (Nordsachsen). Gestrichelte Linien für Standort Thammenhain: Stichprobenumfang gering.

Für die in Abb. 5 dargestellten Daten wurde ein Generalisiertes Lineares Modell konstruiert (Tabelle 2), mit dem die mittlere Gefäßlumen-Querschnittsfläche (A_G) als abhängige (erklärte) Variable betrachtet wird. Aufgrund der stochastischen Abhängigkeit der A_G von der Dendromasse (DM), musste DM als Kovariate im Modell Beachtung finden, damit die Modelleffekte der Faktoren „Standort“ (entspricht dem Prüffeld) und „Genotyp“ (entspricht dem Prüfglied) auf Signifikanz getestet werden konnten. Der Interaktionseffekt „Standort × Genotyp“ wurde zuerst einbezogen, fiel jedoch nicht signifikant aus ($p = 0{,}063$) und konnte im endgültigen Modell (Tabelle 2) weggelassen werden. Alle Haupt-Effekte waren hoch signifikant. Jedoch war der Effekt des Standortes – angezeigt durch einen *p*-Wert von exakt 0,001 – geringer als derjenige der übrigen unabhängigen Variablen, welche noch kleinere *p*-Werte aufwiesen.

Tabelle 2: Testergebnisse des Generalisierten Linearen Modells für die mittlere Gefäßlumen-Querschnittsfläche (A_G) der Jahrringabschnitte Juni-Juli 2012 (SPSS 22, Prozedur GzLM). Haupteffekte waren einbezogen als Faktor ‚Standort‘ mit drei Faktorstufen: Lehmbach, Thammenhain, Wallstave; Faktor ‚Genotyp‘ mit drei Stufen: „Max 1“, „7-344 S“, „7-91 R“ (s. Abb. 5) sowie als Kovariate ‚Dendromasse‘ im Alter 3 (DM).

Quelle der Variation	Likelihood-Quotient-χ2	df	p-Wert
(Konstanter Term)	174,1	1	< 0,001
Genotyp	54,2	2	< 0,001
Standort	13,5	2	0,001
DM	117,4	1	< 0,001

Diskussion

Genotypische Unterschiede der Gefäßlumen-Querschnittsfläche (A_G)

Mit dem hoch signifikanten Effekt des Faktors „Genotyp“ auf die Ergebnisse der holzanatomischen Gefäßuntersuchungen an drei Standorten, aber auch anhand der Lage und Variationsbreite der mittleren Gefäßlumen-Querschnittsfläche (Boxplots, Abb. 4) kann gezeigt werden, dass es deutliche Unterschiede der mittleren A_G zwischen den untersuchten Genotypen im FastWOOD-Prüfanbau gibt. Diese Unterschiede können auf verschiedene mögliche genotypspezifische Charakteristika zurückzuführen sein. Grundlegend wird die Differenzierung und Dimension von Xylemzellen durch Turgorverhältnisse determiniert (vgl. Hsiao 1973, Passioura und Fry 1992). Der Differenzierung unterliegende junge Gefäßzellen unterscheiden sich von übrigen Zellen durch eine noch deutlichere Vakuolisierung (Arend und Fromm 2003). So könnten genetische Unterschiede bei der Versorgung der kambialen Bereiche mit Wasser zu den deutlichen Klon-Unterschieden bezüglich der mittleren A_G

geführt haben. Zu nennen sind außerdem die Versorgung der sich differenzierenden Xylemzellen mit Kohlenhydraten (Deslauriers et al. 2009, Krabel et al. 1999) sowie der steuernde Einfluss von Pflanzenhormonen wie Ethylen oder Auxin (Aloni 1987, Junghans et al. 2004).

Die beobachteten mittleren A_G der untersuchten Sorten im Prüffeld Thammenhain ordnen sich in vergleichbare Analysen anderer Autoren gut ein. Bei Untersuchungen von Arend und Fromm (2007) wurden an einjährigen Pappeln je nach Wasserversorgung mittlere A_G von 1000 bis etwa 1500 µm², festgestellt. Bei Schume et al. (2004) wurden je nach Bodenwasserversorgung an adulten Bäumen in Donauauenbeständen mittlere A_G von 6200 µm² bzw. 7600 µm² gemessen. Die letztgenannten hohen Werte werden in den vorliegenden Untersuchungen nicht erreicht. Die Klone wiesen im Mittel eine A_G von 2324 µm² auf, die Klone mit großen Gefäßen von knapp 3000 µm². Diese noch vergleichsweise geringen Werte sind durch den juvenilen Entwicklungszustand der Prüfglieder im Alter 3 erklärbar. Während der juvenilen Entwicklungsphase – bzw. im inneren Jahrringarchiv in radialer Richtung – beschreiben die Gefäßlumendimensionen wie die meisten holzanatomischen Größen einen Juvenilitätstrend (Mátyás und Peszlen 1997). Die A_G nimmt in Pappeln in den ersten Jahrringen unter geringem Kambiumalter zu (Meyer 2010). So könnten die vorgefundenen genotypischen Unterschiede zum Teil auch dadurch erklärbar sein, dass das Kambium bei den untersuchten Prüfgliedern am Standort Thammenhain unterschiedlich schnell maturisierte. Diese Unterschiede sind aber sehr wahrscheinlich nicht so bedeutend wie die genetischen Unterschiede der A_G selbst, denn dass es bedeutende genetisch bedingte holzanatomische Unterschiede zwischen Pappelsorten gibt, ist hinlänglich bekannt (z.B. Mátyás und Peszlen 1997, Meyer-Uhlenried 1959).

Tsuchiya und Furukawa (2009) zeigen, dass es zwei verschiedene Typen der Maturisation der A_G in Gehölzarten gibt. Es gibt Spezies, bei denen die A_G zum Zeitpunkt der Kulmination des jährlichen Radialzuwachses (d.h. der Jahrringbreite) maturisiert und solche, deren A_G mit dem Kulminationszeitpunkt des *durchschnittlichen* jährlichen Radialzuwachses maturisiert. Es ist nicht bekannt, zu welchem Typ Pappeln gehören, jedoch muss angenommen werden, dass die Klone in Thammenhain ihre mittlere A_G im Laufe fortschreitender Maturisation mindestens noch verdoppeln werden. Daher würde eine Wiederholung der hier vorgestellten Untersuchungen an adultem Holz nach einigen Jahren auch in Bezug auf die Werkstoffeigenschaften des adulten Holzes interessant sein.

Deutung der A_G hinsichtlich der Unterschiede der hydraulischen Architektur

Es konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der mittleren A_G zwischen den Neuzüchtungen und den Vergleichssorten festgestellt werden, obwohl die Neuzüchtungen in der Regel deutliche Verbesserungen der Erträge zeigten. Daher besteht– zumindest für die hier betrachteten Sorten – keine Veranlassung, von einer Verschlechterung der hydraulischen Architektur in Hinblick auf den Schutz ihres Xylems vor Dürreereignissen auszugehen. Der Vergleich mit zwei besseren Standorten zeigt, dass das Prüffeld Thammenhain zur Untersuchung der Trockenheitstoleranz von Pappeln geeigneter als die übrigen Prüffelder erscheint, weil hier neben den Wuchsergebnissen auch die Gefäßlumen-Querschnittsflächen vergleichsweise klein waren, was auf eine Anpassungsreaktion auf eine nicht optimale Bodenwasserversorgung hindeutet. Mit der Beschränkung der Analysen auf diejenigen Jahrringabschnitte, welche in den Monaten Juni und Juli gebildet wurden, wurde versucht, die Trockenheitsreaktion noch deutlicher herauszustellen. Denn in diesen beiden Monaten wird mit Abstand der stärkste intra-annuelle Radialzuwachs von den Pappeln geleistet, während gleichzeitig heiße sommerliche Perioden auftreten. Jedoch muss beachtet werden, dass auch die im Mai angelegten Jahrringabschnitte Gefäße enthalten, welche einen bedeutenden Anteil am leitenden Gewebe stellen, da Pappeln nur ein bis zwei Jahrringe zur Xylem-Saftstromleitung nutzen (Blake und Tschaplinski 1992). Die Ergebnisse zur mittleren A_G der Mai-Abschnitte sollen in folgenden Untersuchungen einbezogen werden. Dagegen ist die Reaktionsfähigkeit von Pappeln im späteren Sommer zur Xylemanpassung bei Trockenheit eher begrenzt (Arend und Fromm 2007), weshalb die zugehörigen Jahrring-Abschnitte zu recht nicht einbezogen sind.

Im Gegensatz zu den Unterschieden zwischen Neuzüchtungen und Vergleichssorten sind die beobachteten Klon-Unterschiede der A_G zwischen den Genotypen (Prüfgliedern) in Anbetracht der physiologischen, bzw. der hydraulischen Auswirkungen sehr deutlich. Dem Gesetz nach Hagen und Poiseuille entsprechend ist die Leitfähigkeit idealisierter Kapillaren proportional zur vierten Potenz des Kapillarradius. Die mittlere A_G der Bäume des neu gezüchteten Klones „7-91 R“ ist etwa doppelt so groß wie der Individuen des Klons „7-344 S“. Errechnet man aus der mittleren A_G einen theoretischen Kreisflächenradius, so liegt dieser mittlere theoretische Gefäßradius (idealisierte Kreisform) des Klons „7-344 S“ bei etwa 22 µm und für „7-91 R“ bei 30 µm. Dies würde grob geschätzt einem etwa ein Drittel größeren Radius und einer im Mittel gut verdreifachten Leitfähigkeit der Gefäße bei „7-91 R“ entsprechen. Doch dieser Unterschied war nicht allein auf die genetischen Klonunterschiede zurückzuführen, sondern vor allem auch auf die Unterschiede der Baumgrößen, wie anhand der errechneten Regressionen zwischen der mittleren A_G und der Einzelbaum-Dendromasse (DM) gezeigt wird (Abb. 5).

Die hohe Signifkanz der Kovariaten DM bei der Modellierung der mittleren Gefäßlumen-Querschnittsfläche (A_G) erbringt den statistischen Beleg dafür, dass größere Individuen innerhalb eines Pappelklones auch eine größere mittlere A_G aufweisen (vgl. Aloni 1987). Dies wird auch durch die von Tyree und Zimmermann (2002) zusammengefasste Gesetzmäßigkeit unterstützt, wonach größere mittlere Gefäßlumina einen effizienteren Wassertransport im Xylem ermöglichen. Dieser ist wiederum die Basis für eine optimale Wasser- und Nährstoffversorgung der Krone und für schnelles Wachstum. Anderseits sind Unterschiede zwischen Klonen hinsichtlich ihrer mittleren A_G kein guter Weiser für Unterschiede in der Trockenheitstoleranz dieser Klone. Der von Tyree und Zimmermann (2002) postulierte Zusammenhang zwischen einer geringeren Gefäßlumen-Querschnittsfläche oder auch einer höheren Holzdichte mit einem besseren Schutz vor Verlusten von Leitfähigkeit und vor Kavitationen bzw. Embolien bei Dürre, ist zwar physikalischen Gesetzen des kapillaren Flüssigkeitstransportes entsprechend nicht von der Hand zu weisen, ist jedoch beim Vergleich von Pappelklonen kaum nachweisbar (Cochard et al. 2007). Harvey und van den Driessche (1997) untersuchten Klone, welche zwar trockenheitstoleranter waren, jedoch im Mittel größere Gefäße hatten. Auch die vorliegenden Ergebnisse deuten an, dass die bedeutenden Sortenunterschiede der mittleren A_G allein betrachtet nicht ausreichen, um die Trockenheitstoleranz (d.h. minimierte Ertragsausfälle unter Trockenheit oder Kavitationsresistenz) zu erklären. Weitere wichtige Einflussgrößen, die zur Angepasstheit der hydraulischen Architektur gegen Kavitationen beitragen, sind zum Beispiel die stomatäre Regulation oder auch die Zellwandstärken im Xylem, der Grad Lignifizierung der Gefäßzellwände oder die Tüpfelmembran-Durchmesser (Harvey und van den Driessche 1997, Junghans et al. 2004).

Umso interessanter erscheinen deshalb die vorliegenden Ergebnisse zu den Anstiegen des beobachteten linearen stochastischen Zusammenhangs zwischen DM und A_G von Neuzüchtungen und Vergleichssorten. Die Neuzüchtungen weisen in Thammenhain unabhängig von ihrer Wüchsigkeit einen höheren Anstieg der Regressionsgeraden auf als die Vergleichssorten. Dies wird für die Klone „7-344 S“ und „7-91 R“ auch an den Daten der Standorte Lehmbach und Wallstave bestätigt, wo im Vergleich zu „Max1“ größere lineare Anstiege errechnet wurden. Die Individuen innerhalb der neuen Sorten bedurften demnach einer nur vergleichsweise geringen Zunahme der mittleren A_G für eine gesteigerte Dendromasse-Produktion. Dies wird als Hinweis interpretiert, dass das Risiko, Schäden durch Kavitäten / Embolien bei Dürre zu erleiden, bei den größeren Individuen der Neuzüchtungen geringer ist als bei den größeren Individuen der Vergleichssorten. Es ist auch möglich, dass innerhalb der Neuzüchtungen mit steigender Dendromasse-Produktion ein weniger deutlich steigender Transpirationswasserbedarf einhergeht. Um diesen Punkt zu klären müssen weitere Analysen unter Einbeziehung weiterer Neuzüchtungen erfolgen.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Annahmen, dass es unerwünschte Kopplungen zwischen dem genetischen Gewinn bezüglich des Stammholz- oder Dendromasse-Ertrages und negativen Veränderungen der Holzanatomie bezüglich der Trockenheitstoleranz gibt, haben sich anhand der untersuchten Sorten nicht bestätigt. Dagegen liegen zumindest für die Gruppe der hier untersuchten Pappeln Indizien vor, dass die Neuzüchtungen ihren gesteigerten Ertrag auch durch eine gut angepasste Anatomie, bzw. eine geeignete hydraulische Architektur ihres Xylems realisieren konnten.

Um abschließende Aussagen treffen zu können, müssen weitere Sorten in derartige Untersuchungen einbezogen werden. Außerdem ist das physiologische Ertragsverhalten von Neuzüchtungen erst dann vollkommen zu beurteilen, wenn auch holzanatomische Untersuchungsergebnisse für adultes Holz aus längeren Anbauversuchen vorliegen. Dies wird für die Neuzüchtungen erst in wenigen Jahren möglich sein. Dagegen sollten in künftige Analysen auch andere gefäßanatomische Eigenschaften einbezogen werden, beispielsweise sind die Anordnung der Gefäße im Xylemquerschnitt, aber vor allem auch intra-annuelle Veränderungen der Gefäßgrößen infolge des Witterungsverlaufs oder Trockenereignissen interessante Indikatoren für die physiologische Antwort der hydraulischen Architektur der Pappel-Neuzüchtungen.

Danksagung

Wir danken den Projektpartnern im Verbund FastWOOD, welche uns Proben bereit stellten und wir danken ihnen für den im Rahmen dessen geleisteten Mehraufwand bei der Beerntung der Prüffelder. Den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Imaging-Facility des Biotechnology Center der TU Dresden (biotec) sei herzlich für Ihre Beratung bei Mikroskopie und Softwarewahl gedankt. Unser besonderer Dank gilt der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), deren Mitarbeitern Herrn Dr. Öhme, Frau Urban sowie dem Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz für die finanzielle Förderung (FKz: 11NR029; 22002911) bzw. für die freundliche Unterstützung.

Literatur

Aloni R, 1987: Differentiation of Vascular Tissues. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 38: 179-204.

Arend M, Fromm J, 2003: Ultrastructural changes in cambial cell derivatives during xylem differentiation in poplar. Plant Biology 5: 255-264.

Arend M, Fromm J, 2007: Seasonal change in the drought response of wood cell development in poplar. Tree Physiol 27: 985-992.

Blake TJ, Tschaplinski TJ, 1992: 3. Water Relations. In: Mitchell CP, Ford-Robertson JB, Hinckley T, Sennerby-Forsse L (eds) Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops. Elsevier Applied Science, London, New York: 66-94.

Cochard H, Casella E, Mencuccini M, 2007: Xylem vulnerability to cavitation varies among poplar and willow clones and correlates with yield. Tree Physiol 27: 1761-1767.

Deslauriers A, Giovannelli A, Rossi S, Castro G, Fragnelli G, Traversi L, 2009: Intra-annual cambial activity and carbon availability in stem of poplar. Tree Physiol 29: 1223-1235.

Fröhlich HJ, Grosscurth W, 1973: Züchtung, Anbau und Leistung der Pappeln. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 236 S.

Harvey HP, van den Driessche R, 1997: Nutrition, xylem cavitation and drought resistance in hybrid poplar. Tree Physiol 17: 647-654.

Houtzagers G, 1941: Die Gattung Populus und ihre forstliche Bedeutung (Nach der niederländischen Auflage ins Deutsche übersetzt und hrsg. von W. Kemper). Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 196 S.

Hsiao TC, 1973 Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 24: 519-570.

Jablokov AS, 1963: Growth and breeding of healthy aspen. [Яблоков А.С. Воспитание и разведение здоровой осины]. М. Гослесбумиздат, 442 S.

Janßen A, Fehrenz S, Fey-Wagner C, Hüller W, 2012: Züchtung von Schwarz- und Balsampappeln für den Kurzumtrieb. Beiträge aus der NW-FVA. Band 8: 33-54.

Junghans U, Langenfeld-Heyser R, Polle A, Teichmann T, 2004: Effect of auxin transport inhibitors and ethylene on the wood anatomy of poplar. Plant Biology 6: 22-29.

Krabel D, Roloff A, Bodson M, 1999: Influence of sucrose on seasonal cambial growth. J Exp Bot 50 (Suppl.): 25-26.

Liesebach M, Schneck V, Wolf H, 2012: Züchtung von Aspen für den Kurzumtrieb. Beiträge aus der NW-FVA. Band 8: 71-90.

Mátyás C, Peszlen I, 1997: Effect of age on selected wood quality traits of poplar clones. Silvae Genet 46: 64-72.

Meyer-Uhlenried KH, 1959: Über die Vererbung von Holzfaserlängen bei verschiedenen Arten der Gattung Populus. Der Züchter 29: 117-123.

Meyer M, 2010: Trockenheitsreaktionen und holzanatomische Eigenschaften der Zitter-Pappel (Populus tremula L.) - Physiologie und QTL-Mapping. Forstwiss. Beitr. Tharandt 31: 174 S.

Meyer M, Solger A, Krabel D, 2013: Xylem cell length under drought and its value for predicting radial growth of SRF poplar cultivars (*Populus* spp.). Trees 27: 1353-1363.

Mueller R, Sauer E, 1958-1961: Altstammsorten der Schwarzpappelbastarde für den Anbau in Deutschland (Sonderdruck in zwei Bänden). Holz-Zentralblatt, Stuttgart, 167 S.

Passioura JB, Fry SC, 1992: Turgor and Cell Expansion - Beyond the Lockhart Equation. Australian Journal of Plant Physiology 19: 565-576.

Pliura A, Zhang SY, MacKay J, Bousquet J, 2007: Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. Forest Ecology and Management 238: 92-106.

Schume H, Grabner M, Eckmullner O, 2004: The influence of an altered groundwater regime on vessel properties of hybrid poplar. Trees-Struct Funct 18: 184-194.

Semple KE, Vaillant MH, Kang KY, Oh SW, Smith GD, Mansfield SD, 2007: Evaluating the suitability of hybrid poplar clones for the manufacture of oriented strand boards. Holzforschung 61: 430-438.

Tsuchiya R, Furukawa I, 2009 Radial variation of vessel lumen diameter in relation to stem increment in 30 hardwood species. Iawa J 30: 331-342.

Tyree M, Zimmermann MH, 2002: Xylem Structure and the Ascent of Sap, 2 edn. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 283 S.

von Wettstein W, 1946: Die "Zellulosepappel". Ihre Kultur und Züchtung. Der Züchter [Theoretical and Applied Genetics] 17/18: 13-19.

Wagenführ R, 2007: Holzatlas, 6 edn. Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, 816 S.

Wolf H, Bönisch B, 2003: Modellvorhaben StoraEnso / Verbundvorhaben – Pappelanbau für die Papierherstellung: Teilvorhaben Anbau von Pappeln und Aspen auf potentiellen landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen unter Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte (Phase I), Monitoring von Pappelanbauten auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen unter besonderer Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte (Phase II). Abschlussbericht Förderkennzeichen 95 NR 142 / 00 NR 094. Sächsisches Landesforstpräsidium, Bonnewitzer Straße 34, 01796 Pirna OT Graupa, download 08.12.2014: http://www.energieholz-portal.de/files/abschlussbericht_storaenso_projekt.pdf, 73 S.

Korrespondierender Autor:
Matthias Meyer
Technische Universität Dresden
Institut für Forstbotanik und Forstzoologie
AG molekulare Gehölzphysiologie
Pienner Straße 7
01737 Tharandt
matthias.meyer@tu-dresden.de

Anwendung und Nutzen molekularer Marker innerhalb der Gattung *Populus* für den Einsatz in der Züchtung

Hilke Schröder, Matthias Fladung

Thünen-Institut für Forstgenetik, Großhansdorf

Zusammenfassung

Anhand von über 500 Individuen sind für 14 *Populus*-Arten SNP- und InDel (Insertionen/Deletionen) -Marker sowohl im Chloroplastengenom (cp) als auch im Kerngenom entwickelt worden. Unter Einsatz von 24 Abschnitten im cp-Genom wurden insgesamt über 200 variable Nukleotidstellen gefunden. Von diesen waren pro Art einer bis zu 30 SNPs/InDels artspezifisch, also jeweils nur in einer Art zu finden. Mit Hilfe dieser cp-Marker wird der mütterliche Teil einer Kreuzung und damit die Kreuzungsrichtung verifiziert. In fünf Bereichen des Kerngenoms wurden etwa 190 Nukleotid-Variationen gefunden, die pro Art in einem bis zu 17 artspezifischen SNPs/InDels resultierten. Im cp-Genom konnten so insgesamt für die untersuchten Arten über 100 und im Kerngenom 70 artspezifische Variationen entdeckt werden.

Die Kombination dieser Marker ermöglicht die eindeutige Identifizierung von 13 der 14 untersuchten Arten. Ebenso können anhand mehrerer Kernmarker Genealogien zurückverfolgt und Komplex-hybride identifiziert werden.

Schlüsselworte: *Populus*, Einzel-Nukleotid-Austausch (SNP), Insertion/Deletion (InDel), Chloroplast, Kern-Genom

Abstract

Application and benefits of molecular markers for breeding purposes within the genus *Populus*

500 individuals of 14 poplar species have been used to develop SNP- and InDel (insertions/deletions) -markers within the chloroplast (cp) and the nuclear genome. Using 24 region of the chloroplast, more than 200 nucleotide variations were detected. Per species one to 30 SNPs/InDels have been identified to be species-specific, thus existing in only one species. The cp-makers are used to verify the maternal part of a crossbreeding and therefore the direction of the crossbreeding. For the nuclear genome, in five genes about 190 nucleotide variations could have been detected with one to 17 species-specific SNPs/InDels per species. In total, within the cp genome over 100 and in the nuclear genome 70 species-specific variations have been detected. The combination of these markers allows the clear identification of 13 of the 14 investigated species. Furthermore, with help of several nuclear markers tracking of genealogies and identification of complex hybrids is possible.

Keywords: *Populus*, single nucleotide polymorphism (SNP), Insertion/Deletion (InDel), chloroplast, nuclear genome

Einleitung

Die etwa 29 Arten der Gattung *Populus* werden systematisch in sechs Sektionen eingeteilt (*Populus, Tacamahaca, Ageiros, Abaso, Turanga* und *Leucoides*) (Eckenwalder 1996). Innerhalb und zwischen diesen Sektionen gibt es eine große Hybridisierungskapazität diverser Arten. Zum Teil sind diese Hybridisierungen natürlichen Ursprungs, sie werden aber auch gezielt gezüchtet, da insbesondere

viele zwischenartliche Hybriden eine hohe Leistungsfähigkeit aufweisen (Licht und Isebrands 2005, vande Walle et al. 2007) und damit vielfach für Kurzumtriebsplantagen eingesetzt werden. Diese intersektionelle Kreuzungskompatibilität von *Populus*-Arten ist zwar für die Züchtung von großem Vorteil, für die Identifizierung von Arten innerhalb von Kreuzungen jedoch eine große Herausforderung. So existieren heute zahlreiche Kreuzungen und Rückkreuzungen, deren ursprüngliche Kreuzungspartner nicht mehr immer unbedingt anhand von Aufzeichnungen nachvollziehbar sind. Jedoch muss für die Anmeldung neuer Klone die Genealogie nachweisbar sein. In dem hier vorgestellten Arbeitspaket des FNR-finanzierten Projekts „FastWood" lag daher der Schwerpunkt auf der Entwicklung von molekularen Markern zur Identifizierung von Arten und Hybriden sowie deren Kreuzungsrichtung, um die Genealogie von bekannten und neuen Pappelklonen belegen zu können.

Material und Methoden

Untersuchungsmaterial

Insgesamt wurden 14 Arten aus vier verschiedenen Sektionen mit unterschiedlicher Anzahl an Individuen je Art (zwischen einem und 270 Individuen) für die Untersuchungen verwendet. Aus der Sektion *Populus* waren dies die drei Arten *P. alba, P. tremula* und *P. tremuloides*, die Sektion Aigeiros ist mit den acht Arten *P. trichocarpa, P. maximowiczii, P. cathayana, P. koreana, P. simonii, P. szechuanica, P. ussuriensis* und *P. balsamifera* vertreten, außerdem wurden die zwei Schwarz-Pappeln (Sektion *Tacamahaca*) *P. nigra* und *P. deltoides* sowie *P. wilsonii* aus der Sektion Leucoides verwendet. Die Individuen stammen aus dem Arboretum des Thünen-Instituts für Forstgenetik in Großhansdorf, von Kollegen des Thünen-Instituts für Forstgenetik in Waldsieversdorf, der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) in Hann. Münden, des Bayrischen Amts für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP) in Teisendorf, des Staatsbetriebs Sachsenforst (SBS) in Graupa sowie aus den Botanischen Gärten Marburg, Hamburg, Tübingen und Dresden.

DNA-Extraktion und PCR-Amplifikation

Je 1 cm^2 eines Blattes wird in flüssigem Stickstoff in einer Retschmühle zu Pulver zermahlen. Die DNA wird nach einem leicht modifizierten ATMAB-Protokoll (Dumolin et al. 1995) extrahiert. Für die PCR-Reaktion wird ein Standardprotokoll verwendet, das in Schroeder et al. (2012) und SCHROEDER & FLADUNG 2014 detailliert beschrieben ist. Die annealing Temperaturen in der PCR-Reaktion sind auf die jeweils verwendeten Primer angepasst und liegen zwischen 50°C und 65°C. Die Amplifikationsprodukte werden in einem mit Rotisafe (Carl Roth, Karlsruhe) angefärbten Agrosegel sichtbar gemacht.

Untersuchte Regionen

Insgesamt sind 23 barcoding Regionen und 17 neu generierte Primerkombinationen des Chloroplasten untersucht worden. Die Erstellung der Primer erfolgte anhand des *P. trichocarpa* Genoms (Tuskan et al. 2006). Detaillierte Informationen zu den Primern finden sich in Schroeder und Fladung (2010) und Schroeder et al. (2012). Aus dem Kerngenom wurden die Gene Gibberellinoxidase 20 (*GA20ox*), *LEAFY*, *TB1* und zwei Introns des *KNOX*-Gens verwendet.

Ergebnisse

SNP- und InDel-Marker

Als SNP (single nucleotide polymorphism) wird der Austausch einzelner Basen (Nukleotide) in der Sequenzabfolge bezeichnet, der in einer Population oder innerhalb einer Art manifestiert ist. Ein

InDel (Insertion/Deletion) ist ein Längenunterschied in der Sequenz verschiedener Populationen bzw. Arten. Als artspezifisch wird ein SNP oder InDel bezeichnet, wenn alle Individuen einer Art diesen Polymorphismus aufweisen und dieser bei keinem Individuum einer anderen Art zu finden ist. Chloroplasten (cp) werden bei Angiospermen rein mütterlich vererbt, so dass die cp-Marker für die Identifizierung der Mutter einer Kreuzung und damit der Kreuzungsrichtung verwendet werden, während die SNPs und InDels im Kern für die Identifizierung beider Kreuzungspartner und damit Hybriden eingesetzt werden.

Von den 40 erwähnten Bereichen des Chloroplasten-Genoms konnten bis zu 24 für die Analyse der 14 Arten herangezogen werden. Insgesamt wurden so gut 200 Nukleotidvariationen (SNPs oder InDels) gefunden, von denen über 100 artspezifisch waren (Tabelle 1). Im Kerngenom war die Anzahl der insgesamt gefundenen Nukleotidvariationen nicht wesentlich geringer (etwa 190), allerdings waren hier nur gut 70 der Variationen auch artspezifisch (Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht über die Anzahl an artspezifischen SNPs und InDels im Chloroplasten (cp) und im Kerngenom für die 14 untersuchten Pappelarten.

Art	**Abk.** (Abb. 1)	**cp artspezifisch: SNPs / InDels**	**Kern artspezifisch: SNPs / InDels**
P. alba	alb	4 / 3	12 / 5
P. tremula	tre	14 / 7	7 / 0
P. tremuloides	tro	31 / 11	0 / 0
P. nigra	nig	7 / 3	14 / 0
P. deltoides	del	9 / 4	15 / 0
P. trichocarpa	tri	7 / 1	9 / 0
P. maximowiczii	max	1 / 2	2 / 0
P. cathayana		0	0
P. koreana	kor	0	0
P. simonii	sim	1 / 1	4 / 1
P. szechuanica	sze	2 / 0	2 / 0
P. ussuriensis	ussu	0	0
P. balsamifera	bal	0	1 / 0
P. wilsonii	wil	4 / 3	1 / 0

Durch die Kombination mehrerer artspezifischer Marker ist die Identifizierung von 13 der Arten möglich. Für *P. cathayana* liegen zurzeit noch zu wenig Daten für eine eindeutige Aussage vor. In Abbildung 1 ist ein solches Multiplexing im Detail gezeigt: (A) Über einen Längenpolymorphismus (InDel) im *TB1*-Gen werden *P. alba* mit immer 460 Basenpaaren (bp) und *P. simonii* mit einer Länge von immer 474bp unterschieden. Weiterhin haben bei dieser Variation alle *P. tremula* und *P. tremuloides* immer eine Länge von 469bp. Es verbleiben 10 Arten, die alle ein InDel im *TB1*-Gen mit einer Länge von 458bp lang aufweisen. (B) *P. tremula* und *P. tremuloides* werden im nächsten Schritt durch einen SNP im *KNOX3*-Gen unterschieden. (C) Zwei SNPs im *TB1*-Gen ermöglichen darauffolgend die Identifizierung von *P. deltoides* und von *P. trichocarpa* und die gemeinsame Gruppierung von *P. nigra* und *P. wilsonii* sowie den restlichen fünf Arten. (D) Ein SNP im *LEAFY*-Gen trennt anschließend *P. nigra* und *P. wilsonii* voneinander. (E) Im *GA20ox*-Gen führt ein SNP zur Differenzierung von *P. szechuanica* und die Arten *P. koreana, P. ussuriensis* und *P. maxomiwiczii* haben ein gemeinsames InDel, was zur Identifizierung von *P. balsamifera* führt. (F) *P. koreana* wird über einen SNP im *KNOX*-Gen identifiziert und schließlich (G) kann noch *P. ussuriensis* von *P. maximowiczii* über einen SNP im *TB1*-Gen getrennt werden. So erbringt die Anwendung von sieben Markern die Differenzierung von insgesamt 13 Pappelarten.

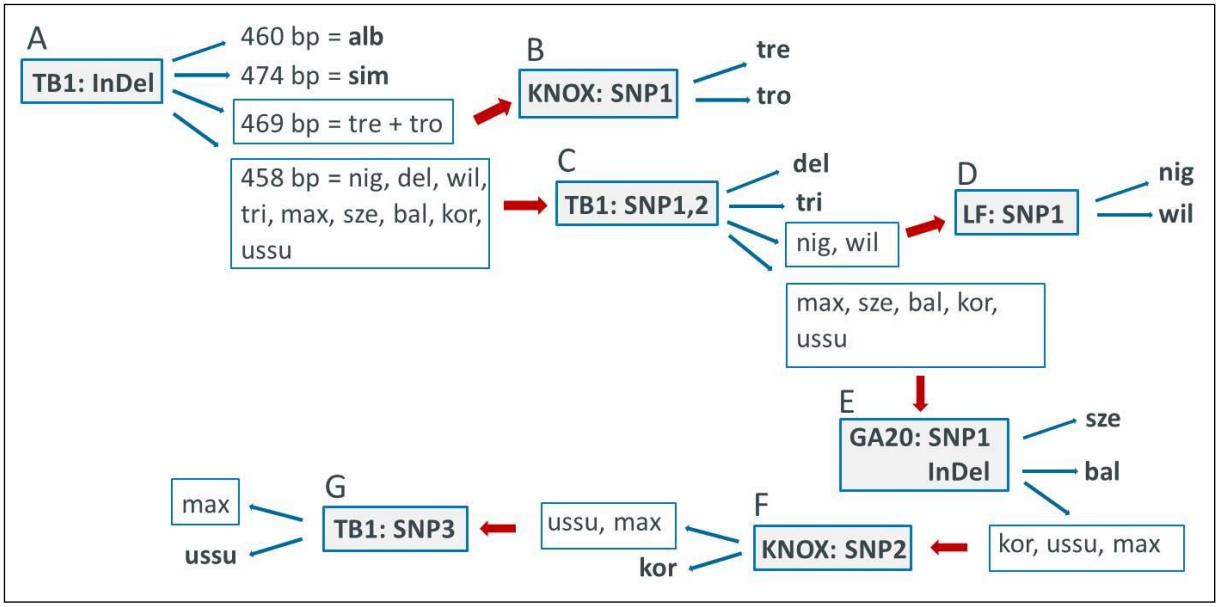


Abb. 1: Differenzierung von 13 Pappelarten über ein Ausschlussverfahren mit SNPs und InDels in vier verschiedenen Kerngen-Abschnitten. Nähere Erläuterung: siehe Text (Abk. s. Tabelle 1)

Anwendungsbeispiele

Bisher durchgeführte Untersuchungen mit einer Reihe von SNP-Markern zeigen, dass viele der untersuchten Klone aus Mehrfach-Hybridisierungen sowohl innerartlich als auch zwischen verschiedenen Arten und sogar zwischen Arten verschiedener Sektionen hervorgegangen sind. Für eine präzise Charakterisierung von Mehrfach-Hybridisierungen wird eine Kombination von cp- und Kern-Markern verwendet, um sowohl bezüglich beteiligter Arten als auch der Genealogie eine höhere Auflösung zu erzielen.

Im ersten Beispiel wird die Überprüfung der Genealogie einer Pappelprobe erörtert: Waren die Eltern einer als Balsampappel deklarierten Probe reine Arten oder Hybriden?

Anhand des in Abbildung 1 dargestellten Schemas wurde der Artstatus und anhand von spezifischen Chloroplasten-Markern die Kreuzungsrichtung festgestellt. Es handelte sich um einen Hybriden aus *P. maximowiczii* (Mutter) und *P. trichocarpa* (Vater). Anschließend wurde die Probe mit Hilfe von artspezifischen Kern-Markern für *P. maximowiczii* und *P. trichocarpa* auf Heterozygotie überprüft. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Rückverfolgung der Genealogie dieser Pappelprobe. Dargestellt sind sowohl die Chloroplasten-Marker, die zur Überprüfung der Kreuzungsrichtung dienten als auch zwei verwendete Kern-Marker. Sind die Eltern reine Arten, dann müssten sie bei beiden Markern homozygot gewesen sein. Der erste Kern-Marker ergab für die untersuchte Probe einen Hybriden aus den beiden Elternarten. Mit diesem Ergebnis könnte es sich bei der Probe um einen F1-Hybriden handeln, der aus homozygoten Eltern hervorgegangen sein kann. Es sind aber neben dieser Möglichkeit auch bereits Hybrid-Eltern denkbar (Abb. 2). Die Hinzunahme eines zweiten Kern-Markers ergab für die Probe keine Heterozygotie, so dass hiermit bereits belegt werden konnte, dass es sich nicht um einen F1-Hybriden handeln kann, sondern bereits Rückkreuzungen stattgefunden haben müssen. Der Vater muss nach diesem Ergebnis bereits ein Hybrid aus *P. maximowiczii* und *P. trichocarpa* gewesen sein, die Mutter könnte eine reine *P. maximowiczii* oder ebenfalls ein Hybrid gewesen sein (Abb. 2).

	Chloroplast	**Kern 1**
Probe 1	A	AT
Mögliche Eltern	♀: A x ♂: T	AA x TT / AT x AT / AT x TT / AA x AT
	Chloroplast	**Kern 2**
Probe 1	G	GG
Mögliche Eltern	♀: G x ♂: C	GC x GC / GG x GC / ~~GC x CC~~ / ~~GG x CC~~

Abb. 2: Darstellung der Überprüfung der Eltern eines Hybriden aus *P. maximowiczii* und *P. trichocarpa*. Beim Kern-Marker 1 hätten eine reine *P. maximowiczii* AA und eine reine *P. trichocarpa* TT, bei Kern-Marker 2 wären es entsprechen für eine reine *P. maximowiczii* GG und eine reine *P. trichocarpa* CC. Über den Kern-Marker 2 ist damit geklärt, dass die Eltern nicht homozygot gewesen sein können (Durchgestrichene Kombinationen in Zeile „Mögliche Eltern" bei Kern-Marker 2). Nähere Erläuterung: siehe Text.

Als zweites Beispiel dient die Überprüfung einer Pappelprobe, die als homozygote *P. simonii* deklariert war. Nach der Etablierung der Marker werden, soweit zeitlich möglich, alle eingehenden Pappelproben auf die Richtigkeit der Artangaben überprüft. Die *P. simonii* Probe wurde zunächst mit einem spezifischen Chloroplasten-Marker getestet. Dieser ergab nicht *P. simonii*. Ein Test mit weiteren artspezifischen cp-Markern ergab schließlich *P. trichocarpa* als Mutter. Ein artspezifischer Kern-Marker für *P. simonii* ergab ein positives Ergebnis. Weitere Kern-Marker wurden angewendet, um festzustellen, ob es sich um eine Komplexhybride handelt. Tatsächlich konnte auch *P. maximowiczii* nachgewiesen werden. Es handelte sich also um eine Komplexhybride aus (*P. trichocarpa* x *P. maximowiczii*) x *P. simonii*.

Schlussfolgerungen

Es gibt einige Studien, die sich mit der Entwicklung von SNP-Markern speziell für Pappeln beschäftigen (Fladung und Buschbom 2009, Meirmans et al. 2007, Gilchrist et al. 2006, Ingvarsson 2005), jedoch handelt es sich dabei meistens um Ansätze mit nur wenigen Pappelarten. Die Suche nach artspezifischen SNPs, die eine Differenzierung von 14 Arten innerhalb einer Gattung ermöglicht, ist eine Herausforderung und damit eher selten. Mit dem hier beschriebenen Ansatz ist es gelungen, die in kommerziell genutzten Kreuzungen häufig verwendeten Arten eindeutig zu identifizieren. Damit können Pappelklone, die für Kurzumtriebsplantagen verwendet werden sollen, auf korrekte Deklarierung hinsichtlich Art und Kreuzungshistorie überprüft werden. Ebenso kann der Artstatus potentieller Kreuzungspartner für Neuzüchtungen verifiziert werden. Mit den entwickelten SNP-Markern können Arten und Kreuzungsrichtung sowohl von bekannten Klonen als auch von Hybriden oder Arten, die aus natürlichen Populationen stammen, identifiziert werden. Die Rückverfolgung der Genealogie ist ebenso möglich wie die Aufschlüsselung von Komplexhybriden.

Für einige der SNP-Marker konnten bereits kostengünstig und schnell umzusetzende PCR-RFLPs entwickelt werden, d. h. die Identifizierung der Arten erfolgt über eine Restriktion und die Auftrennung auf Gelen. Wenn die SNPs in Bereichen ohne Restriktionsenzyme liegen, wird auf Sequenzierungen zugegriffen. Die InDels können entweder ebenfalls auf Gelen identifiziert werden, wenn es sich um größere Längenunterschiede handelt, oder aber auf dem Sequenzierer analysiert werden, auf dem auch ein Unterschied von nur einer Base auflösbar ist.

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) für die finanzielle Unterstützung über das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Den Gärtnern danken wir für das Ernten von Probenmaterial, unserer technischen Assistentin Susanne Bein für die Laborarbeit und Mirko Liesebach und Georg von Wühlisch für Informationen über die Herkunft der Pappeln und das Einsammeln von Probenmaterial. Den Kollegen im Projekt FastWOOD sowie den Botanischen Gärten Hamburg, Marburg, Tübingen und Dresden danken wir für die Überlassung von Probenmaterial. Mirko Liesebach danken wir für die Koordinierung des Thünen-FastWOOD-Teilprojekts.

Literatur

Dumolin S, Demesure B, Petit RJ, 1995: Inheritance of chloroplast and mitochondrial genomes in pedunculate oak investigated with an efficient PCR method. Theoretical and Applied Genetics 91: 1253-1256.

Eckenwalder JE, 1996: Systematics and evolution of *Populus*. *In* Stettler RF, HD Bradshaw Jr, PE Heilman and TM 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 – Structure and Function 23: 1199-1212.

Gilchrist EJ, Haughn GW, Ying CC, Otto SP, Zhuang J, Cheung D, Hamberger B, Aboutorabi F, Kalynyak T, Johnson L, Bohlmann J, Ellis BE, Douglas CJ, Cronk QCB, 2006: Use of Ecotilling as an efficient SNP discovery tool to survey genetic variation in wild populations of *Populus trichocarpa*. Molecular Ecology 15: 1367-1378.

Ingvarsson PK, 2005: Nucleotide polymorphism and linkage disequilibrium within and among natural populations of European aspen (*Populus tremula* L., Salicaceae). Genetics 169: 945-953.

Licht LA, Isebrands JG, 2005: Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities. Biomass & Bioenergy 28: 203-218.

Meirmans PG, Lamothe M, Périnet P, Isabel N, 2007: Species-specific single nucleotide polymorphism markers for detecting hybridization and introgression in poplar. Canadian Journal of Botany 85: 1082-1091.

Schroeder H, Fladung M, 2010: SSR and SNP markers for the identification of clones, hybrids and species within the genus *Populus*. Silvae Genetica 59 (6): 257-263.

Schroeder H, Fladung M, 2014: Differentiation of *Populus* species by chloroplast SNP markers for barcoding and breeding approaches. iForest doi: 10.3832/ifor1326-007.

Schroeder H, Hoeltken AM, Fladung M, 2012: Differentiation of *Populus* species using chloroplast SNP-markers - essential for comprehensible and reliable poplar breeding. Plant Biology 14: 374-381.

Tuskan GA, 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.

Korrespondierende Autorin:
Dr. Hilke Schröder
Thünen-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstr. 2
22927 Großhansdorf
hilke.schroeder@ti.bund.de

Untersuchungen zum Resistenzverhalten der in FastWOOD gezüchteten Leistungsträger von Schwarz- und Balsampappeln gegenüber dem Pappelblattrost *Melampsora larici-populina*

Christina Fey-Wagner, Natalia Klippert, Alwin Janssen

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Hann. Münden

Zusammenfassung

Der Anbau schnellwachsender Pappeln und Weiden ist energetisch, ökologisch und ökonomisch sehr vorteilhaft. Kurzumtriebsplantagen (KUP) werden mehr denn je als eine der aussichtsreichsten Methoden zur Erzeugung von stofflich und energetisch nutzbarer Biomasse eingestuft. Im Zuge des verstärkten, großflächigen Anbaus dieser schnellwachsenden Gehölze stellt die schmale genetische Basis des zurzeit zur Verfügung stehenden Vermehrungsgutes ein erhebliches Risiko für die Betriebssicherheit der KUP dar. Aufgrund genetisch bedingter Krankheitsanfälligkeiten und mangelnder Anpassungsfähigkeit des bisher auf KUP verwendeten Materials gewannen Blattroste als Pflanzenpathogene in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung. Ziel des Verbundprojektes „FastWOOD“ (Teilprojekt 1) ist es daher, für die Energieholzproduktion geeignete Schwarz- und Balsampappelsorten, nicht nur im Hinblick auf gesteigerte Massenleistung, sondern auch auf verstärkte Toleranzeigenschaften gegenüber Pflanzenpathogenen wie dem Pappelblattrost zu züchten. So wird im Züchtungsverfahren bereits bei der Auswahl der Kreuzungseltern das Resistenzverhalten berücksichtigt und die Selektion der neuen Kreuzungsnachkommen auf ihre Toleranzeigenschaften ausgerichtet. Im weiteren Verlauf der Prüfung werden die zunächst selektierten Klone den unterschiedlichsten Standorteigenschaften und Klimabedingungen auf Prüffeldern verteilt über ganz Deutschland und somit verschiedenen Pathotypen des Pappelblattrostes *Melampsora larici-populina* ausgesetzt. Unsere Untersuchungen, die auf annuellen Bonituren aller in FastWOOD angelegten Schwarz- und Balsampappel-Versuchsflächen basieren, lassen erste Erkenntnisse über das Resistenzverhalten der getesteten Leistungsträger zu und veranschaulichen die Bedeutung der Blattrosttoleranz für die Biomasseleistung von Schwarz- und Balsampappeln im Kurzumtrieb.

Schlüsselworte: Pappel, KUP, Pappelblattrost, *Melampsora larici-populina*

Abstract

Analysis of resistance to *Melampsora larici-populina* of black and balsam poplars selected in the project FastWOOD

The cultivation of fast-growing poplars and willows is ecologically and environmentally advantageous for wood energy production. Short rotation coppice plantations (SRC) are seen as one of the potentially most successful methods for the production of utilizable biomass for wood and energy, whereby their importance will increase in future. Through the intensified large-scale cultivation of poplar in short rotation coppice plantations, the narrow genetic base of the reproductive material available to date represents enormous economic risks in SRC-plantation management. Due to the genetic susceptibility to disease and lack of adaptability of the poplar clones previously used on SRC, poplar leaf rust as plant pathogens won in recent decades increasingly importance. Therefore the aim of the FastWOOD sub-project of the Northwest German Forest Research Station (NW-FVA) is to breed black poplar and balsam poplar suitable for biomass production in short rotations, optimized not only for highest volume production, but also for higher tolerance to plant pathogens such as the

poplar leaf rust, in particular the species *Melampsora larici-populina.* On the one hand, leaf rust resistance has already been considered in the selection of parents. One the other hand already from seedling stage, the susceptibility to poplar leaf rust is assessed and new breeding progeny is selected based on their tolerance characteristics. Reliable knowledge about the suitability of the newly bred clones is attained, however, only when the selected clones are exposed to a broad range of site and climate conditions on study areas distributed throughout Germany and hence to the different pathotypes of the poplar leaf rust *Melampsora larici-populina*. For this reason the resistance characteristics in the field of all new black and balsam poplar clones on study sites investigated in the joint research project FastWOOD are assessed annually, commencing the year after planting. These investigations provide a first insight into the resistance behavior of the tested top performer and illustrate the importance of leaf rust tolerance for biomass performance power of black and balsam poplar in short rotation coppices.

Keywords: poplar, SRC, poplar leaf rust, *Melampsora larici-populina*

Einleitung

Gegenüber landwirtschaftlich erzeugten, nachwachsenden Rohstoffen wie Mais, Getreide oder Raps hat die Verwendung von Pappeln auf KUP in verschiedenen Bereichen große Vorteile. So zeigen die Pappeln bereits in den ersten Standjahren einen hohen Massenzuwachs. Weiterhin sind die die CO2-Vermeidungskosten von mit Pappeln bestandenen Kurzumtriebsplantagen sehr niedrig bei gleichzeitig hoher CO2-Vermeidungsleistung (Anonymus 2007). Diese forstlich erzeugten nachwachsenden Rohstoffe weisen zusätzlich eine deutlich bessere Energieumwandlungsrate als die landwirtschaftlich erzeugten, nachwachsenden Rohstoffe auf und nicht zuletzt ist die naturschutzfachliche Bewertung dieser Flächen besser als die vieler anderer landwirtschaftlicher Nutzungsformen (Janssen et al. 2012). Momentan werden überwiegend lediglich 6 Klone ('Max 1', 'Max 3', 'Max 4', 'Hybride 275', 'Muhle Larsen' und 'Androscoggin') auf Kurzumtriebsflächen angepflanzt (Janssen et al. 2012). Durch die eingeschränkte genetische Basis und die mangelnden Toleranzeigenschaften dieser wenigen kommerziell erhältlichen Pappelklone ist das Risiko stark angestiegen, dass Pflanzenpathogene an Bedeutung gewinnen und die Betriebssicherheit der KUP gefährdet wird. Das Teilprojekt 1 (NW-FVA) konzentriert sich bei den Resistenzuntersuchungen unter anderem auf den Erreger des Pappelblattrosts, den Pilz *Melampsora larici-populina*. Durch die hohe Adaptionsfähigkeit dieses Rostpilzes können sich innerhalb weniger Jahre Melampsora-Rassen auf den Kurzumtriebsflächen etablieren, die eine spezifische Virulenz für die vorwiegend angepflanzten Genotypen besitzen (M. Steenackers, INBO, mdl. Mitteilung). Der Pilz kann extreme Schädigungen der Blattoberfläche verursachen, wodurch es zu starken Zuwachsverlusten, zu verfrühtem Blattverlust und infolgedessen zur Schwächung der Pappeln kommt. Diese Beeinträchtigungen führen zu einer Erhöhung der Krankheitsdisposition gegenüber Sekundärschädlingen und Folgeerkrankungen wie dem Pappelrindenbrand, der Blattfleckenkrankheit oder dem Pappelkrebs und erhöhen damit die Wahrscheinlichkeit, dass die betroffenen Pflanzen absterben. Aufgrund des immer größer werdenden Gefahrenpotentials durch den Pappelblattrost für die Zuwachsleistung der Klone und die Betriebssicherheit der Kurzumtriebsplantagen werden alle in FastWOOD gezüchteten Schwarz- und Balsampappeln auf ihre Toleranzeigenschaften gegenüber diesem wichtigen Pflanzenpathogen getestet. Um die von uns gezüchteten Genotypen möglichst universell über das Bundesgebiet anbauen zu können, ist es daher wichtig, die in Deutschland vorkommenden Pathotypen des Pappelblattrostes *Melampsora larici-populina* und ihr Vorkommen im Bundesgebiet möglichst genau zu charakterisieren, um mit den neuen Sorten auch detailliertere Anbauempfehlungen an die Praxis geben zu können. Die Arbeit des Teilprojektes 1 fokussiert somit auf gerichteten Züchtungsbemühungen nicht nur auf gesteigerte Biomasseleistung sondern auch auf größtmögliche Toleranz der neuen Pappelklone gegenüber *Melampsora larici-populina* sowie der Kontrolle und Verifizierung der Sensibilitätsreaktionen der selektierten Leistungsträger.

Material und Methoden

Standorte und Versuchsflächenaufbau

Im Verbundprojekt FastWOOD konnten vom Teilprojekt 1 seit 2010 insgesamt 13 Versuchsflächen mit drei Prüfgliedserien von Schwarz- und Balsampappelklonen angelegt werden (Abb. 1). Informationen zu den einzelnen Standorten der Versuchsflächenserien 2010 und 2011 können dem Beitrag von Janssen et. al. (2012) entnommen werden. Für die Versuchsflächenserie 2013 wurde ein küstennaher Standort mit atlantisch geprägtem Klima in Bardowick (Niedersachsen, NI), ein Mittelgebirgsstandort in Stiedenrode (Hessen, HE) und ein trockener Standort mit kontinental geprägtem Klima in Graupa (in Kooperation mit Teilprojekt 3, Staatsbetrieb Sachsenforst, Sachsen, SN) ausgewählt. Die Versuchsflächen der Serien 2010, 2011 und 2013 wurden nach einheitlichem Muster, in Anlehnung an das Parzellendesign des „ProLoc"-Verbundprojektes gestaltet (Hofmann et al. 2012, Janßen et al. 2012). Im Jahr 2014 wurde eine Versuchsfläche mit den Leistungsträgern der Versuchsflächenserien 2010, sechs Standartklonen und vier Weidenklonen in Seeburg (Niedersachsen, gemäßigtes Mittelgebirgsklima) angelegt. Diese Versuchsfläche zielt auf Eignungsuntersuchungen der Klone im Maxirotationsverfahren ab und unterliegt daher einem modifizierten Versuchsflächendesign. Die Einzelparzellen besitzen eine Größe von 24 m x 16 m .Je Parzelle wurden 48 einjährige Steckruten in einem Verband von 4 m x 2 m mit einer Pflanztiefe von 1,5 m ausgebracht.

Abb. 1: Geographische Lage aller durch das Teilprojekt 1 mit Schwarz- und Balsampappeln angelegten Versuchsflächen

Pflanzenmaterial

Die Untersuchungen des Blattrosttoleranzverhaltens wurden an insgesamt 92 Pappelklonen der Sektionen Aigeiros und Tacamahaca durchgeführt. Die gezielten Kreuzungen basieren vor allem auf den Arten Populus nigra, P. deltoides, P. trichocarpa und P. maximowiczii. Das Untersuchungs-

material enthält 70 Neusorten aus intra- sowie intersektionellen Kreuzungen, einen neuen P. maximowiczii sowie 7 neue P. trichocarpa-Klone. Weiterhin wurden drei, in 2010 neu zugelassene Klone ('Matrix 11', 'Matrix 24' und 'Matrix 49') und elf Standard-Klone in die Untersuchungen mit einbezogen. Um eine bestmögliche Verzahnung mit dem Verbundvorhaben Proloc zu gewährleisten, sind die auf den Proloc-Flächen angepflanzten drei Pappelklone 'AF 2', 'Max 1' und 'Hybride 275' auch im Set der von FastWOOD verwendeten Standard-Klone enthalten. Informationen zu den untersuchten Klonen können Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 3: Aufstellung des zur Untersuchung des Blattrostresistenzverhaltens verwendeten Klonmaterials auf den Versuchsflächen des Teilprojekts 1

Sektion	Kreuzung	Anzahl Prüfglieder	Klon-Name
Aigeiros	P. deltoides x P. nigra	3	'AF 2', 'Robusta', 'Rochester'
Aigeiros	P. deltoides (freie Abblüte)	2	
Tacamahaca	P. maximowiczii	1	
Tacamahaca	P. maximowiczii (freie Abblüte)	26	
Tacamahaca	P. maximowiczii x P. trichocarpa	31	u. A. 'Androscoggin', 'Hybride 275', 'Matrix 11', 'Matrix 24', 'Matrix 49'
Tacamahaca	P. (P. maximowiczii x P. berolinensis) x P. trichocarpa	1	
Tacamahaca	P. trichocarpa	12	u. A. ,'Brühl 8', 'Muhle Larsen', 'Trichobel', 'Weser 4', 'Weser 6'
Tacamahaca	P. trichocarpa x P. koreana	1	
Tacamahaca	P. (P. trichocarpa x P. koreana) x P. maximowiczii	2	
Intersektionell	P. x generosa (freie Abblüte)	1	
Intersektionell	P. maximowiczii x P. nigra	2	
Intersektionell	P. nigra x P. laurifolia	1	
Intersektionell	P. nigra x P. maximowiczii	2	'Max 1', 'Max 3'
Intersektionell	P. (P. nigra x P. maximowiczii) x P. maximowiczii	1	
Intersektionell	P. trichocarpa x P. deltoides	3	
Intersektionell	P.(P trichocarpa x P. deltoides) x P. maximowiczii	3	

Aufnahme der Feldtoleranzeigenschaften

Alle auf den dreizehn angelegten Versuchsflächen befindlichen Klone wurden aufgrund des Entwicklungszyklus des Pilzes (siehe FEY-WAGNER et al., 2012) jährlich Ende August/Anfang September auf ihren Blattrostbefall hin bonitiert. Bereits ab dem jeweiligen Anlagejahr der Versuchsflächen-serien wurden alle Prüfglieder auf ihren Pappelblattrostbefall hin überprüft. Für die Erfassung der Befallsstärke wurde ein vom INBO (Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Belgien) und der INRA (Institute National de la Recherche Agronomique, Frankreich) entwickeltes Bewertungsschema (Tabelle 2) angewendet. Die Charakterisierung des Befallsgrades erfolgt über eine Baumbonitur bei der die Stärke des Blattrostbefalls anhand des Schadbildes der gesamten Pflanze eingeschätzt wird (Tabelle 2). Die Boniturdaten wurde parzellenweise über alle Wiederholungen erfasst, sodass für jeden Klon ein durchschnittlicher Befallsgrad je Fläche errechnet werden konnte. So wurden auf der steigen Anzahl von Versuchsflächen jährlich zwischen 1.361 und 2.393 Parzellen und in jeder Parzelle

4 Einzelbäume auf ihren Blattrostbefall hin bonitiert. Mit *Melampsora larici-populina* befallene Blätter wurden während der Bonituren eingesammelt.

Tabelle 4: INBO Baum-Bonitursystem für Pappelblattrost (*Melampsora larici-populina*)

Boniturnote	Beschreibung
1	keine Uredinien
1,25	am ganzen Baum nur ein paar Uredinien, schwer zu finden
1,5	schwache Infektion der Blätter bis in 25 % der gesamten Baumhöhe
2	leicht zu detektierende Infektion der Blätter bis in 50 % der gesamten Baumhöhe, darüber schwer zu finden, aber vorhandene Infektion
2,5	Infektion der Blätter bis in 75 % der gesamten Baumhöhe
3	Infektion des gesamten Baumes, aber Blätter sind noch nicht verbräunt
3,5	Infektion des gesamten Baumes und beginnende Verbräunung der unteren Blätter
4	Infektion des gesamten Baumes, Verbräunung der unteren 25 % der Blätter
4,5	Infektion des gesamten Baumes, Verbräunung der unteren 50 % der Blätter und beginnender Blattverlust
5	starke Infektion des gesamten Baumes, bis zu 50 % Blattverlust
5,5	starke Infektion des gesamten Baumes, bis zu 80 % verbräunte /abgefallene Blätter, nur wenige an der Triebspitze noch grün
6	alle Blätter abgefallen

Ergebnisse

Versuchsflächen-Serie aus dem Anlagejahr 2010

Der Vergleich der Flächen-Mittelwerte der Blattrostbonitur der sechs durch FastWOOD im Jahr 2010 angelegten Schwarz- und Balsampappelversuchsflächen zeigt, dass während der ersten Rotationsphase vom Anlagejahr 2010 bis zur ersten Ernte im Jahr 2012 vier der sechs Versuchsflächen deutlich unter dem Gesamtmittel (mittlere Boniturnote 2,19, Abb. 2) aller Flächen lagen. Die beiden südlichsten Versuchsflächen entsprechen dem Gesamtmittel (Lehmbach in Bayern, BY) beziehungsweise liegen weit darüber (Emmendingen, Baden-Württemberg, BW). Die Versuchsflächen in Niedersachsen (NI), Sachsen-Anhalt (ST), Hessen (HE) und auch BY wiesen während der Rotationsphase sehr ähnliche Befallsintensität auf. Auf der östlichsten Versuchsfläche in Sachsen (SN) wurde im gesamten Beobachtungszeitraum der deutlich geringste Befallsgrad im Vergleich aller Flächen festgestellt (Abb. 2).

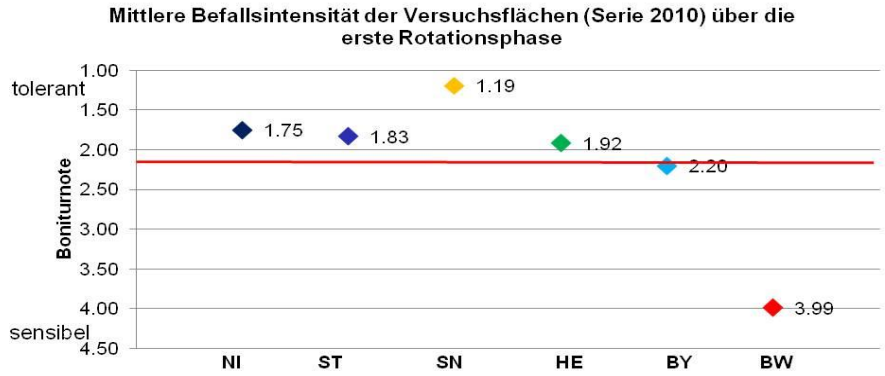


Abb. 2: Vergleich der mittleren Blattrostinfektionsstärken der Versuchsflächen aus dem Anlagejahr 2010 über die gesamte erste Rotationsphase (2010-2012) hinweg

Der Vergleich des Flächen-Mittelwertes jedes einzelnen Standjahres der sechs Versuchsflächen der ersten Serie zeigt, dass die Befallsintensitäten ab dem Anlagejahr kontinuierlich anstiegen (Abb. 3). Das dritte Standjahr (2012) erwies sich als das Jahr in dem mit Abstand der stärkste Blattrostbefall auftrat. Lediglich die nördlichste Versuchsfläche in NI und die südliche Versuchsfläche in BY waren im zweiten Standjahr (2011) geringfügig stärker befallen als im dritten Jahr des Monitorings. Die Infektionsstärke auf der Versuchsfläche in BW war bereits im Jahr der Anlage stärker als auf allen anderen Standorten der Serie, wohingegen auf der östlichsten Fläche in SN der geringste Befall verzeichnet wurde. Diese Befunde setzten sich über die gesamte Rotationsphase hinweg fort. Dabei war die Amplitude der Befallsintensitäten in den einzelnen Jahren auf der Versuchsfläche in NI am größten, die der Versuchsfläche in HE am geringsten. Die östlichste Versuchsfläche in SN zeigt mit Abstand sowohl in der Annuität als auch im Gesamtmittel den geringsten Befall der Pappeln mit *Melampsora larici-populina* (Abb. 3). Bis auf die Versuchsflächen in HE und SN stieg die durchschnittliche Boniturnote auf allen Flächen um mindestens eine Stufe an. Die südlichsten Flächen in BY und BW zeigten im Vergleich die höchste Steigerung der Befallsintensität. Im Jahr nach der Ernte (2013, einjähriger Aufwuchs auf dreijähriger Wurzel, Blattrost etabliert) wurde auf den Versuchsflächen der ersten Serie ein starker Rückgang der Blattrostinfektion, teilweise sogar unter das Niveau des Etablierungsjahres 2010, festgestellt.

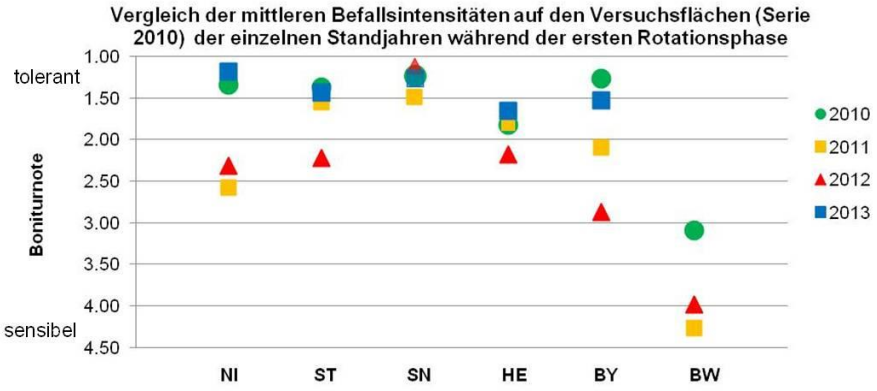


Abb. 3: Vergleich der mittleren Blattrostinfektionsstärken der Versuchsflächen aus dem Anlagejahr 2010 in den einzelnen Standjahren der ersten Rotationsphase (2010-2012).Zusätzlich sind die Daten des Jahres nach der ersten Ernte (2013) dargestellt

Versuchsflächen-Serie aus dem Anlagejahr 2011

Auch die zweite Versuchsflächenserie aus dem Anlagejahr 2011 hat mit der Ernte der Prüfglieder im Winter 2013/2014 ihre erste Rotationsphase vollendet. In dieser Serie wurden drei Versuchsflächen in ST, HE und BY angelegt. Bei dieser Versuchsfläche-Serie zeigte sich, analog zur Serie 2010, das die Befallsstärke der nördlichen Versuchsflächen (ST, HE) geringer, die der südlichen Versuchsfläche (BY) stärker als das Gesamtmittel (1,31) war (Abb. 4). Auch hier zeigten die nördlichen Versuchsflächen sehr ähnliche, stark von der südlichen Versuchsfläche abweichende Versuchsflächenmittel.

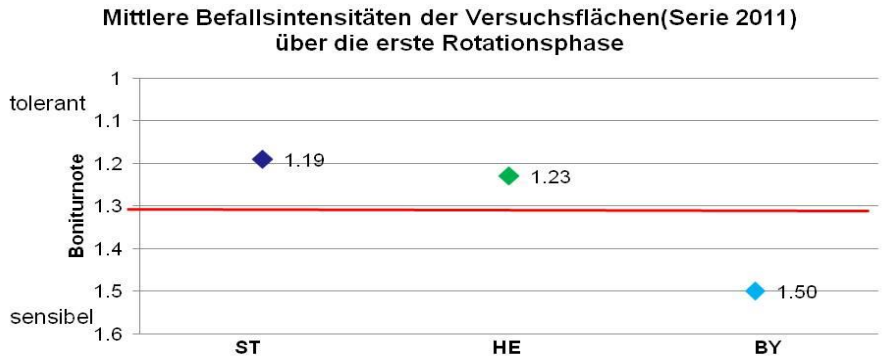


Abb. 4: Vergleich der mittleren Blattrostinfektionsstärken der Versuchsflächen aus dem Anlagejahr 2011 über die gesamte erste Rotationsphase (2011-2013) hinweg

Der Vergleich der Flächen-Mittelwerte der einzelnen Standjahre der drei in 2011 angelegten Versuchsflächen zeigt, dass die Befallsintensitäten auf allen Flächen vom ersten zum zweiten Standjahr stark anstiegen (Abb. 5). Die Befallsstärke im dritten Standjahr (2012) sank auf den beiden nördlichen Versuchsfläche (ST, HE) nur geringfügig, auf der Versuchsfläche in BY fiel sie jedoch unter den Wert des Etablierungsjahres. Wie auch auf den Versuchsflächen aus der ersten Serie (2010) wurde in dieser zweiten Versuchsflächen-Serie auf der südlichsten Versuchsfläche (in dieser Serie BY) von Beginn an, über die gesamte Rotationsphase hinweg, ein wesentlich stärkerer Befall mit *Melampsora larici-populina* als auf den nördlichen Versuchsflächen festgestellt. Die Amplituden der Befallsintensität sind auf den beiden nördlichen Versuchsflächen (ST; HE), analog zur ersten Serie aus 2010, sehr ähnlich und geringer als die der Versuchsfläche in BY (Abb. 5).

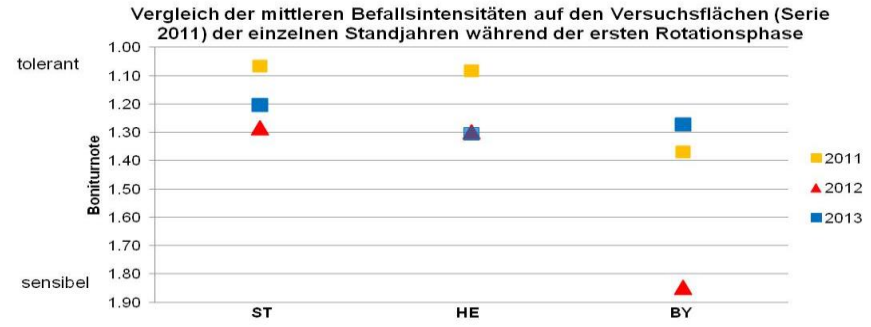


Abb. 5: Vergleich der mittleren Blattrostinfektionsstärken der Versuchsflächen aus dem Anlagejahr 2011 in den einzelnen Standjahren der ersten Rotationsphase (2011-2013)

Der Vergleich der beiden Versuchsserien aus 2010 und 2011 zeigt, dass die Befallsstärke auf den in 2011 angelegten Versuchsflächen sowohl im Gesamtmittel (2010: 2,19; 2011: 1,31) als auch auf jeder einzelnen Versuchsfläche geringer war als auf den Flächen vergleichbarer Standorte der Serie 2010. Die Differenzierung der Befallsstärken der Versuchsflächen in BY / BW gegenüber den Versuchsflächen in NI, ST, SN und HE konnte bei beiden Versuchsflächen-Serien festgestellt werden. Im Jahr 2013 zeigten die Klone in beiden Serien, auf allen Versuchsflächen sehr wenig Blattrostbefall. Da sich das Alter der Pflanzen der beiden Serien zu diesem Zeitpunkt unterscheidet (Serie 2010: einjähriger Aufwuchs nach der Ernte; Serie 2011: dreijährige Pflanzen), scheint die geringe Infektionsintensität der Klone mit *Melampsora larici-populina* hauptsächlich auf die klimatischen Bedingungen in diesem Jahr zurückzuführen.

Vergleich der Feldtoleranzeigenschaften der Pappelklone auf den Versuchsflächen

Versuchsflächen-Serie aus dem Anlagejahr 2010

Die Untersuchungen zeigen, dass der Pappelblattrostbefall der einzelnen Klone einer Fläche zwischen den Standjahren zum Teil deutlich differiert. Exemplarisch sind in Abbildung 6 Ergebnisse des Rostbefalls auf der Fläche in BW, d. h. der Fläche, die den stärksten Blattrostbefall aufwies, dargestellt. Die Fläche wurde im Frühjahr 2010 etabliert und Anfang September desselben Jahres zum ersten Mal auf den Blattrostbefall hin untersucht. Die auf der Versuchsfläche befindlichen Klone wurden in den Abbildung 6 in Sektionen gruppiert und nach Arten und Hybriden zusammengestellt. Es wird deutlich, dass im Etablierungsjahr die Amplitude der Befallsstärke unabhängig von Art oder Hybride jeweils am größten ist (Mittelwerte der Boniturnoten zwischen 1,1 und 4,8). Im zweiten Standjahr konsolidieren die Werte auf hohem Niveau (mittlere Boniturnoten zwischen 3,5 und 5,4). Im letzten Standjahr der ersten Rotationsphase (2012) behält der Infektionsgrad das hohe Niveau bei. Jedoch ist zu beobachten, dass die Amplitude der Befallsstärken bei den Klonen der Art *P. trichocarpa* deutlich geringer als im Vorjahr und auch im Vergleich zu allen anderen Gruppen, ist. Bei allen anderen Gruppen wurde die geringste Amplitude im Jahr 2011 festgestellt, welche sich im letzten Standjahr dieser Rotationsphase, wenn auch teilweise nur leicht, wieder erhöht.

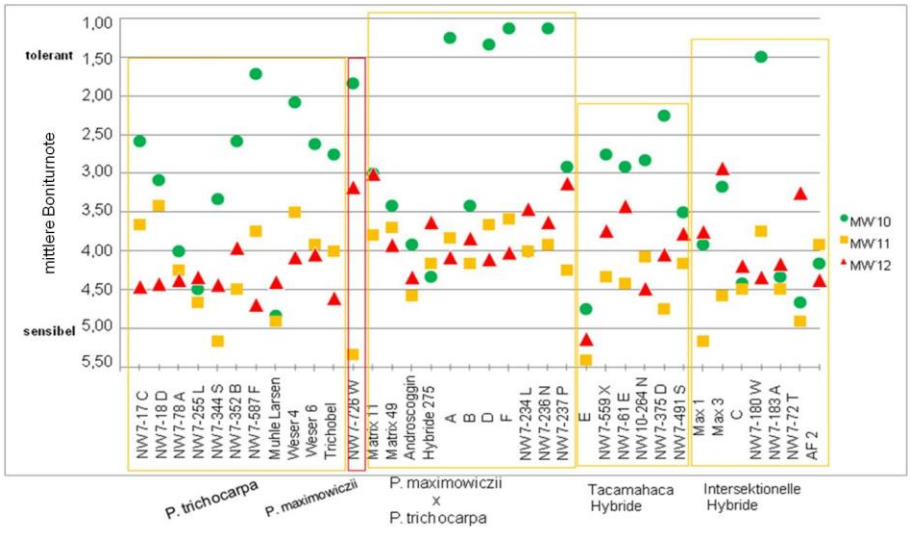


Abb. 6: Vergleich des Pappelblattrostbefalls der einzelnen Klone der Serie 2010 auf der Versuchsfläche in BW während der ersten Rotationsphase anhand der durchschnittlichen Baumboniturnote

Versuchsflächen-Serie aus dem Anlagejahr 2011

Um das Blattrosttoleranzverhalten der Klone aus der Serie 2011 zu verdeutlichen, sind in Abbildung 7 exemplarisch die mittleren Boniturnoten auf der Versuchsfläche in BY dargestellt. Auch hier wurden die auf der Versuchsfläche befindlichen Klone in Sektionen gruppiert und nach Arten und Hybriden zusammengestellt. Im Zeitraum der Beobachtungen der ersten Rotationsphase dieser Serie blieb, im Gegensatz zur Serie 2010, der Eindruck einer schrotschussartigen Verteilung der Befallsstärken der einzelnen Klone im Anlagejahr aus. Auch zeigten die Klone dieser Serie nicht im Etablierungsjahr, sondern erst im zweiten Standjahr die größte Amplitude der Boniturnoten (Mittelwerte der Boniturnoten zwischen 1 und 3,7). Die Befallsstärke der gesamten Serie ist im Vergleich zur Serie 2010 jedoch deutlich geringer. In den einzelnen Gruppen wurden Klone teilweise bis zu 4 Boniturnoten besser als Klone der entsprechenden Gruppe aus der Serie 2010 bewertet. In der Serie 2011 sind einige Klone aus freier Abblüte (fA) enthalten. Die Identifikation der Vater-Arten dieser Klone mittels eines in FastWOOD entwickelten Sets aus Mikrosatellitenmarkern war jedoch zum Zeitpunkt der Veröffentlichung noch nicht abgeschlossen. Die Klone dieser Gruppen wiesen im Zeitraum des

Monitorings jeweils sehr ähnliche und zugleich die geringsten Befallsintensitäten auf der Versuchsfläche auf. Bis auf die Klone der Gruppe P. deltoides x fA fiel auch bei dieser Serie im Jahr 2013 die Befallsintensität teilweise stark unter das Niveau des Etablierungsjahres. Da die Versuchsflächen der Serien 2010 und 2011 in ST und BY direkt nebeneinander liegen, ist eine sehr gute Vergleichbarkeit in Bezug auf das Regionalklima und den Infektionsdruck gegeben. Leichte Abweichungen im Mikroklima sind jedoch nicht auszuschließen. Zu erwarten war, das der Infektionsdruck des Pappelblattrosterregers *Melampsora larici-populina* auf den 2011er Versuchsflächen vom Anlagejahr an höher war als im Anlagejahr der Versuchsflächen aus 2010, da der Pilz bereits auf den direkt benachbarten Versuchsflächen der Serie 2010 etabliert war. Somit ist die geringere Befallsintensität der Klone der Versuchsflächenserie 2011 mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Kloneffekte, evtl. beeinflusst von mikroklimatischen Gegebenheiten, zurückzuführen.

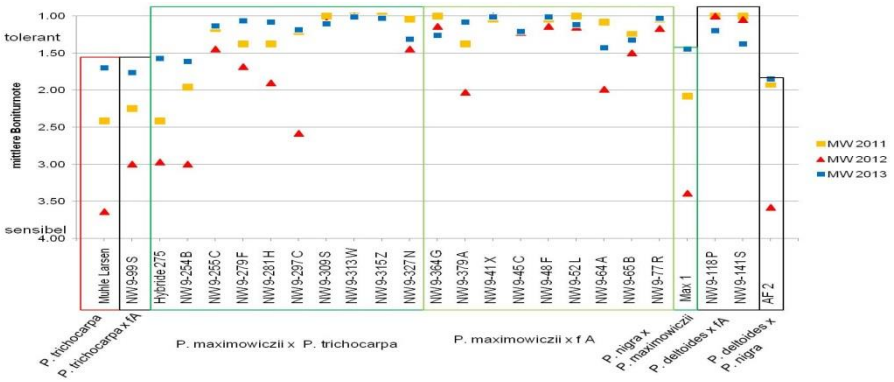


Abb. 7: Vergleich des Pappelblattrostbefalls der einzelnen Klone der Serie 2011 auf der Versuchsfläche in BY während der ersten Rotationsphase anhand der durchschnittlichen Baumboniturnote

In Abbildung 8 sind neben den altbekannten und häufig angebauten Klonen, welche auf den FastWOOD-Versuchsflächen als Standards verwendet werden und den 2010 neu zugelassenen Matrix-Klonen die Klone der ersten Versuchsserie (Anlagejahr 2010) mit der besten Massenleistung (PG A-F) dargestellt. Die Abbildung stellt den Vergleich des Blattrostbefalls mit der während der ersten Rotationsphase erbrachten Massenleistung dar. Es zeigt sich eine deutliche Korrelation dieser beiden Indices. Die altbekannten Klone Max 1, AF 2 und Hybride 275 weisen den geringsten Massenzuwachs der dargestellten Klone auf, zugleich erwiesen sich diese Klone als sehr sensibel gegenüber dem Pappelblattrost. Mittlere Blattrostbefallsintensitäten wiesen Klone auf, deren Masseleistung sich ebenfalls im Mittelfeld der hier verglichenen Klone befindet. Die Spitzenleistungsklone mit der höchsten Masseleistung während der ersten Rotationsphase erwiesen sich auch in Bezug auf ihre Blattrosttoleranz als sehr gut. Ob sich diese Tendenz der engen Korrelation dieser beiden wichtigsten Indices fortsetzt wird mit den Ergebnissen der Massenleistung / Blattrosttoleranzuntersuchungen aus der zweiten Rotationsphase in der erwarteten dritten Projektphase des Verbundprojektes FastWOOD deutlich werden.

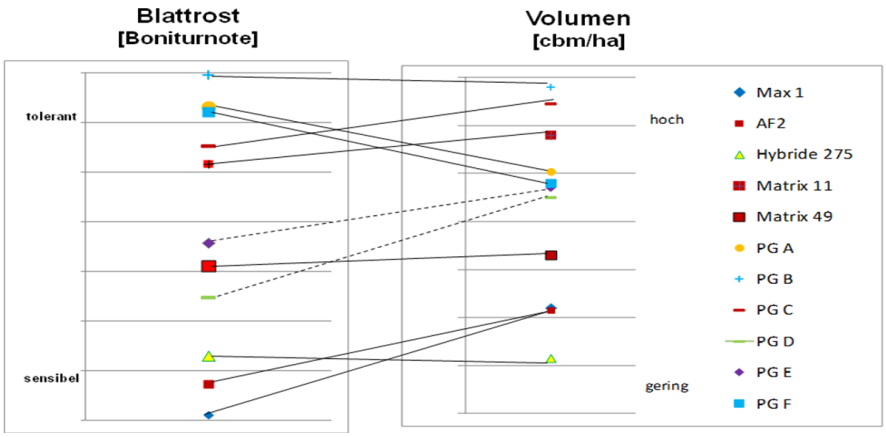


Abb. 8: Vergleich der Massenzuwachsleistung und des Toleranzverhaltens gegenüber dem Pappelblattrost von ausgewählten Klonen sowie Standards der Versuchsflächenserie aus dem Anlagejahr 2010

Schlussfolgerungen

Aufgrund des immer größer werdenden Gefahrenpotentials des Pappelblattrosts für die Zuwachsleistung der Klone und die Betriebssicherheit der Kurzumtriebsplantagen sind die Züchtungsbemühungen des Teilprojekts 1 im Verbundprojekt FastWOOD auf die Zulassung neuer Schwarz- und Balsampappelsorten mit verstärkten Toleranzeigenschaften gegenüber dem in Deutschland vorherrschenden Erregers des Pappelblattrost, *Melampsora larici-populina*, ausgerichtet. Auf die Komplexität von sektions-, art- und sogar klonabhängigem Toleranzverhalten gibt es durch die bisher getesteten Schwarz- und Balsampappeln nur initiale Informationen. Die Stärke des Einflusses zusätzlicher Faktoren wie Klimabedingungen oder Standortgegebenheiten darf in Bezug auf die Pflanzenpathogenuntersuchungen auch nicht unterschätzt werden. Jedoch ergaben sich durch die Untersuchungen einige vielversprechende Hinweise, die in die weiteren Züchtungsbemühungen einfließen und auch die zur Erstellung detaillierter Anbauempfehlungen benötigten Kenntnisse weiter verfeinern. Die Beobachtungen der Blattrosttoleranzeigenschaften der Klone der beiden ersten Versuchsflächenserien dokumentiert, dass das kontinuierliche und intensive Blattrost-Monitoring über den gesamten, bis zur Zulassung nötigen Zeitraum durchgeführt werden muss, um gesicherte Ergebnisse zu erzielen.

Damit konnten die Instrumente zur Beurteilung der neuen Hochleistungsklone und Erstellung detaillierter Anbauempfehlungen für die Praxis weiter verfeinert und konkretisiert werden, was die Kenntnissen zur Leistungsabschätzung und Erstellung von Betriebssicherheitsprognosen neu anzulegender Kurzumtriebsplantagen immer weiter verbessert.

Literatur

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

Fey-Wagner C, Klippert N, Janßen A, 2012: Untersuchungen zur Pathotypenstruktur des Pappelblattrosts *Melampsora larici-populina* auf neu angelegten Versuchsflächen mit Schwarz- und Balsampappeln und ihre Bedeutung für den Kurzumtrieb. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8: 219-235.

Hofmann M, Amthauer-Gallardo D, Siebert C, 2012: Verbundvorhaben ProLoc – Klon - Standort – Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8: 9-20.

Janßen A, Fehrenz S, Fey-Wagner C, Hüller W, 2012: Züchtung von Schwarz- und Balsampappeln für den Kurzumtrieb. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8: 33-54.

Karten-Lizenz:
Diese Landkarte ist lizensiert unter der Creative Commons Attribution 3.0 Licence (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/).
Bitte das GinkgoMaps-Projekt als Quelle zitieren bzw. darauf verlinken (http://www.ginkgomaps.com).

Parameter und verwendete Daten:
Karten Projektion: Lambert (flächentreu); Zentrum: lat 51.17°; lon 10.45°; Vektordaten: GSHHS und politische Ländergrenzen aus GMT (gmt.soest.hawaii.edu);
Rasterdaten: 30sec DTM-Kombination von GTOPO30, ICBAO, TOPO6.2 und ETOPO5 hergestellt von Geoware (http://www.geoware-online.com)

Korrespondierende Autorin:
Christina Fey-Wagner
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
34346 Hann. Münden
christina.fey-wagner@nw-fva.de

Trockenheits- und Frostresistenz – Untersuchungsmethoden und Ergebnisse

Kai-Uwe Hartmann, Marek Schildbach, Heino Wolf

Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS), Graupa

Zusammenfassung

Die Trockenheits- und Frosttoleranz von Nachkommenschaften und Klonen schnellwachsender Baumarten stellen ein entscheidendes Kriterium für deren Anbaueignung in Kurzumtriebsplantagen dar. Vor diesem Hintergrund erfolgten im Verbundvorhaben FastWOOD umfangreiche Untersuchungen zur Beurteilung dieser Resistenzkriterien. Dazu wurden verschiedene Methoden und Verfahren getestet, deren Vor- und Nachteile bewertet und Neuzüchtungen bzw. Sorten der Gattung *Populus* geprüft.

Die Untersuchungen zur Trockenheitsresistenz umfassten Bonituren von Trockenschäden auf Versuchsflächen, Austrocknungsversuche im Gewächshaus sowie die Bestimmung der hydraulischen Leitfähigkeit im Labor. Die Ermittlung der Frostresistenz erfolgte mit Hilfe von Austriebs- und Triebabschlussbonituren sowie Frosttests in der Klimakammer. Die angewandten Verfahren erlauben umfassende Aussagen zu den beiden Resistenzkriterien. Dabei verspricht die Kombination aller Verfahren den größten Erfolg, da hierbei sowohl Aussagen zu pflanzenphysiologischen Reaktionen als auch zu strukturellen Parametern getroffen werden können.

Sowohl bei der Trockenheits- als auch der Frostresistenz bestehen klonspezifische Unterschiede der untersuchten Pflanzen. Die Reaktion auf Trockenheit ist dabei sehr stark von Zeitpunkt des Auftretens abhängig. Wassermangel nach der Pflanzung sowie im späten Frühjahr führt zu den größten Schäden. Geringe Niederschläge im Zeitraum April bis Juni reduzierten den Zuwachs um bis zu 50 %. Die Rangfolge der Klone bei Austrocknungsversuchen im Gewächshaus korreliert mit der Anwuchsrate bei Trockenheit auf den Versuchsflächen. Zudem zeigt sich die Tendenz, dass empfindlichere Klone eine geringere Eingangsleitfähigkeit aufweisen als resistentere Klone.

Die Anfälligkeit gegenüber Früh- als auch Spätfrösten wird einerseits vom jeweiligen Triebabschluss- oder Austriebsstadium bestimmt. Andererseits besteht auch innerhalb einer Boniturstufe eine klonspezifische Variation des Schädigungsgrades.

Die bisherigen Ergebnisse werden in einem Übersichtskatalog zur Frost- und Trockenheitsresistenz der untersuchten Klone zusammengefasst. Dieser ermöglicht, Neuzüchtungen und Sorten nach ihrer Widerstandsfähigkeit gegenüber extremen (Standorts-) Witterungsverhältnissen einzuordnen und danach deren Anbaueignung zu beurteilen.

Schlüsselworte: Pappel, Trockenheit, Frost, Resistenz, Kurzumtrieb

Abstract

Drought and frost resistance – methods of analyses and results

The drought and frost tolerance of progeny and clones of fast growing tree species are an essential criterion for their suitability for cultivation in short-rotation plantations. Against this background, extensive studies were done to evaluate these resistance criteria in the joint project FastWOOD. Therefore various methods and techniques were tested and evaluated regarding their advantages and disadvantage. New breeds or varieties of the genus *Populus* were tested using the most suitable methods.

The studies on drought resistance included the assessment of drought damages on experimental trial plots, dehydration experiments in the greenhouse and the determination of hydraulic conductivity in the laboratory. The frost resistance was determined by the assessment of flushing and shoot growth cessation. Additional frost tests were used to investigate the extent of damage after impact of frost. The results allowed comprehensive statements about the resistance criteria of the material used. The combination of all parameters will guarantee sound information on the physiological responses of the plants and structural parameters.

Clone-specific differences existed both in the drought as well as in the frost resistance. The response to drought was highly dependent on the time of occurrence. Lack of water after planting and in late spring caused the most serious damage. Low rainfall in the period April to June reduced the annual increment up to 50%. In the greenhouse experiments, the ranking of the clones related to desiccation correlated with the survival rate after drought on the experimental plots. In addition, there was a tendency that sensitive clones had a lower initial conductivity than more resistant clones.

Susceptibility to early and late frost was determined by the specific flushing and shoot growth cessation date on the one hand. On the other hand, a clone specific variation of the degree of damage could be found also within a certain assessment stage.

The results so far are summarized in a review catalogue for frost and drought resistance of the clones examined. The catalogue allows the classification of new varieties and clones according to their resistance to extreme weather conditions and afterwards the assessment of their suitability for cultivation.

Keywords: Poplar, drought, frost, resistance, short rotation

Einleitung

Für einen betriebswirtschaftlich erfolgreichen Anbau neugezüchteter Klone schnellwachsender Baumarten ist neben dem Ertragspotential und der Resistenz gegenüber biotischen Schadfaktoren deren abiotische Resistenz von entscheidender Bedeutung. Bedingt durch die zu verzeichnenden Klimaänderungen wird dabei die Toleranz gegenüber Trockenheit und Frost als Auswahlkriterium eine zunehmende Rolle spielen. Als Beispiel hierfür sei auf die Zunahme der Durchschnittstemperaturen und den Rückgang der Niederschlagssummen vor allem in den Sommermonaten verwiesen (Rapp und Schonwiese 1996, Küchler und Sommer 2005). Darüber hinaus können auch weiterhin Früh- und Spätfröste auftreten. Bei Verwendung von nicht angepassten Klonen führen Schädigungen durch Trockenheit und Frost zu Zuwachsverlusten oder Ausfällen. Durch Ausbringung von getestetem Pflanzenmaterial kann dieses betriebswirtschaftliche Risiko vermindert werden.

Vor diesem Hintergrund wurden im Projekt FastWOOD neugezüchtete Klone auf ihre Trockenheits- und Frostresistenz geprüft, um einerseits ungeeignete Klone auszulesen und andererseits Anbauempfehlungen für geeignete Neukreuzungen geben zu können. Gleichzeitig bestand die Möglichkeit, besonders resistente Klone zur Verwendung für weitere Züchtungsarbeiten, die auf eine Erhöhung der Trockenheits- und Frostresistenz abzielen, zu selektieren.

Im folgenden Beitrag wird zunächst ein Überblick über die angewandten Untersuchungsmethoden gegeben. Ziel ist es, die Problematik und Herangehensweise bei der Bearbeitung des Themas zu vermitteln. Im Ergebnisteil werden am Beispiel von Neuzüchtungen erste klonspezifische Daten, die auf der Grundlage der Untersuchungen abgeleitet werden können, präsentiert.

Material und Methoden

Problemstellung

Exakte Aussagen zur Trockenheits- und Frostresistenz können in der Natur nur bei Eintreten eines Schadereignisses getroffen werden. Im Projekt FastWOOD handelt es sich bei den zu prüfenden Klonen um Neuzüchtungen, somit konnte nicht auf bereits existierende Ergebnisse zurückgegriffen werden. Untersuchungen gestalten sich deshalb schwierig. Um dennoch zeitnah eine Einordnungen des zu prüfenden Materials bezüglich der Resistenzkriterien treffen zu können, wurde eine Kombination aus direkten und indirekten Verfahren gewählt. Abbildung 1 gibt einen Überblick der Arbeiten im Jahresverlauf.

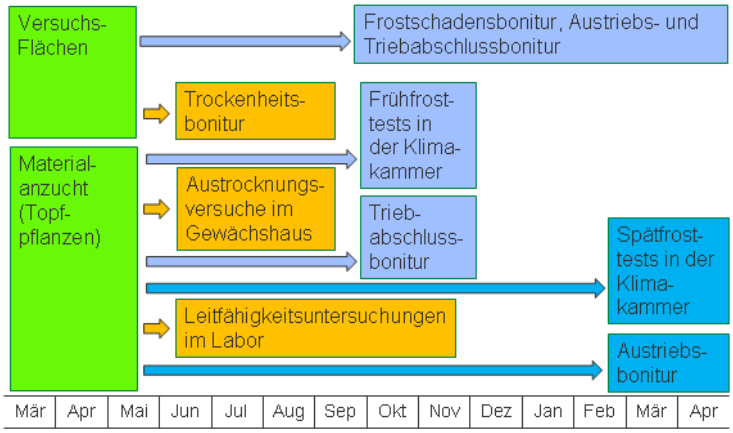


Abb. 1: Arbeiten zur Bestimmung der Resistenz gegenüber Trockenheit (orange) und Frost (blau)

Mit der Anlage von Versuchsflächen können die realistischsten Aussagen getroffen werden. Allerdings sind das Eintreten und der Zeitpunkt des Schadereignisses (z. B. lange Trockenperiode oder Frost) nicht planbar. Daher sind begleitende indirekte Verfahren wie beispielsweise Austrocknungstest im Gewächshaus oder Frosttests in der Klimakammer unverzichtbar. Diese bieten den Vorteil, dass sie unabhängig vom Schadereignis durchgeführt werden können. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, weitere strukturelle Parameter und pflanzenphysiologische Reaktionen zu erfassen. Allerdings erfordern diese Verfahren eine Verifizierung bzw. Eichung und können nicht hundertprozentig die klonspezifischen Reaktionen unter natürlichen Bedingungen widerspiegeln.

Für die Untersuchungen wurde Material der Klonprüfserie 2010 der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA 2010) verwendet (Tabelle 1). Dabei konnte auf eine speziell für die Prüfung angelegte Materialanzucht (mit aus Steckhölzern angezogenen Topfpflanzen) und eine im Rahmen des Projektes neu begründete Versuchsfläche zurückgegriffen werden (Tabelle 2).

Tabelle 1: Material für die Resistenzuntersuchungen. (Sektion A = Aigeiros, T = Tacamahaca, A x T = intersektionelle Kreuzung zwischen A und T; „x“ = durchgeführte Versuche); aus Schildbach 2014 gekürzt

Nummer /	Untersuchte Klone		Trockenheitsresistenzuntersuchung			Frostresistenzuntersuchung	
Abkürzung	Weitere Bezeichnung	Sektion	Feldversuch	Gewächshaus	Labor	Bonitur	Klimakammer
17	NW 7-17 C	T	x	x			x
18	NW 7-18 D	T	x	x			x
61	NW 7-61 E	T	x	x			x
72	NW 7-72 T	A x T	x	x			x
91	NW 7-91 R	T	x	x			x
177	NW 7-177 T	A x T	x				
180	NW 7-180 W	A x T	x	x			x
183	NW 7-183 A	A x T	x	x			x
197	NW 7-197 S	T	x				
200	NW 7-200 V	T	x	x			x
204	NW 7-204 A	T	x	x			x
226	NW 7-226 B	T	x	x			x
234	NW 7-234 L	T	x				
236	NW 7-236 N	T	x	x			x
237	NW 7-237 P	T	x				
244	NW 7-244 X	A x T	x	x			x
255	NW 7-255 L	T	x	x			x
264	NW 10-264 N	A x T	x				
344	NW 7-344 S	T	x				
352	NW 7-352 B	T	x				
375	NW 7-375 D	T	x	x			x
491	NW 7-491 S	T	x	x			x
559	NW 7-559 X	A x T	x				
587	NW 7-587 F	T	x	x			x
726	NW 7-726 W	T	x				
AF 2	NW 9-868 G	A	x		x	x	
Andr.	NW 7-622 X / Androscoggin	T	x	x	x	x	x
H. 275	NW 7-728 Z / Hybride 275	T	x	x	x	x	x
M.L.	NW 7-605 C / Muhle Larsen	T	x		x	x	
Matr. 11	NW 7-199 U / Matrix 11	T	x				
Matr. 49	NW 8-1975 X / Matrix 49	T	x				
Max 1	NW 7-729 A	A x T	x	x	x	x	x
Max 3	NW 7-730 B	A x T	x	x	x	x	x
Rob.	NW 7-843 L / Robusta	A	x	x	x	x	x
Wes. 4	NW 7-735 G / Weser 4	T	x				
Wes. 6	NW 7-737 K / Weser 6	T	x				

Tabelle 2: Kenndaten der Versuchsfläche Thammenhain

Bodentyp	Bodenart	Ackertwertzahl	Jahresmitteltemperatur	Jahresniederschlag
Braunerde-Pseudogley	Lehmiger Sand	42	8,1 °C	575 mm

Trockenheitsresistenz

Die Untersuchungen zur Bestimmung der Resistenz gegenüber Trockenheit umfassten zum einen Bonituren von Trockenschäden auf den Versuchsflächen und zum anderen die Erhebung physiologischer Reaktionen auf Trockenheit (Austrocknungsversuche im Gewächshaus). Zudem wurden struktureller Parameter der Trockenstresstoleranz bzw. des Wasserhaushaltes (Leitfähigkeitsuntersuchungen mit dem XYL’EM-Messgerät) bestimmt.

Bonituren von Trockenschäden auf den Versuchsflächen

Auf der 2010 angelegten Versuchsfläche Thammenhain traten von 2010 bis 2012 extreme Trockenperioden auf. Damit konnten realistische Aussagen zur Trockenheitsresistenz der einzelnen Klone getroffen werden. Die Untersuchungen umfassten die Aufnahme der Ausfallrate, die Bonitur der Trockenschäden (Tabelle 3) und die Bestimmung der Höhenzuwächse. Tabelle 4 gibt einen Überblick zu den Arbeiten im Untersuchungszeitraum.

Tabelle 3: Bonitur der Trockenschäden auf der Versuchsfläche

Boniturstufe	Schädigung
0	Keine irreversiblen Schäden
1	Leichte Schäden (1 bis <25 % Laubverlust)
2	Mittlere Schäden (25 bis <50 % Laubverlust)
3	Starke Schäden (50 bis <100 % Laubverlust)
4	Vertrocknet

Tabelle 4: Aufnahmedaten und Ergebnisse zur Trockenheitsresistenz auf der VSF Thammenahain

Jahr	Trockenepriode	Aufnahme	Ergebnis
2010	1.04. bis 20.05., 17.06. bis 22.07.	Ausfallrate	Anwuchsverhalten bei Trockenheit
2011	22.04. bis 2.07.	Bonitur der Trockenschäden und Höhenermittlung	Zuwachsverluste bei Frühsommertrockenheit im 2. Standjahr
2012	15.07. bis 19.08.	Bonitur der Trockenschäden und Höhenermittlung	Zuwachsverluste bei Sommertrockenheit im 3. Standjahr

Bei allen drei Schadereignissen zeigten sich starke klonspezifische Unterschiede. Die Ausfallrate bei Frühjahrstrockenheit in der Anwuchsphase im Anlagejahr variierte zwischen 15 % und 75 %. Die Sommertrockenheit im Jahr nach der Etablierungsphase führte zu starken Zuwachsverlusten. In Abbildung 2 sind die Höhenzuwächse 2011 aller Klone dem dazugehörigen Schädigungsgrad gegenübergestellt. Die Linien stellen die Ausgleichsgeraden für die drei Schadklassen dar (aus Schildbach 2014).

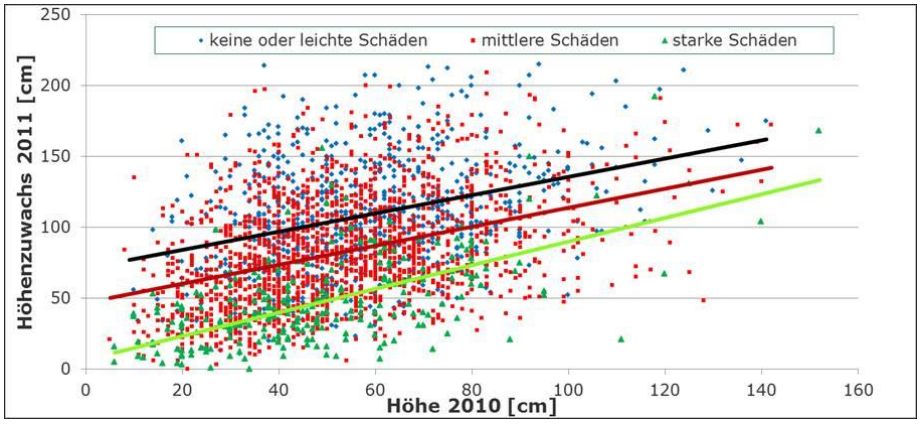


Abb. 2: Höhenzuwächse 2011 der Pflanzen in den einzelnen Schadstufen auf der VSF Thammenhain

Dabei ist eine deutliche Staffelung erkennbar. Stark geschädigte Pflanzen können Zuwachsverluste von bis zu 50 % aufweisen. Die Höhenzuwächse innerhalb aller Schadstufen sind deutlich klonspezifisch geprägt.

Die Sommertrockenheit im 3. Standjahr (2012) hatte auf den Zuwachs des laufenden Jahres zwar einen signifikanten, jedoch nur geringen Einfluss. Die Unterschiede zwischen gut und schlecht wachsenden Klonen blieben aber bestehen.

Austrocknungsversuche im Gewächshaus

Bei den Austrocknungsversuchen im Gewächshaus wurden verschiedene Methoden getestet. Zwei dieser lieferten die repräsentativsten Ergebnisse.

Methode 1

Pro Klon wurden insgesamt 10 Topfpflanzen bis zu einer Höhe von etwa 50 cm angezogen und anschließend bis zum Absterben komplett von der Wasserversorgung abgeschnitten. Über den gesamten Zeitraum erfolgte an allen Pflanzen die Erfassung der Austrocknungsreaktion mit Hilfe einer Bonitur (analog der Feldversuche, siehe Tabelle 3) und die Bestimmung der Bodenfeuchte mit einem Bodenfeuchtemessgerät (HD2 mit Pico 32-Sonde). Somit konnte zu jedem Schädigungsgrad die dazugehörige Bodenfeuchte ermittelt werden.

In Abbildung 3 ist am Beispiel einer Auswahl von Klonen die Bodenfeuchte dargestellt, ab der erstmals starke Schäden auftraten. Eine höhere Bodenfeuchte während der ersten Schädigung weist auf eine geringere Trockenheitstoleranz hin und umgekehrt. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Ausfallraten im Feldversuch, so lässt sich feststellen, dass die Klone, die im Feldversuch die geringsten Ausfälle verzeichneten (z.B. Klon 7-729 und 7-375) im Austrocknungsversuch erst bei einer geringen Bodenfeuchte starke Trockenschäden zeigten. Andererseits treten bei den Klonen, die im Feldversuch sehr stark von Ausfällen betroffen waren (z.B. die Klone 7-183 und 7-18), die Trockenschäden im Gewächshaus bereits bei einer etwas höheren Bodenfeuchte auf. Es gibt aber auch ein breites Mittelfeld der Klone, bei denen diese Zuordnung nicht so eindeutig möglich ist.

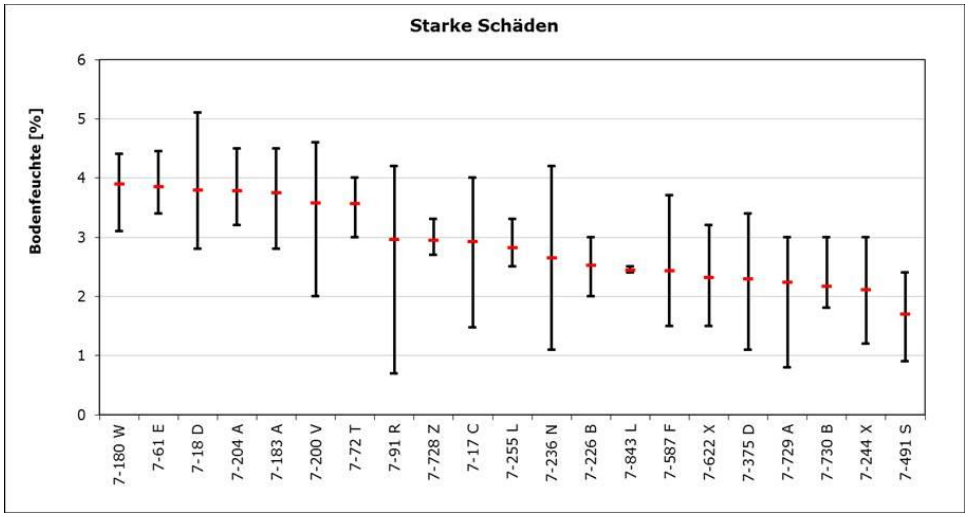


Abb. 3: Austrocknungsversuch Gewächshaus; Bodenfeuchte bei der erste schwere Schäden auftreten

Methode 2

Zielstellung dieser Methode war es, die Höhenwuchsleistung einzelner Klone unter definierten Trockenstressbedingungen im Gewächshaus zu bestimmen und mit den Ergebnissen der Trockenheitsuntersuchungen auf der Versuchsfläche zu vergleichen.

In einem Vorversuch erfolgte zunächst die Bestimmung der Bodenfeuchte ab der sich unter Trockenstress bei den Pflanzen erste Schadsymptome einstellten. Dazu wurden getopfte Pflanzen zum Austrocknen gebracht, mit dem Feuchtemessgerät täglich die Bodenfeuchte bestimmt und der Zustand der Pflanzen erfasst. Die Bodenfeuchte ab der die Pflanzen mit hängenden Blättern reagierten, diente dann als Grenzfeuchte für den Austrocknungsversuch (Bodenfeuchte der Töpfe ca. 15 bis 17 Vol%).

Pro Klon wurden dann insgesamt 20 Pflanzen bis zu einer Höhe von ca. 50 cm angezogen und anschließend jeweils 10 Pflanzen einer bewässerten und gestressten Variante zugeteilt. Bei der bewässerten Variante erfolgte weiterhin eine optimale Wasserversorgung. Bei der gestressten Variante wurde zunächst die Wasserversorgung abgeschnitten und in regelmäßigen Abständen eine Vitalitätsansprache durchgeführt sowie gleichzeitig die Bodenfeuchte bestimmt. Bei ersten Schadsymptomen, die sich im Bereich der Grenzfeuchte einstellten, wurden die Pflanzen mit einer genau dosierten Wassergabe bewässert. Damit konnte die Pflanzen unter anhaltendem Trockenstress gehalten werden, ohne dass irreversible Schädigungen auftraten. Begleitend erfolgte über den gesamten Untersuchungszeitraum die Aufnahme der Höhen aller Pflanzen.

In Abbildung 4 sind die Mittelwerte der Endhöhen für alle Klone für beide Varianten gegenübergestellt. Dabei kann festgestellt werden, dass die unter Trockenstress aufgewachsenen Pflanzen in der Höhenwuchsleistung deutlich hinter den ungestressten Pflanzen zurückfallen. Die Zuwachsverluste betragen bis zu 45 % und decken sich mit den Ergebnissen auf der Versuchsfläche Thammenhain.

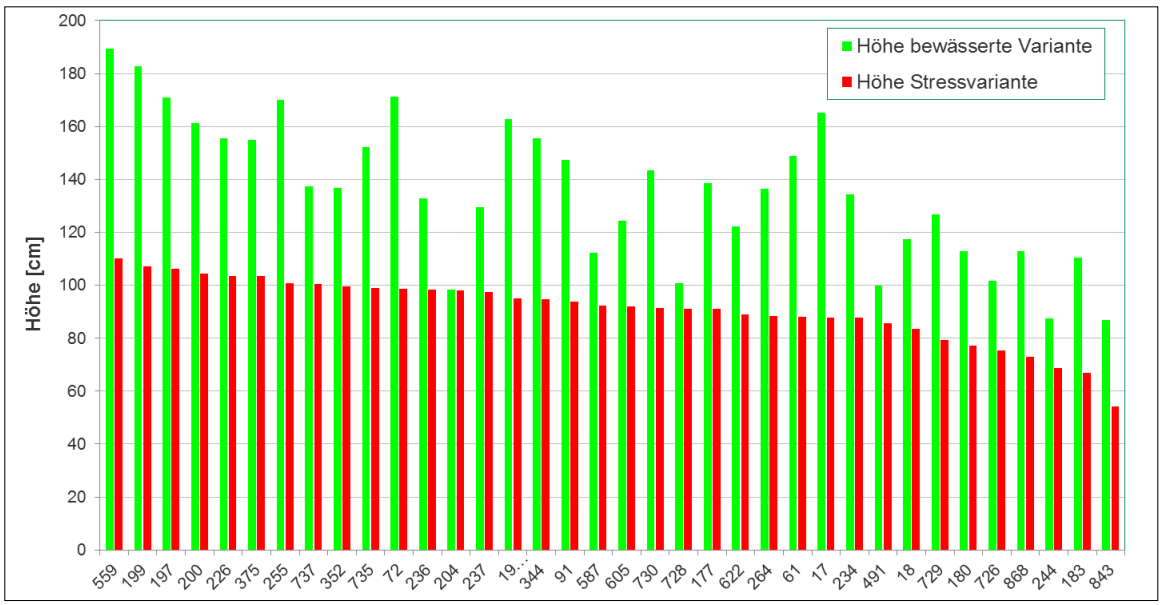


Abb. 4: Klonspezifische Mittelhöhen der gestressten und bewässerten Variante im Gewächshaus

Die meisten Klone, die unter optimalen Bedingungen ein überdurchschnittliches Höhenwachstum aufweisen, liegen auch unter Trockenstress bezüglich ihrer Höhenwuchsleistung auf den vorderen Plätzen (z.B. Klone 7-559, 7-199). Im Gegensatz dazu gibt es Klone die bei beiden Varianten deutlich gegenüber den anderen Klonen zurückbleiben (z. B. Klone 7-183, 7-244). Untersuchungen belegen dies auch für die Versuchsfläche Thammenhain. Die Rangfolge der unter Trockenstress am besten bzw. am schlechtesten wachsenden Klone stimmt dabei zwischen Gewächshaus und Versuchsfläche überein.

Leitfähigkeitsuntersuchungen

Mit Leitfähigkeitsuntersuchungen unter Verwendung des Xylem-Messgerätes wurde zusätzlich ein indirektes Analyseverfahren getestet, mit dem über die Bestimmung struktureller Parameter der Trockenstresstoleranz bzw. des Wasserhaushaltes auf die Trockenheitsresistenz von Pflanzen geschlossen werden kann (Sperry et al. 1988, Rust 1999, Instruec 2008). Das Prinzip beruht auf der Tatsache, dass es unter Trockenstress zu einer Verminderung des Wasserpotentials in der Pflanze kommt, die zur Beeinträchtigung der normalen Zellfunktionen führen kann (Kramer 1983). Entsprechend der „air seeding"-Hypothese gelangt bei zunehmender Austrocknung Luft in die Gefäße der Pflanze (Zimmermann 1983), es bilden sich Embolien (Rust 1999) und die hydraulische Leitfähigkeit der entsprechenden Triebabschnitte sinkt. Die Unterschiede in der Xylemstruktur können zu einer verschieden ausgeprägten Embolieanfälligkeit führen und damit als Weiser für die Trockenheitsresistenz dienen.

Dazu wird von frischen oder Trockenstress ausgesetzten Zweigen die Eingangsleitfähigkeit bestimmt, mittels Druckkammer in diesen künstliche Embolien erzeugt und der Leitfähigkeitsverlust gemessen. Der Vorteil besteht im geringen Material- und Platzbedarf sowie der Möglichkeit großer Probendurchsätze (Schildbach et al. 2012). Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt um zu prüfen, ob klonspezifische Unterschiede in der Trockenheitsresistenz auf der Basis von Leitfähigkeitsuntersuchungen nachweisbar sind (Schildbach et al. 2012, Schildbach 2014).

Unter anderem erfolgte dazu 2013 ein Test in Zusammenarbeit mit dem Institute Nationale de la Recherche Agricole (INRA, Nancy, Frankreich). Auf der Basis bisheriger Ergebnisse von Untersuchungen zur Trockenheitsresistenz wurden vier markante Klone, die sich als besonders trockenheitstolerant (NW 7-200V und NW 7-729 A) bzw. weniger trockenheitstolerant (NW 7-183 A und NW 7-843L) erwiesen hatten, ausgewählt (Tabelle 5).

Tabelle 5: Überblick der im Experiment mit der INRA verwendeten Klone

Wuchsleistung bei Trockenheit	
gute Wuchsleistung	schlechte Wuchsleistung
NW-7-200 V	NW-7-843 L
Austrocknung im Gewächshaus (Bodenfeuchte, bei deren Unterschreitung Schäden auftreten)	
geringe Bodenfeuchte	hohe Bodenfeuchte
NW 7-729 A	NW 7-183 A

Unter Verwendung einer speziellen Bewässerungstechnik, die die Erzeugung exakter Stresslevels ermöglicht, wurden aus Steckhölzern Pflanzen herangezogen. Anschließend erfolgte an 15 Zweigsegmenten von jeweils drei verschiedenen Stresslevels die Bestimmung der Eingangsleitfähigkeit. Für die Ermittlung so genannter Leitfähigkeitsverlustkurven (vgl. Hacke und Sauter 1995, Cochard et al. 2007) wurden die Zweigsegmente mit Hilfe einer Scholanderbombe zuvor definierten Druckstufen ausgesetzt und der Leitfähigkeitsverlust bestimmt.

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass schon über die Bestimmung der Eingangsleitfähigkeit deutliche Unterschiede der Klone nachweisbar sind. In Abbildung 5 sind die Werte der Eingangsleitfähigkeiten aller untersuchten Pflanzen eines Klons als Boxplot gegenübergestellt.

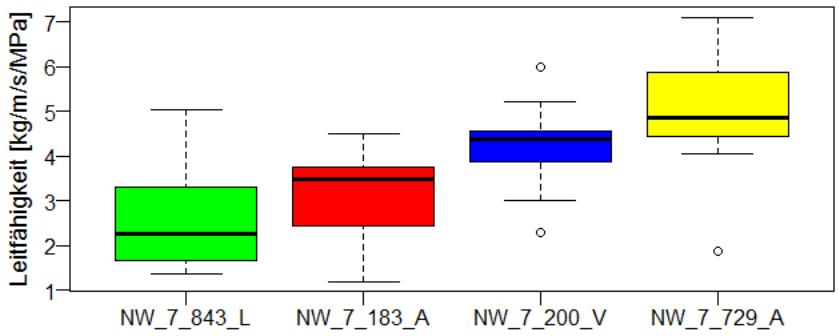


Abb. 5: Eingangsleitfähigkeit von Klonen mit unterschiedlicher Trockenheitstoleranz

Die trockenheitstoleranteren Klone (7-200 und 7-729) weisen eine deutlich höhere Eingangsleitfähigkeit auf als die weniger trockenheitstoleranten Klone (7-183 und 7-843). Die Unterschiede sind dabei hoch signifikant. Nach Druckeinwirkung zur Erzeugung künstlicher Embolien bleibt diese Rangfolge erhalten. Sollten sich diese Ergebnisse in weiteren Untersuchungen bestätigen, könnten Eingangsleitfähigkeitsuntersuchungen als ein Indikator zur Beurteilung der Trockenheitsresistenz herangezogen werden. Dazu ist jedoch noch eine weitere Verifizierung des Verfahrens notwendig. Derzeit befinden sich zusätzliche Experimente in der Bearbeitung und Auswertung.

Frost

Die Frostresistenz wird im Wesentlichen durch die Ermittlung der Frühfrost- und Spätfrostfestigkeit bestimmt. Die Untersuchungen umfassten Bonituren zu Frostschäden auf der Versuchsfläche sowie Triebabschluss- und Austriebsbonituren in Kombination mit Frosttests.

Bonitur von Frostschäden auf der Versuchsfläche

Im Untersuchungszeitraum konnte auf der Versuchsfläche Thammenhain kein Frostereignis verzeichnet werden, das zu Schäden an den Pflanzen führte. Aussagen zur Frostresistenz der untersuchten Klone waren daher nur auf der Grundlage von Austriebs- und Triebabschlussbonituren in Kombination mit Frosttests in der Klimakammer möglich.

Dass Untersuchungen natürlicher Frostereignisse jedoch nach wie vor von Relevanz sind, zeigte sich auf einer 2013 in Graupa mit Untersuchungsmaterial einer anderen Klonprüfserie angelegten Versuchsfläche. Hier trat am 17.04.2014 nach einer längeren Enthärtungsphase (Temperaturen von bis zu 15 °C) ein Spätfrost von -5 °C auf, der zu klonspezifischen Schädigungen führte. Bei den am stärksten betroffenen Klonen wiesen mehr als 20 % der Pflanzen starke Spätfrostschäden auf.

Austrieb- und Triebabschlussbonituren in Kombination mit Frosttests

Mit dieser Methode können zwei Aussagen zur Frostresistenz getroffen werden. Zum einen wird über Austriebs- und Triebabschlussbonituren das Gefährdungspotential der einzelnen Klone für die jeweilige Frostart eingeschätzt. Spät austreibende Klone sind demnach weniger durch Spätfrost gefährdet als früh austreibende Klone. Früh abschließende Klone wiederum zeigen eine geringere Anfälligkeit gegenüber Frühfrost als später abschließende Klone.

Zum anderen kann mit Frosttests der mögliche Schädigungsgrad bei ähnlichem Austriebs- bzw. Triebabschlussverhalten bestimmt werden.

Tabelle 6: Boniturschema für Austrieb und Triebabschluss (mod. nach Fröhlich 1984) aus Schildbach 2014

Boniturstufe	Austrieb	Triebabschluss
0	Knospe braun	Keine Verfärbung
1	Aufbrechende Knospen (grüne Spitzen)	Schwache Verfärbung (einzelne Blätter oder Blattränder verfärbt)
2	Blätter sichtbar, noch zusammengerollt	Mittlere Verfärbung (mindestens 50% der Gesamtblattfläche verfärbt)
3	Blätter entfalten sich, Seitentriebe geschoben	Stark vergilbt (mindestens 90% der Gesamtblattfläche verfärbt)
4	Blätter voll entfaltet, Terminaltrieb geschoben	Sämtliche Blätter abgefallen mit Ausnahme der Spitzen des Leittriebs
5	-	Kahl

Für die Untersuchungen wurden Topfpflanzen der verschiedenen Klone angezogen und das Austriebs- und Triebabschlussverhalten nach dem in Tabelle 6 angegebenen Boniturschema aufgenommen. Gleichzeitig erfolgten Frosttests in der Klimakammer. Dazu wurden zu verschiedenen Terminen während des Austriebs und Triebabschlusses Topflanzen in eine Klimakammer gestellt und über Nacht zuvor definierten Frostgraden ausgesetzt. Diese orientieren sich an realistischen Kälteeinbrüchen wie sie im Jahresverlauf auftreten können. Die Beurteilung der Frühfrostgefährdung beginnt im Frühherbst mit geringeren Temperaturen (z. B. -3 °C), später kommt die Simulation stärkerer Fröste (z. B. -10 °C.) hinzu. Entsprechend umgekehrt werden beim Austrieb im zeitigen Frühjahr Frosttests mit tieferen Temperaturen (z. B. -6 °C) und Ende April mit geringeren Frostgraden durchgeführt (z. B. -3°C).

Anschließend erfolgt die Aufnahme der klonspezifischen Schadwirkung. Um die Fehlerquote bei der Schadansprache zu minimieren, werden die Pflanzen zunächst zur Nachbehandlung bei 20 °C im Gewächshaus belassen. Durch den Blattaustrieb ist nach ca. 4 Wochen eine eindeutige Auswertung der Anzahl geschädigter bzw. nicht geschädigter Knospen sowie der Triebschäden möglich.

Abbildung 6 zeigt am Beispiel der Frühfrostgefährdung die Ergebnisse der Frosttests zu verschiedenen Terminen. Dabei sind das erreichte Triebabschlussstadium (Boniturstufen analog Tabelle 6) und der Schädigungsgrad dargestellt. Bei beiden Merkmalen sind klare klonspezifische Unterschiede erkennbar.

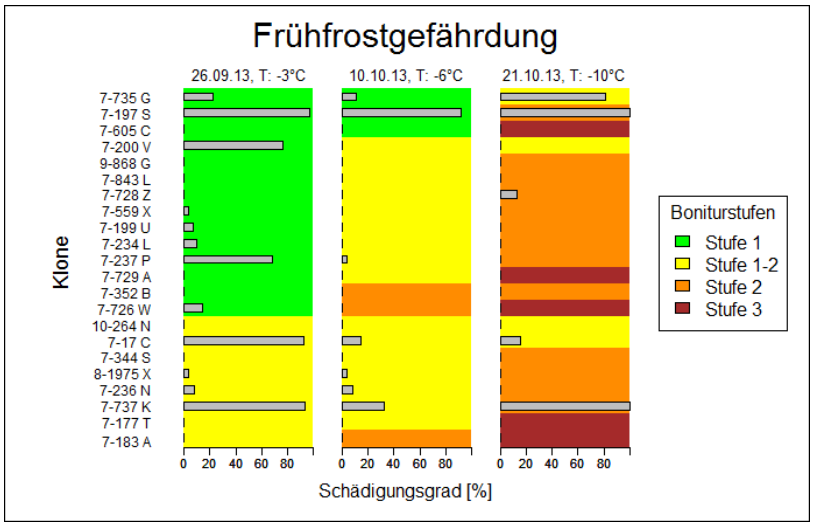


Abb. 6: Ergebnis von Frosttests zur Beurteilung der Frühfrostgefährdung

Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt wird dargestellt, wie aus den Ergebnissen der verschiedenen Verfahren Aussagen zur Trockenheits- und Frostresistenz der einzelnen Klone abgeleitet werden können. Bei der Frage, welche Daten für die Beurteilung der Resistenzeigenschaften herangezogen werden, besteht eine eindeutige Rangfolge in der Wertigkeit der Verfahren. Liegen wie bei den Untersuchungen zur Trockenheitsresistenz ausreichend Ergebnisse auf der Grundlage von Daten zu Schadereignissen auf der Versuchsfläche vor, haben diese für die klonspezifische Klassifikation Priorität. Da bei den Untersuchungen zur Frostresistenz keine derartigen Daten vorlagen, erfolgte hier die Beurteilung der klonspezifischen Resistenzeigenschaften mit den Ergebnissen von Bonituren des Austriebs und Triebabschluss in Kombination mit Frosttests in der Klimakammer.

Trockenheitsresistenz

Grundlage für die Ergebnisdarstellung bilden die Aufnahmen der Jahre 2010 bis 2012 auf der Versuchsfläche Thammenhain. In einem ersten Schritt wurden zunächst Kriterien zur Beurteilung der Trockenheitsresistenz definiert. Diese sind in Tabelle 7 dargestellt. Im Idealfall zeichnet sich ein trockenheitstoleranter Klon durch einen hohen Zuwachs im ungeschädigten Ausgangszustand, einen geringen Zuwachsverlust bei Trockenheit im geschädigten Zustand sowie eine geringe Ausfallrate bei Trockenheit in der Anwuchsphase aus. Zeigen Klone entsprechend gegensätzliche Eigenschaften werden sie als trockenheitsempfindlich eingestuft.

Tabelle 7: Kriterien zur Beurteilung der Trockenheitsresistenz

Resistenzkriterium	Merkmalsausprägung	
	trockenheitstolerant	trockenheitsempfindlich
Zuwachs im ungeschädigten Ausgangszustand	hoch	gering
Zuwachsverlust bei Trockenheit im geschädigten Zustand	gering	hoch
Ausfallrate bei Trockenheit in der Anwuchsphase	gering	hoch

In Abbildung 7 sind die mittleren Höhenzuwächse im ungeschädigten Ausgangszustand und der mittlere Zuwachsverluste im geschädigten Zustand bei Trockenheit aller Klone als Punktwolke dargestellt. (z. B. Daten für Klon 7-344: mittlerer Höhezuwachs im ungeschädigten Ausgangszustand = 71 cm; mittlere Höhenzuwachs bei Trockenheit = 40 %).

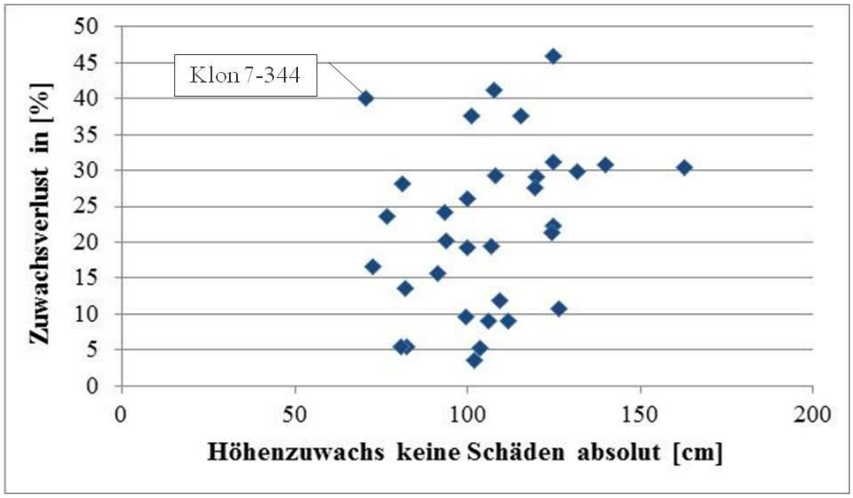


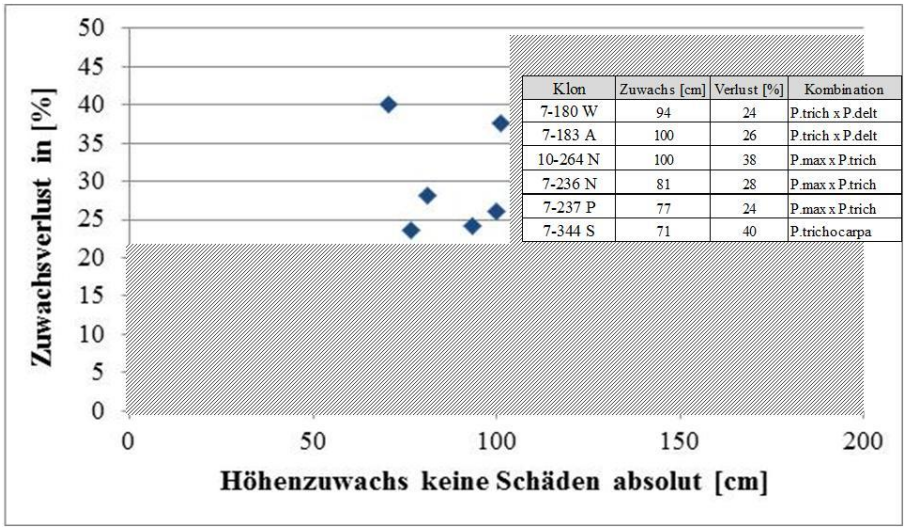
Abb. 7: Mittlere Höhenzuwächse im ungeschädigten Ausgangszustand und mittlerer Zuwachsverlust im geschädigten Zustand der Klone bei Trockenheit

Die große Streubreite verdeutlicht die unterschiedlichen klonspezifischen Wuchsreaktionen auf Trockenheit. Dies wiederum ermöglicht eine Klassifikation der Klone bezüglich ihres Resistenzverhaltens. Dafür wurden entsprechend den in Tabelle 7 aufgeführten Kriterien Filter für die Selektion trockenheitstoleranter und trockenheitsempfindlicher Klone festgelegt. Als Bezugsebene konnten dabei lediglich die mit den Untersuchungen anhand der Klonprüfserie NW-FVA 2010 ermittelten Werte verwendet werden, da keine weiteren Daten zur Trockenheitsresistenz anderer Klone verfügbar waren. Als Maß wurden die über alle Klone berechneten Mittelwerte der jeweiligen Merkmalsausprägung herangezogen.

Trockenheitsempfindliche Klone

Filterkriterien:
- Höhenzuwachs im ungeschädigten Ausgangszustand ≤ 100 cm
- Zuwachsverlust im geschädigten Zustand > 23 %
- Ausfallrate in der Anwuchsphase > 45 %

Abbildung 8 zeigt das Ergebnis nach Ansatz der zuwachsbasierten Filterkriterien. Demnach können sechs Klone (7-180; 7-183, 10-264, 7-236, 7-237, 7-344) identifiziert werden, die geringe Höhenzuwächse im ungeschädigten Ausgangszustand und hohe Zuwachsverluste bei Trockenheit zeigen.



Klon	Zuwachs [cm]	Verlust [%]	Kombination
7-180 W	94	24	P.trich x P.delt
7-183 A	100	26	P.trich x P.delt
10-264 N	100	38	P.max x P.trich
7-236 N	81	28	P.max x P.trich
7-237 P	77	24	P.max x P.trich
7-344 S	71	40	P.trichocarpa

Abb. 8: Trockenheitsempfindliche Klone: Basis zuwachsbasierter Filter

In Abbildung 9 ist die Ausfallrate in der Anwuchsphase bei Trockenheit dargestellt. Die Werte der sechs Klone sind farblich hervorgehoben. Wird dieses Kriterium zur Beurteilung der Trockenheitsresistenz mit herangezogen, können die Klone 7-183 und 10-264 selektiert werden, die in den untersuchten Merkmalen trockenheitsempfindlicher als der Durchschnitt der anderen Klone reagieren.

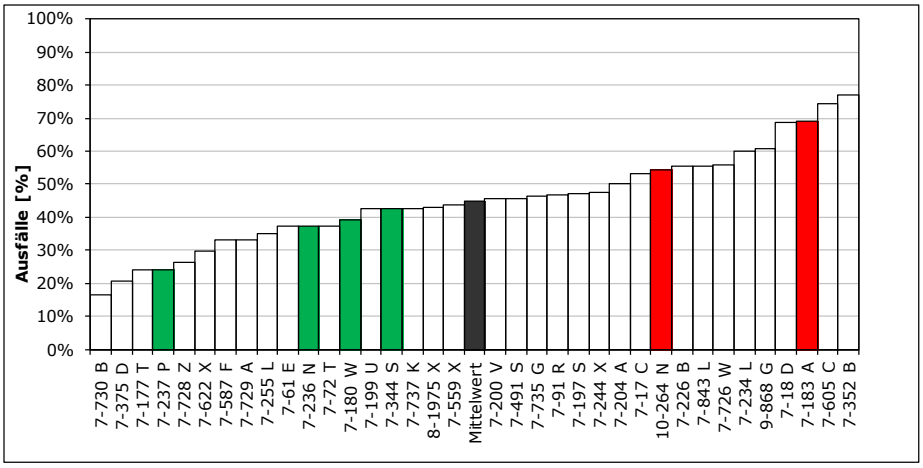
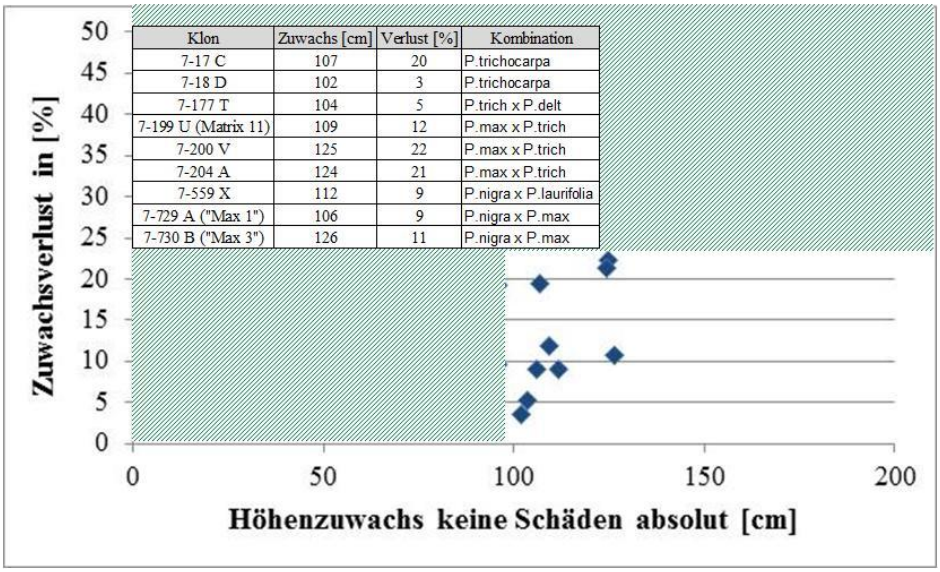


Abb. 9: Trockenheitsempfindliche Klone: Zusätzlicher Filter Ausfallrate in der Anwuchsphase (rot markierte Klone besonders trockenheitsempfindlich)

Trockenheitstolerante Klone

Filterkriterien:
- Höhenzuwachs im ungeschädigten Ausgangszustand > 100 cm
- Zuwachsverlust im geschädigten Zustand < 23 %
- Ausfallrate in der Anwuchsphase < 45 %

In Abbildung 10 ist das Ergebnis bei Ansatz der zuwachsbasierten Filterkriterien dargestellt. Dabei weisen die selektierten Klone sowohl einen überdurchschnittlichen Höhenzuwachs im ungeschädigten Ausgangszustand als auch sehr geringe Zuwachsverluste im geschädigten Zustand bei Trockenheit auf.



Klon	Zuwachs [cm]	Verlust [%]	Kombination
7-17 C	107	20	P.trichocarpa
7-18 D	102	3	P.trichocarpa
7-177 T	104	5	P.trich x P.delt
7-199 U (Matrix 11)	109	12	P.max x P.trich
7-200 V	125	22	P.max x P.trich
7-204 A	124	21	P.max x P.trich
7-559 X	112	9	P.nigra x P.laurifolia
7-729 A ("Max 1")	106	9	P.nigra x P.max
7-730 B ("Max 3")	126	11	P.nigra x P.max

Abb. 10: Trockenheitstolerante Klone: Basis zuwachsbasierter Filter

Wird die Ausfallrate bei Trockenheit in der Anwuchsphase in die Betrachtungen einbezogen, zeigt sich, dass drei Klone (7-177, 7-729 und 7-730) als überdurchschnittlich trockenheitstolerant im Vergleich zu den anderen Klonen einzuschätzen sind (Abb. 11). Diese Klone könnten daher für weitere Züchtungsarbeiten, die auf die Steigerung der Trockenheitsresistenz ausgerichtet sind, von Interesse sein.

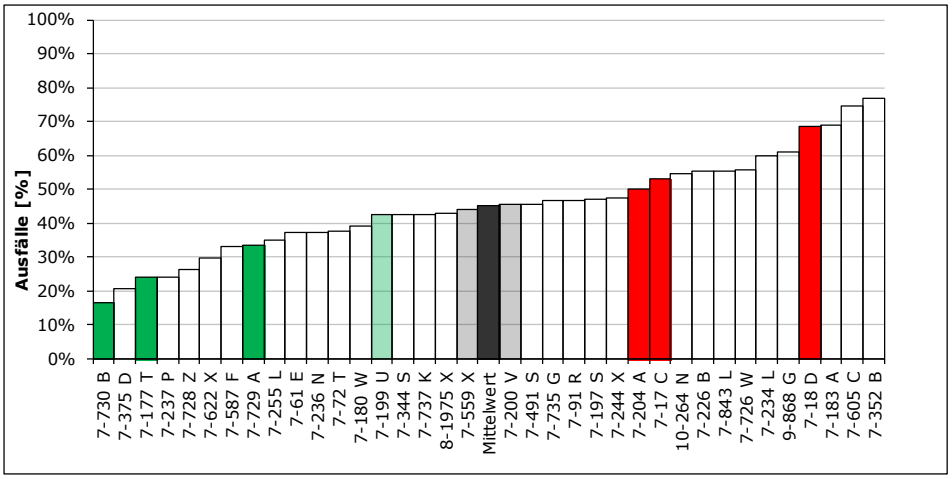


Abb. 11: Trockenheitstolerante Klone: Filter Ausfallrate in der Anwuchsphase (grün markierte Klone besonders trockenheitstolerant)

Frostresistenz

Grundlage für die Beurteilung der Früh- und Spätfrostresistenz der untersuchten Klone bilden die Daten der Triebabschluss- und Austriebsbonituren in Kombination mit Frosttests. In Tabelle 7 sind Resistenzkriterien zur Unterscheidung frosttoleranter und frostempfindlicher Klone aufgeführt, die bei der Ergebnisinterpretation Verwendung finden.

Tabelle 7: Kriterien zur Beurteilung der Trockenheitsresistenz

Resistenzkriterium	Merkmalsausprägung	
	Frosttolerant	Frostempfindlich
Triebabschluss (Frühfrostresistenz)	früh	Spät
Austrieb (Spätfrostresistenz)	spät	Früh
Schäden nach Frosttest	keine / gering	Hoch

Frühfrostresistenz

Als Maßzahl für die Bewertung des Triebabschlussverhaltens wurde die mittlere Boniturnote über alle Aufnahmetermine gebildet. Dabei gilt, je geringer deren Wert, desto später der Triebabschluss. Zusätzlich wurde zur Einschätzung der Frühfrostresistenz der mittlere Schädigungsgrad, der über alle Frosttests bestimmt wurde, verwendet.

Die Ergebnisse sind in Abbildung 12 dargestellt. Dabei zeigt sich die Tendenz, dass die früh abschließende Klone einen geringeren Schädigungsgrad als später abschließende Klone aufweisen. Allerdings bestehen auch bei ähnlichem Triebabschlussverhalten Unterschiede im Schädigungsgrad.

Aufgrund ihres hohen Schädigungsrades sind die Klone 7-197 und 7-737 als besonders frühfrost-empfindlich einzustufen. Im Gegensatz dazu gibt es eine große Anzahl von Klonen die keine Schäden aufweisen. Auffällig ist dabei insbesondere Klon 9-868, der trotz sehr spätem Triebabschluss eine sehr hohe Toleranz gegenüber Frühfrösten zeigt. Das lässt auf eine große „direkte“ Frosthärte schließen. Dieser Klon wäre daher für weitere Züchtungsarbeiten zur Erhöhung der Frühfrost-resistenz interessant.

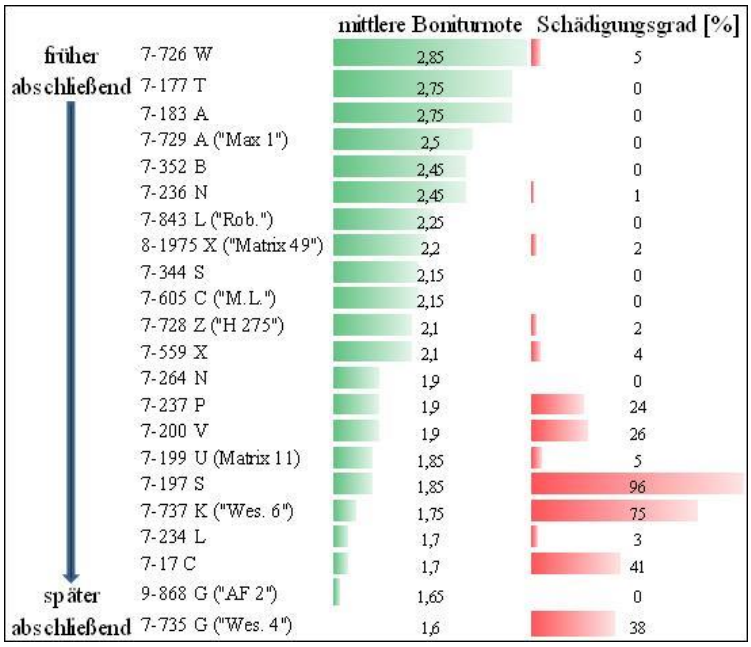


Abb. 12: Ergebnis der Untersuchungen zur Frühfrostresistenz

Spätfrostresistenz

Analog zu den Untersuchungen zur Frühfrostresistenz erfolgt die Bewertung der Ergebnisse mit Hilfe der mittleren Boniturnote des Austriebs (je höher die Boniturnote desto früher der Austrieb) und dem mittleren Schädigungsgrad.

In Abbildung 13 sind die Klone nach ihrem Austriebsverhalten geordnet dargestellt. Dabei wird ein klarer Trend deutlich. Klone mit frühem Austriebsbeginn sind durch eine höhere Anfälligkeit gegenüber Spätfrösten gekennzeichnet als später austreibende Klone. Wiederum bestehen auch Unterschiede im Schädigungsgrad bei Klonen mit ähnlichem Austriebsverhalten.

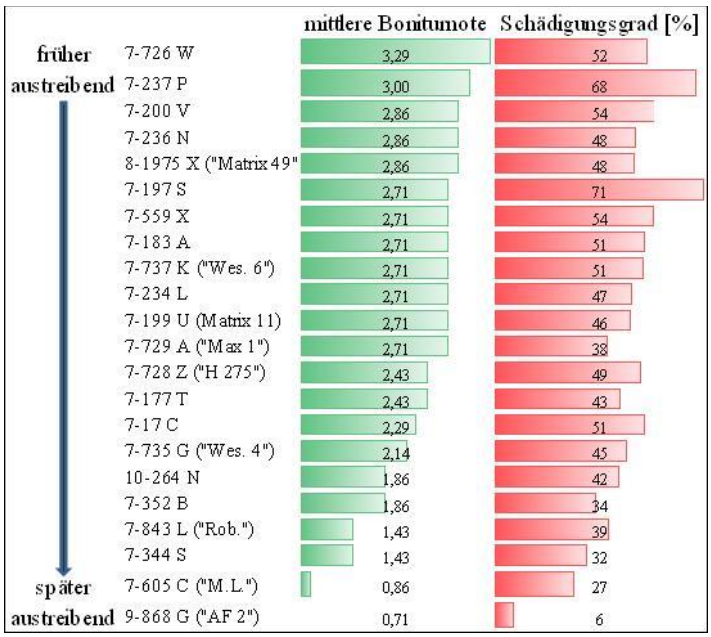


Abb. 13: Ergebnis der Untersuchungen zur Spätfrostresistenz

Die früh austreibenden Klone 7-197 und 7-237 sind im Klonvergleich durch ihren hohen Schädigungsgrad als besonders spätfrostgefährdet einzustufen. Im Gegensatz dadurch zeichnet sich der spät austreibende Klon 9-868 als besonders spätfrosttolerant aus.

Übersichtskatalog zur Trockenheits- und Frostresistenz

Auf Grundlage der Ergebnisse kann ein vorläufiger Übersichtskatalog zur Trockenheits- und Frostresistenz der untersuchten Klone erstellt werden, der die Ableitung klonspezifischer Anbauempfehlungen ermöglicht. In Abbildung 14 ist dies beispielhaft für drei Klone dargestellt. Die Klassifizierung erfolgt nach den Kriterien „gut“, „mittel“ und „schlecht“. und bezieht sich auf den Klonvergleich innerhalb der Klonprüfserie 2010. Demnach ist Klon Max 1 (7-729) in allen untersuchten Resistenzkriterien als gut zu bewerten. Im Vergleich zu den anderen Klonen bestehen hier keine Einschränkungen in den Anbauempfehlungen. Hingegen ist Klon 183 durch eine geringe Trockenheitstoleranz geprägt und daher schlecht für den Anbau in trockenen Gebieten geeignet. Zudem besteht ein im Vergleich zu anderen Klonen mittleres Gefährdungspotential gegenüber Spätfrösten. Der Anbau in Gebieten in denen Spätfröste auftreten können ist mit einem gewissen Risiko behaftet und daher je nach Situation abzuwägen. Letzteres gilt auch für Klon 7-177, der sich aber durch eine hohe Toleranz gegenüber Trockenheit auszeichnet.

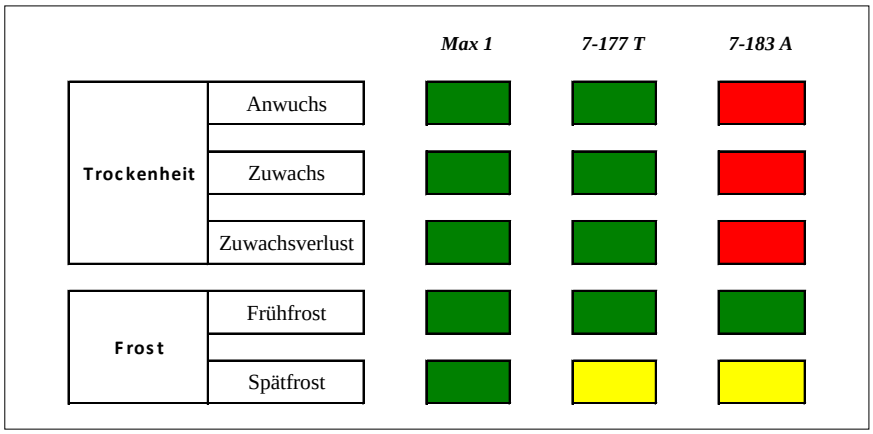


Abb. 14: Beispiel für Übersichtskatalog zur Trockenheits- und Frostresistenz (Merkmalsausprägung: grün =„gut“; gelb = „mittel“; rot: „schlecht“).

Schlussfolgerungen

Die Unterschiede der Klone in ihrer Toleranz gegenüber Trockenheit und Frost verdeutlichen die Bedeutung von Untersuchungen zu diesen Resistenzeigenschaften bei Neuzüchtungen.

Für die Bestimmung der Trockenheits- und Frostresistenz sollte dabei möglichst eine Kombination aus direkten Verfahren (Versuchsflächenaufnahmen) und indirekten Verfahren (z. B. Austrocknungsversuche oder Frosttests) gewählt werden. Damit können zum einen bei Auftreten von Schadereignissen unter natürlichen Bedingungen die realistischsten Aussagen zu den Resistenzeigenschaften der Klone getroffen werden. Zum anderen ermöglichen indirekte Verfahren unabhängig vom Schadereignis kontinuierliche Aussagen zur Trockenheits- und Frostresistenz.

Bei den Untersuchungen zur Trockenheitsresistenz bestand der Vorteil, dass in drei aufeinander folgenden Jahren direkte Schadereignisse auf der Versuchsfläche auftraten. Deshalb konnten einerseits zu den untersuchten Klonen realistische Aussagen zur Trockenheitsresistenz getroffen werden. Andererseits bestand die Möglichkeit, die Ergebnisse der indirekten Verfahren (Austrocknungsversuche bzw. Leitfähigkeitsuntersuchungen) zu verifizieren. Dabei zeigt sich, dass mit diesen Verfahren derzeit zwar Klone identifiziert werden können, die in der Rangfolge am besten

bzw. schlechtesten abschneidenden, eine genauere Klondifferenzierung jedoch noch nicht möglich ist. Daher ist eine weitere Anpassung dieser Verfahren erforderlich.

Die Bestimmung der Frostresistenz erfolgte ausschließlich über das indirekte Verfahren von Triebabschluss- und Austriebsbonituren in Kombination mit Frosttests, da keine Daten von Schadereignissen auf der Versuchsfläche vorlagen. Aufgrund der fehlenden Vergleichsmöglichkeit mit dem tatsächlichen Gefährdungspotentials der Klone unter natürlichen Bedingungen sind die Ergebnisse der Früh- und Spätfrostgefährdung mit Unsicherheiten behaftet, lassen aber eine erste Klonklassifikation zu. Weitere Arbeiten sollten daher auf eine zusätzliche Verifikation der Daten und damit des Verfahrens ausgerichtet sein.

Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse können vorläufige Anbauempfehlungen für die geprüften Klone abgeleitet werden. Die Klonklassifikation basiert bisher auf dem Vergleich innerhalb der Klonprüfserie der NW-FVA 2010. Die Bewertungen der getesteten Klone in Bezug auf ihre Frost- und Trockenheitstoleranz sollte daher durch Untersuchungen an weiteren Klonen überprüft werden.

Literatur

Cochard H, Casella E, Menucuccini M, 2007: Xylem vulnerability to cavitation varies among poplar and willow clones and correlates with yield. Tree Physiology 27: 1761-1767.

Fröhlich HJ, 1964: Identifikationsmerkmale von Pappeln der Sektion Leuce. Forschungsinstitut für Pappelwirtschaft Hann. Münden. Merkblatt 2, 47 S.

Hacke U, Sauter JJ, 1995: Vulnerability of xylem to embolism in relation to leaf water potential and stomatal conductance in Fagus sylvatica f. purpurea and Populus balsamifera. Journal of Experimental Botany, Vol. 46, No. 290: 1177-1183.

Instrutec, 2008: Instruction Manual and Tutorial for Xylem Embolism Measurements.

Kramer PJ, 1983: Water relations of plants. Academic Press, San Diego.

Küchler W, Sommer W, 2005: Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick 2005. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden: 111 S.

Rapp J, Schönwiese C, 1996: Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990, Frankfurter geowissenschaftliche Arbeiten: Ser. B, Meteorologie und Geophysik; Bd. 5, Frankfurt am Main

Rust S, 1999: Hydraulische Architektur und Wasserhaushalt von Kiefer (Pinus sylvestris L.) mit begleitenden Untersuchungen an Fichte (*Picea abies* (L.), Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Balsampappelklonen. Cottbus: Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung. Bd. 3: Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 110 S.

Schildbach M, Wolf H, Hartmann K-U, 2012: Untersuchung zur abiotischen Resistenz schnellwachsender Baumarten. In: Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 8: 237-256.

Schildbach M, 2014: Untersuchungen zur abiotischen Resistenz von Pappeln. Landbauforsch., Appl Agric Forestry Res 64: 85-98.

Sperry JS, Donnelly JR, Tyree MT, 1988: A method for measuring hydraulic conductivity and embolism in xylem, Plant, Cell and Environment 11: 35-40.

Korrespondierender Autor:
Dr. Heino Wolf
Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS)
Kompetenzzentrum ür Wald und Forstwirtschaft
Referat Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung
OT Graupa
Bonnewitzer Str. 34
01796 Pirna
heino.wolf@smul.sachsen.de

In situ und *ex situ*-Untersuchungen sowie Modellierung zur Bewertung des Introgressionsrisikos in heimische Pappel-Populationen

Felix Staeps[1], Birgit Ziegenhagen[1], Meike Borschel[2], Ronald Bialozyt[3]

[1]Philipps-Universität Marburg, Marburg
[2]Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden
[3]Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen

Zusammenfassung

Um das Potential ungewollter Rückkreuzungen zwischen der Schwarzpappel (*Populus nigra*) und eingeführten Pappelhybriden einschätzen zu können, wurden an Schwarzpappeln und der Hybrid-Sorte *P. × canadensis* künstliche Bestäubungen und Beobachtungen des Blühverhaltens durchgeführt.

Ergebnisse von Bestäubungsexperimenten mit Pollen von ausgewählten *P. × canadensis* Klonen an weiblichen *P. nigra* Blüten bestätigen die in-situ gefundene Rochtung einer reproduktiven Barriere: zum einen auf eine präzygotische Barriere durch die verminderte Ausbildung von Pollenschläuchen, die bereits die Befruchtung verhindert; zum anderen auf eine zygotische Barriere, welche gegebenenfalls nach der Befruchtung zum Tragen kommt. Aus naturschutzfachlicher Hinsicht handelt es sich hier um Eigenschaften, welche in Kombination – eine durchgehende Funktionalität vorausgesetzt – einen intrinsischen Schutz von *P. nigra* vor invasiver Introgression durch manche *P. × canadensis* Klone darstellen könnten.

An Pappelbeständen in zwei Naturschutzgebieten in Hessen wurden in den Jahren 2012, 2013 und 2014 an ausgesuchten Individuen der Schwarzpappel (*Populus nigra*) und der Hybridpappel (*P.* × *canadensis*) Untersuchungen der Blütenentwicklung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen deutliche Unterschiede im Startpunkt und der Länge der Blühperiode zwischen den beiden untersuchten Arten, wobei die Blüte der Hybriden in der Regel vor jener der Schwarzpappel startet. Eine deutliche Protandrie in beiden Arten sorgt zusätzlich dafür, dass männliche Hybridbäume eine geringe zeitliche Überlappung mit weiblichen Individuen der Schwarzpappel besitzen. Dies stellt eine potentielle präzygotische Fortpflanzungsbarriere dar. Deutliche Unterschiede im Blühverhalten zwischen den Jahren 2012, 2013 und 2014 legen zudem eine Korrelation der Blüte mit dem Temperaturverlauf in den Winter- und Frühjahrsmonaten nahe.

Zur Einschätzung des Introgressionsrisikos zwischen *P. nigra* und ihren Hybrid-Arten im Angesicht des Klimawandels wurde ein agentenbasiertes Modell in NetLogo verfasst. Der Schwerpunkt des Modells liegt dabei auf der Ausprägung und möglichen Vererbbarkeit der Blühphänologie von *P. nigra* und *P.* × *canadensis*. Durch die Verwendung dieses Agenten-basierten Modells (ABM) ist beabsichtigt, über mehrere Generationen hinweg den Genfluss zwischen und innerhalb von *P. nigra*, *P. × canadensis* und deren Ruckkreuzungen zu simulieren und Voraussagen für die genetische Entwicklung der Europäischen Schwarzpappel für die nahe Zukunft zu treffen.

Schlüselworte: *Populus nigra*, Hybridisierung, Genfluss, Agenten-basierten Modell, Blühphänologie

Abstract

In situ and _ex situ_ analyses and modelling to assess the risk of introgression in local poplar populations

Aiming at insights in the possibility of undesired gene flow between (*Populus nigra*) and introduced poplar hybrids, artificial pollination experiments and observations of flowering phenology were conducted on *P. nigra* and *P. × canadensis*.

Results of artificial pollinations of *P. nigra* with pollen from selected *P. × canadensis* clones conform the direction of a reproductive barrier found in-situ: a prezygotic barrier in the form of a reduced ability to produce pollen tubes and a zygotic barrier through the active abscission of black poplar flowers pollinated by hybrids. From a conservationist point of view, these features present a potential intrinsic safeguard in *P. nigra* against pollination with foreign pollen, which could be utilized to protect black poplars from genetic introgression by hybrids.

Phenological observations were conducted on selected individuals of the European black poplar (*Populus nigra*) and a hybrid (*P.* × *canadensis*) at two nature reservations in Hessen, Germany, in the years 2012, 2013 and 2014. Results show distinct differences between the observed species with regard to starting dates and the overall length of flowering . While bloom in hybrid starts several days prior to flower in black poplars, a clear proterandry causes male hybrids to have a small overlap in flowering time with female black poplars. This could be considered a potential prezygotic barrier. Moreover, notable differences in the flowering behavior in the observed years imply a correlation of bloom and the rise of air temperature in winter and spring.

To evaluate the risk of introgression between *P. nigra* and hybrid poplars in the face of climate change, an agent based model (ABM) was constructed using NetLogo. It emphasis is the forming and the potential heredity of flowering phenology in *P. nigra* and the hybrid *P.* × *canadensis*. We plan to apply this ABM to simulate the gene flow within and between *P. nigra*, *P. × canadensis* and their backcrosses over numerous generations and thereby to predict the genetic dynamics of the European black poplar for the near future.

Keywords: *Populus nigra*, Hybridization, Gene Flow, Agent-based Model, Flowering Phenology

Einleitung

Die europäische Schwarzpappel (*Populus nigra*) ist ein wichtiger Flussauenbaum, der heute durch Habitatverlust gefährdet ist (FFI/IUCN SSC 2006). Zusätzliche Gefahr könnte der Schwarzpappel durch die Einführung von Pappelhybriden in Kurzumtriebsplantagen in der Form von ungewolltem Genfluss (Introgression) drohen. Das Ziel dieses Teilprojektes war die Realisierung eines agentenbasiertes Modelles (ABM), welches den Genfluss zwischen Schwarzpappel und Hybriden als Modellorganismen über zahlreiche Generationen hinweg simulieren wird. In seiner endgültigen Form wird es dazu beitragen, das Introgressionsrisiko, das Pappelhybride für die Schwarzpappel darstellen, mittel- und langfristig einzuschätzen. Als Grundlage für dieses Modell dienen in-situ und ex-situ Experimente, welche Einsicht in die Mechanismen und Potential des Genflusses zwischen Schwarzpappel und ihren Hybriden liefern.

Ex-situ Untersuchungen zu Reproduktionsbarrieren zwischen der Schwarzpappel und Pappelhybriden

Um zu klären, wie hoch der maximale effektive Fortpflanzungserfolg zwischen *P. nigra* und *P.* x *canadensis* bei vollständiger zeitlicher Überlappung der Blühphänologe sein kann, wurden von März bis und Mai 2013 in Kooperation mit der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt in Hann. Münden Kreuzungsversuche vorgenommen. Dabei wurden die Bestäubungserfolge zweier *P.* × *canadensis*-Klone, „Brabantica“ und „Robusta“, gegen den Erfolg männlicher Individuen von

P. nigra getestet. Sämtliche verwendeten Äste wurden dafür Bäumen aus dem Naturschutzgebiet „Ederauen bei Obermöllrich und Cappel“, Hessen, entnommen. Der Erfolg der Bestäubung wurde anhand der Schlauchbildung bei geerntetem Pollen auf feuchtem Zellstoff, der Anzahl produzierter Fruchtkapseln nach der Bestäubung sowie der Anzahl gebildeter Samen und der Keimungsrate gemessen. Die Ergebnisse dieses Versuchs wurden in einem Artikel (Staeps et al. 2014) zusammengefasst. Es folgt eine kurze Zusammenfassung:

Pollen von *P. × canadensis* bildete im Vergleich zu *P. nigra* dabei zu deutlich geringerem Anteil Pollenschläuche aus, wobei Pollen von *P. × canadensis* „Robusta“ deutlich weniger aktiv war, als der von *P. × canadensis* „Brabantica“. Die Samenproduktion an mit *P. × canadensis* „Brabantica“ bestäubten Blüten entspricht nur etwa 10 % der Produktion an mit *P. nigra* bestäubten Blüten. Mit *P. × canadensis* „Robusta“ bestäubte Blüten bildeten nur vereinzelte Fruchtkapseln aus, die nach kurzer Zeit abstarben, bevor die Samenkapseln aufplatzten. Auch mit *P. × canadensis* „Brabantica“ bestäubte Blüten bildeten nur mit drei der fünf weiblichen *P. nigra* Individuen ausdauernde Fruchtkapseln und Samen aus.

Bei der Bestäubung von *P. nigra* mit den verwendeten *P. × canadensis*-Pollen wurden in diesem Versuch zwei unterschiedliche Typen von Fortpflanzungsbarriere gefunden: eine präzygotische Barriere in Form reduzierter Pollenschlauchbildung, welche die Bestäubung von *P. nigra*-Blüten verhindert – und eine zygotische Barriere in der Form einer aktiven Abstoßung (Abszission) bestäubter Blüten. Diese Mechanismen wecken die Hoffnung, dass die Wahrscheinlichkeit einer spontanen Rückkreuzung zwischen der Schwarzpappel und ihren Hybriden zumindest im Fall einiger Klone gering ist, und dass derartige Mechanismen gezielt im Sinne des Schutzes der Schwarzpappel ausgenutzt werden könnten. Jedoch ist zu vermuten, dass die Unterschiede in den Ergebnissen zwischen dem „Robusta“- und „Brabantica“-Klon nicht das gesamte Spektrum der Varianz innerhalb der zahlreichen männlichen Klone von *P. × canadensis* abdecken – um die Möglichkeit einer sinnvollen Nutzung der beobachteten Fortpflanzungsbarrieren einschätzen zu können, sollte mit verschiedenen Klonen in weiteren Experimenten untersucht werden.

Simulationsmodell zum Genfluss zwischen Schwarzpappeln und Pappel-Hybriden

In-situ Untersuchungen der Blühphänologie von P. nigra und P. ×canadensis als wichtiges Eingangselement zur Parametrisierung des Modells

Da unser geplantes Simulationsmodell den Genfluss zwischen Schwarzpappeln und Pappelhybriden nachstellen soll, ist ein vertieftes Verständnis der Blühphänologie der Modellorganismen notwendig. Zu diesem Zweck wurden in den Jahren 2012, 2013 und 2014 an zwei unterschiedlichen Naturschutzgebieten in Hessen ausgewählte Individuen der Schwarzpappel *P. nigra* und des Hybrides *P. × canadensis* (*P. nigra* × *P. deltoides*) während der Blüte- und Samenflugzeit zwischen März und August beobachtet. Als Untersuchungsgebiete wurden die Naturschutzgebiete "Ederaue bei Obermöllrich und Cappel" (Abb. 1 links) und "Altrhein Kühkopf-Knobauchsaue" (Abb. 1 rechts) gewählt, zwei der größten erhaltenen Flussauen Deutschland.

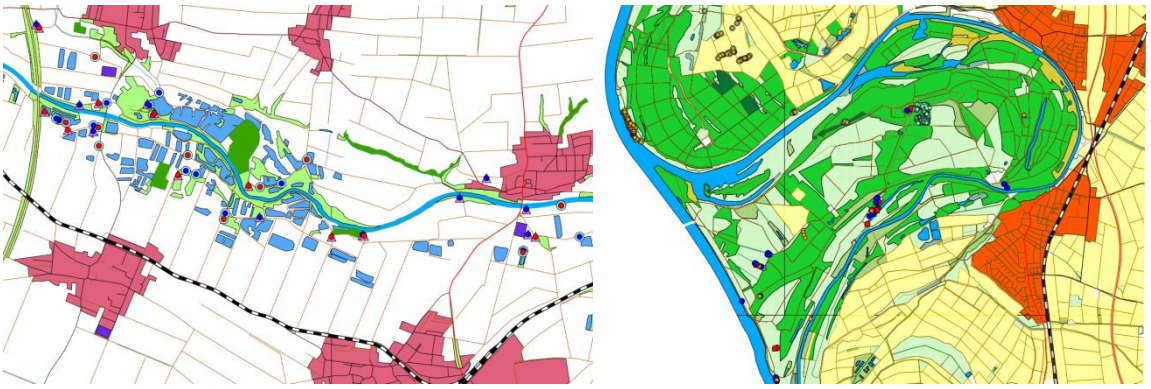


Abb. 1: GIS-Darstellungen der Naturschutzgebiete "Ederaue bei Obermöllrich und Cappel" (links) und "Altrhein Kühkopf-Knobauchsaue" (rechts), Hessen. Beobachtete Individuen mit farbigen Symbolen: blau = männlich; rot = weiblich; Kreis = *P. nigra*; Dreieck = *P.* ×*canadensis*

Die ausgesuchten Pappeln wurden in beiden Untersuchungsgebieten im Abstand von drei Tagen auf den Entwicklungsstand ihrer Blüten überprüft, um für jedes Individuen den Start und das Ende der Blüte, die Entwicklungsdauer der Früchte, sowie die Dauer des Samenfluges bestimmen zu können. Aus diesen Daten wurde der Augspurger-Z-Index (Augspurger 1983) als Maß für die zeitliche Überlappung der Blütezeiten zwischen Schwarzpappeln und Hybride berechnet. Dieser Index war ursprünglich für einhäusige Baumarten entwickelt worden und wurde daher für die Verwendung an einer zweihäusigen Gattung wie *Populus* modifiziert. Er errechnet sich aus paarweisen Vergleichen der Überlappung der Blühdauer zwischen weiblichen und männlichen Individuen.

Die erhaltenen Daten des Blühverhaltens aus den Jahren 2012, 2013 und 2014 für beide Untersuchungsgebiete wurden analysiert und verglichen. In den untersuchten Jahren zeigt sich dabei zunächst ein deutlich früherer Start der Blütezeit männlicher Hybridpappeln gegenüber den Schwarzpappeln in beiden Gebieten. Im gemeinsamen Mittel startet die Blüte der Hybride allgemein zu einem früheren Zeitraum als bei Schwarzpappeln. Bei Schwarzpappeln sowie bei den Hybriden findet sich eine deutliche Protandrie. Im Vergleich der Blüteausprägungen aller drei Jahre zeigt sich für beide Gebiete jedoch auch, dass die Blütezeit von *P. nigra* und *P. × canadensis* im Jahr 2013 auf etwa die Hälfte der Blütezeit des Jahres 2012 reduziert wurde. Diese Reduktion ist hauptsächlich auf den langen Winter und den danach schnell einsetzenden Frühling zurückzuführen. Im Gegenzug dehnt sich die Blüte - erneut in beiden Untersuchungsgebieten - im Jahr 2014 über die Länge der Blüte im Jahr 2013 hinweg aus.

Da für beide Gebiete umfangreiche genetische Daten vorliegen, kann auf rein genetischer Ebene nicht von einer starken Differenzierung beider Populationen ausgegangen werden. Allerdings gehören beide Populationen zu unterschiedlichen Flusssystemen und sollten nach (Smulders et al. 2008) eine höhere Differenzierung als innerhalb eines Flusssystems aufweisen. Des weiteren kann davon ausgegangen werden, das diese beiden Populationen nicht durch Genfluss miteinander in Beziehung stehen, da sie einen geographischen Abstand von über 100 km haben und das Gebiet dazwischen von nur vereinzelten Individuen der Schwarzpappel bevölkert ist. Somit muss die Anpassung an das regionale Klima hier einen bedeutenden Faktor darstellen, welche durch weitere Untersuchungen untermauert werden sollte.

Hypothesen der Vererbbarkeit und intermediären Ausprägung der Blüte

Die grundliegenden Hypothesen des Genflussmodells sind die Vererbbarkeit der Ausprägung des Blütezeitraumes sowie die Befolgung der Mendel‘schen Regeln, insbesondere der 1. Regel (Uniformitätsregel). Folglich liegt der Blütezeitraum eines simulierten F1-Pappelhybriden mittig zwischen denen der Parentalgeneration (Vanden Broeck et al. 2003), während der Blütezeitraum

eines rückgekreuzten Individuums aus F1- und Parentalgeneration dagegen stärker dem der Parentalgeneration ähnelt (Abb. 2).

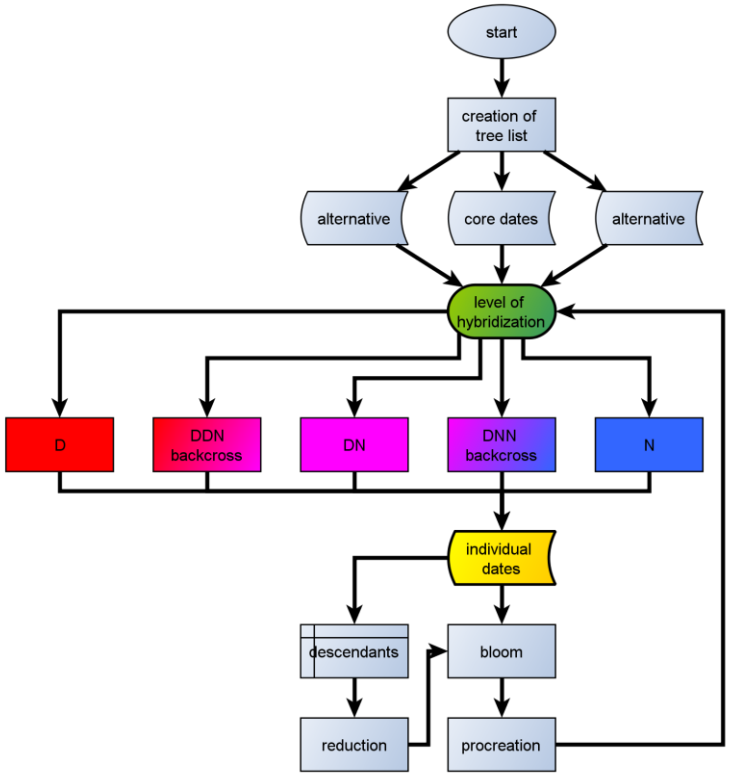


Abb. 2: Flussdiagramm eines möglichen Algorithmus zur Vergabe von artspezifischen Ausprägungen bei simulierten Pappel-Individuen, in Abhängigkeit der simulierten verwandtschaftlichen Nähe des Individuums zu den Elternarten

Wahl der Simulationsumgebung

Das Simulationsmodell entsteht in NetLogo (v. 5.0.5,), einer Java-basierten (und daher plattform-unabhängigen) Entwicklungsumgebung (IDE) mit zugehöriger Programmiersprache (Wilensky 1999, Tisue und Wilensky 2004). Sie wurde speziell für ökologische, naturwissenschaftliche und ökonomische agentenbasierte Modelle (ABM) entwickelt und bietet daher ein ideales Substrat für ein Genflussmodell. Zudem besitzt NetLogo eine steigende Popularität, was dazu führt, dass es nicht nur in der aktuellen Literatur zunehmend vertreten ist, sondern es auch eine wachsende Anzahl an Schnittstellen zu anderen Programmen und Anwendungen gibt, allen voran zur statistischen Programmiersprache R.

Das Modell startet mit 2 hybridisierenden Arten, oder mit einer Spezies und einer Hybride-Sorte, um gezielt Rückkreuzungsszenarien zu simulieren (Abb. 3). Der simulierte Genfluss wird hierbei in Abhängigkeit verschiedene Vererbungs- und Klimaszenarien abgebildet. Neben ihrer Blüte-ausprägung unterscheiden sich die simulierten Spezies durch die Nutzungseffizienz von Ressourcen wie Wasser und Lebensraum, und treten in Konkurrenz zueinander.

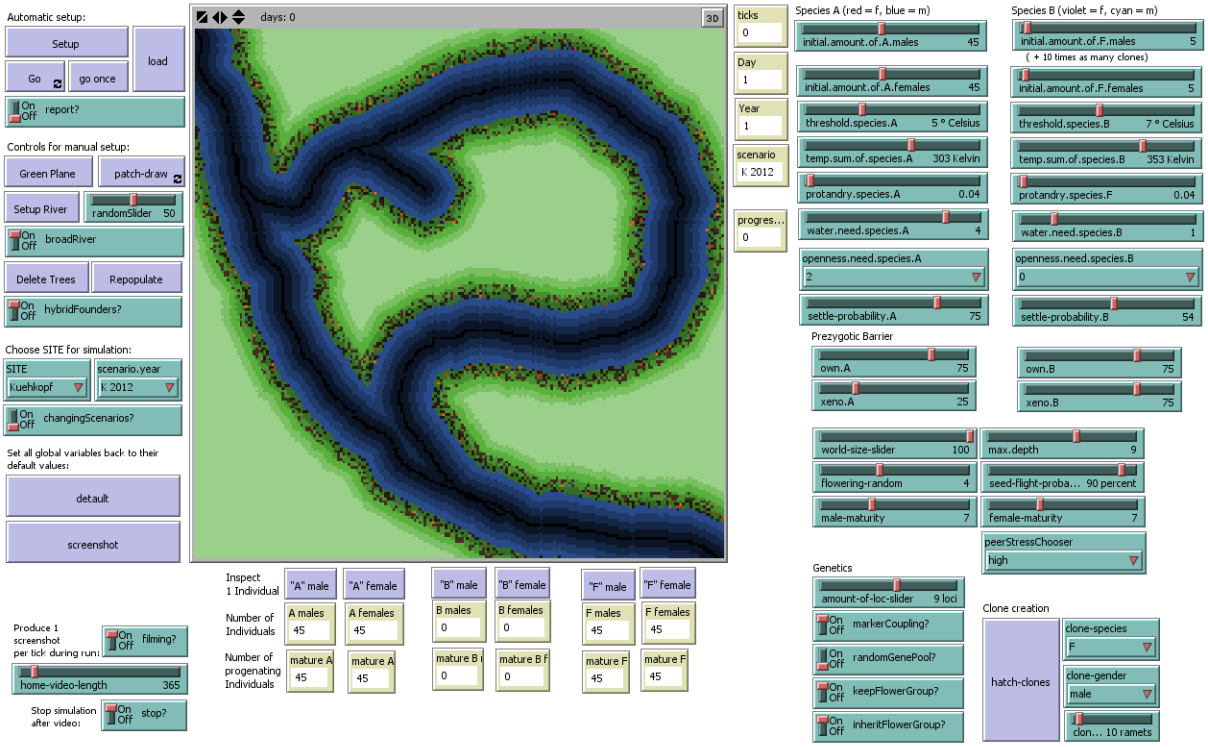


Abb. 3: Stand der grafischen Oberfläche des Simulationsmodells unter NetLogo (v. 5.0.5) mit dem NSG „Altrhein Kühkopf-Knoblauchsaue“ nachempfundenem, simulierten Flusslauf, vgl. Abb. 2

Nächste Schritte

Der naheliegende Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Blühphänologie der untersuchten Populus-Individuen und der Ausprägung lokaler Umweltvariablen (bspw. Lufttemperatur, Bewölkung und Niederschlag) soll unter der Verwendung von Temperatursummenmodellen (häufig auf Englisch „Growth Degree Days“/ GDD und „Thermal Time Modell“ / TTM genannt) getestet und instrumentalisiert werden. Neben den Mendel’schen Vererbungsregeln wird das Model des Weiteren genetische Effekte wie „Hybrid Breakdown“ und „Heterosis“ (auch als Hybrid Vigor bekannt) beinhalten. Auch wird die Möglichkeit bestehen, genetische Diversität der simulierten Populationen nach dem Hardy-Weinberg Prinzip durch virtuelle genetische Marker zu überwachen und zu analysieren. Neben der Veröffentlichung der auf Schwarzpappeln und Hybride spezialisierten Version des Modells ist auch die Bereitstellung einer Version geplant, welche nach geringer Modifikation auf andere zweihäusige Pflanzengenera wie *Salix* angewandt werden kann.

Danksagung

Wir bedanken uns bei allen Projektpartnern von FastWood II für ihre Hilfsbereitschaft und Kooperation weit über das Maß der Pflichterfüllung hinaus – allen voran der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Hann. Münden.

Auch danken wir der AG Ökosystemmodellierung unter Frau Prof. Dr. Kerstin Wiegand für andauernde Zusammenarbeit und Dialog.

Nicht zuletzt gilt unser Dank der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe, deren Finanzierung unsere Forschung überhaupt erst möglich gemacht hat.

Quellen

Augspurger CK, 1983. Phenology, Flowering Synchrony, and Fruit Set of Six Neotropical Shrubs. *Biotropica* 15: 257–267

Participants of the FFI/IUCN SSC Central Asian regional tree Red Listing workshop, Bishkek, Kyrgyzstan (11-13 July 2006). (2006) *Populus Nigra. In: IUCN 2013. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2013.2*

Smulders MJM, Cottrell JE, Lefèvre F, van der Schoot J, Arens P, Vosman B, Tabbener HE, Grassi F, Fossati T, Castiglione S, Krystufek V, Fluch S, Burg K, Vornam B, Pohl A, Gebhardt K, Alba N, Agúndez D, Maestro C, Notivol E, Volosyanchuk R, Pospíšková M, Bordács S, Bovenschen J, van Dam BC, Koelewijn HP, Halfmaerten D, Ivens B, Slycken J van, Vanden Broeck A, Storme V, Boerjan W, 2008. Structure of the genetic diversity in black poplar (*Populus nigra* L.) populations across European river systems: Consequences for conservation and restoration. *Forest Ecology and Management* 255**:** 1388–1399

Staeps F, Hasel J, Bialozyt R, Borschel M, 2014. Bestäubungsexperimente an Hybrid- und Schwarzpappeln – Unterschiedliche Reproduktionserfolge von Pappelklonen. *AFZ - Der Wald* 69: 20–22

Tisue S, Wilensky U, 2004. Netlogo: A simple environment for modeling complexity. *International Conference on Complex Systems:* 16–21

Vanden Broeck A, Cox K, Quataert P, Van Bockstaele E, Van Slycken J, 2003. Flowering Phenology of Populus nigra L., P. nigra cv. italica and P. x canadensis Moench. and the Potential for Natural Hybridisation in Belgium. *Silvae genetica* 52: 280–283

Wilensky U, 1999. *NetLogo.* Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL.

Korrespondierender Autor:
Felix Staeps
Phillips-Universität Marburg
Fachbereich Biologie
AG Naturschutzbiologie
Max-von-Frisch-Str. 8
35032 Marburg
felix.staeps@biologie.uni-marburg.de

Associations of SNPs and phenotypic variables of breeding value in poplars

Karl Gebhardt[1], Marion Hoffmann[1], Matthias Fladung[2], Alwin Janßen[1]

[1]Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Hann. Münden
[2]Thünen-Institut für Forstgenetik, Großhansdorf

Abstract

Evaluations of the growth characters of a set of poplar cultivars including members of the sections Aigeiros and Tacamahaca as well as intra- and intersectional hybrids were made in experimental fields situated nearby the breeding station in Hann. Münden (Germany). The SNP character of each cultivar was determined by resequencing of five candidate genes [cinnamyl alcohol dehydrogenase-like (cad-like, gibberellic acid 20-oxidase (GA20ox), C-repeat binding factor 1 (cbf1), teosinte branched-like1 (tb1), phytochrome B2 (phyB2) and clavata1 (clv1)]. The data from Sanger sequencing (both directions) of the PCR products allowed the creation of a consensus sequence using the software CodonCodeAligner 3.7.1. Heterozygous alleles could be simply recognized as single nucleotide overlays. Using the internet-based program SNPStats (Sole et al. 2006) and the R-Package: SNPassoc [R, version 2.14.1., (R development core team 2011)] significant associations of SNPs with phenotypic characters like height and diameter growth, crown shape and density of branches, became obvious. Since the statistic model used compares genotypes heterozygous and homozygous for the variant allele to the genotypes homozygous for the most frequent allele different modes of inheritance are considered for each SNP. The SNP markers described will allow the genotyping of future breeding populations.

Key words: poplars, SNPs, clavata1, teosinte branched-like1, phytochrome B2

Zusammenfassung

Assoziationen von SPNs und phänotypischen Merkmalen in der Pappelzüchtung

Bewertungen des Wachstumscharakters einer Reihe von Pappel-Sorten aus den Sektionen Aigeiros und Tacamahaca einschließlich intra- und intersektionaler Hybriden wurden im Kamp der Zuchtstation in Hann. Münden gemacht. Der SNP-Charakter jeder Sorte wurde durch Resequenzierung von fünf Kandidaten-Genen bestimmt, [cinnamyl alcohol dehydrogenase-like (cad-like, gibberellic acid 20-oxidase (GA20ox), C-repeat binding factor 1 (cbf1), teosinte branched-like1 (tb1), phytochrome B2 (phyB2) and clavata1 (clv1)]. Die Daten aus der Sanger-Sequenzierung der PCR-Produkte (beide Richtungen) erlaubte die Erstellung einer Konsensus-Sequenz mit Hilfe der Software CodonCodeAligner 3.7.1. Heterozygote Allele waren als Einzel-Nukleotid-Überlagerungen einfach zu erkennen. Mit Hilfe des Internet-basierten Programm SNPStats (Sole et al. 2006), und des R-Paketes: SNPassoc [R, Version 2.14.1, (R development core team 2011)] wurden signifikante Assoziationen von SNPs mit phänotypischen Merkmalen wie Höhen- und Durchmesserwachstum, Kronenform und Beastungsdichte offensichtlich. Die charakterisierten SNP-Marker erlauben die Genotypisierung bestehender und künftiger Zuchtpopulationen.

Schlüsselworte: Pappeln, SNPs, clavata1, teosinte branched-like1, phytochrome B2

Introduction

Since the genome of a black cottonwood was sequenced in 2004 and became available in public domains numerous attempts have been made in order to assign elements of function to the genes of poplar species. Here the results of a candidate gene approach is reported which could be helpful in breeding of poplars.

Materials and Methods

Evaluations of the growth characters of a set of poplar cultivars including members of the sections Aigeiros and Tacamahaca as well as intra- and intersectional hybrids were made in experimental fields situated nearby the breeding station in Hann. Münden and documented by Fröhlich and Grosscurth (1973) for the first time. The scoring of growth characters of even aged clones [1 (best) to 5, average 3] growing on adventitious roots included height and diameter stem growth, crown shape (fastigiate to broad), as well as density of branches (Fig. 1). In order to harmonize the scoring of the different characters, we reduced the scoring levels to 3. The SNP character of each cultivar was determined by resequencing of five candidate genes (Table 1). The data from Sanger sequencing (both directions) of the PCR products allowed the creation of a consensus sequence using the software CodonCodeAligner 3.7.1 Heterozygous alleles could be simply recognized as single nucleotide overlays.

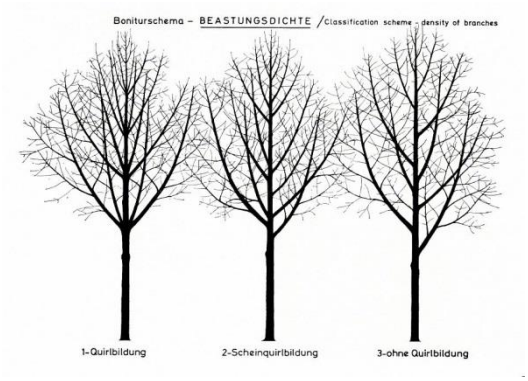


Fig. 1: Scoring of the density of branches

Table 1: Nucleotide-Polymorphisms (SNPs) in the candidate genes cinnamyl alcohol dehydrogenase-like (cad-like), gibberellic acid 20-oxidase (GA20ox), C-repeat binding factor 1 (cbf1), teosinte branched-like1 (tb1), phytochrome B2 (phyB2) and clavata1 (clv1).

Gene	LG	PCR-fragment size db [bp]	Aligned [bp]	Position from Start to	SNPs total	Single-tons	SNPs in Exons	Amino-acidex-change nonsyn.	SNPs in Introns	SNPs in 5'-UTR	In-dels	Amples [n]
CAD-L.	9	517	511	2 - 512	40	4	7	3	32	-	6	70
GA20ox	15	562	560	9 - 567	32	5	32	10	-	-	-	69
CBF1	1	666	659	37 696	58	5	58	20	-	-	-	70
TB1	8	650	648	43 - 691	28	2	28	20	-	-	3	73
PHYB2	10	913	827	-42 - 779	15	3	13	5	-	2	-	64
CLV1	13	1013	989	-106 - 883	89	23	71	42	-	7	1	74
Sum		4321	4194		262	42	209	100	32	9	10	420

Results

Within members of the poplar sections Aigeiros and Tacamahaca inclusively inter- and intrasectional hybrids PCR products of 5 candidate genes (Table 1) were sequenced and SNPs of exons, introns and the 5-UTR-region identified. Using the internet-based program SNPStats (Sole et al. 2006) and the R-Package: SNPassoc [R, version 2.14.1., (R development core team 2011)] significant associations of SNPs with phenotypic characters of breeding value became obvious. Since the statistic model used compares genotypes heterozygous and homozygous for the variant allele to the genotypes homozygous for the most frequent allele different modes of inheritance are considered for each SNP (Tables 2 and 3). The Akaike (AIC)-value and the Bayesian information criterion (BIC) should be lowest for the mode of inheritance that best fits the data. Significant associations became obvious for, diameter growth with SNP 453 of phytochrome B2 (Table 2) and the density of branches with SNP 431 of teosinte branched-like1 (Table 3). Figure 2 illustrates the mean values of the phenotypic response of height growth (Fig. 2A) with SNP 143 and crown shape (Fig. 2B) with SNP 387 of clavata1 -gene accounted for the codominant mode of inheritance.

Table 2: Association of diameter growth with SNP 453 of phytochome B2

X453 association with response diameter.growth (n=64, crude analysis)							
Model	**Genotype**	**n**	**Response mean (s.e.)**	**Difference (95% CI)**	**P-value**	**AIC**	**BIC**
Codominant	C/C	50	2.4 (0.11)	0.00	3e-04	148	156.6
	C/T	6	1.5 (0.22)	-0.90 (-1.53 - -0.27)			
	T/T	8	1.38 (0.18)	-1.03 (-1.58 - -0.47)			
Dominant	C/C	50	2.4 (0.11)	0.00	<0.0001	146.1	152.5
	C/T-T/T	14	1.43 (0.14)	-0.97 (-1.41 - -0.54)			
Recessive	C/C-C/T	56	2.3 (0.11)	0.00	0.0025	153.8	160.3
	T/T	8	1.38 (0.18)	-0.93 (-1.51 - -0.35)			
Overdominant	C/C-T/T	58	2.26 (0.11)	0.00	0.033	158.5	165
	C/T	6	1.5 (0.22)	-0.76 (-1.44 - -0.08)			
Log-additive	---	---	---	-0.56 (-0.83 - -0.30)	1e-04	147.4	153.8

Table 3: Association of the density of branches with SNP 431 of teosinte branched-like1

X431 association with response density.of.branches (n=73, crude analysis)							
Model	**Genotype**	**n**	**Response mean (s.e.)**	**Difference (95% CI)**	**P-value**	**AIC**	**BIC**
Codominant	G/G	28	2.11 (0.18)	0.00	0.0016	178.9	188.1
	A/G	39	1.51 (0.12)	-0.59 (-0.98 - -0.21)			
	A/A	6	1 (0)	-1.11 (-1.81 - -0.40)			
Dominant	G/G	28	2.11 (0.18)	0.00	0.001	179.1	186
	A/G-A/A	45	1.44 (0.1)	-0.66 (-1.04 - -0.28)			
Recessive	G/G-A/G	67	1.76 (0.11)	0.00	0.037	185.8	192.7
	A/A	6	1 (0)	-0.76 (-1.46 - -0.06)			
Overdominant	G/G-A/A	34	1.91 (0.17)	0.00	0.048	186.2	193.1
	A/G	39	1.51 (0.12)	-0.40 (-0.79 - -0.01)			
Log-additive	---	---	---	-0.57 (-0.87 - -0.27)	3e-04	176.9	183.8

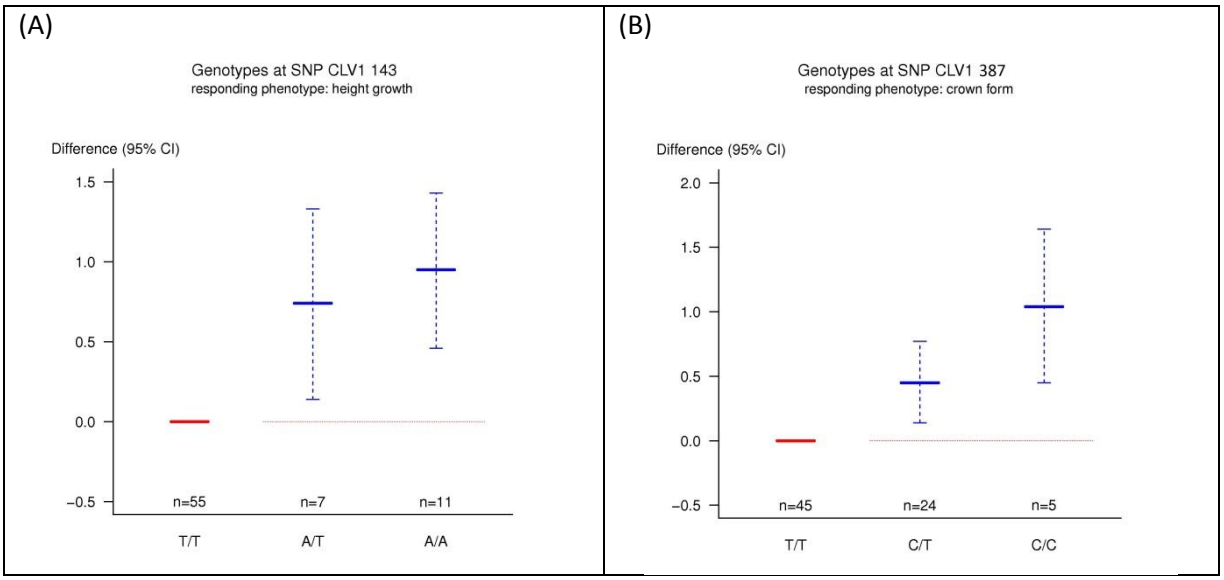


Fig. 2: Differences of the response means for height growth (A) and crown form (B) of the genotypes of two SNPs of the clavata1-gene by codominant mode of inheritance: (A) Response height growth with SNP 143, and (B) response crown form with SNP 387

Conclusion

With the information gained from resequencing candidate genes of phenotypically characterized cultivars it was possible to identify significant associations of SNPs with phenotypic characters of high breeding value. The SNP markers described will allow the genotyping of future breeding populations. With the use of genotyping platforms now available the genotyping for breeding purposes will become more attractive and cost efficient. Crucial to the success of genotyping will be next the underlying biological evidence also the robustness of SNP markers. This should be secured by clarifying the inheritance of each marker, using population studies respectively genetic epidemiology studies with different populations and progenies.

Acknowledgements and note

For technical assistance in the lab we are grateful to Mrs. Müller (NW-FVA). For advices on the statistical analysis we thank Dr. Egbert Schoenfelder. The underlying project of this report was financially supported by the German Federal Minister of Food and Agriculture (FKZ: 22013709 PT-FNR). The authors take full responsibility for the content.

Literature

Froehlich H-J, Grosscurth W, 1973. Züchtung, Anbau und Leistung der Pappeln. Mittteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, Band 18.

Sole X, Guino E, Valls J, Iniesta R, Moreno V, 2006. SNPStats: a web tool for the analysis of association studies. Bioinformatics 22: 1928-1929.

Korrespondierender Autor.
Dr. Karl Gebhardt
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
34346 Hann. Muenden
karl.gebhardt@nw-fva.de

SNPs of the Clavata1-Gene exhibit associations with growth characteristics of willows (*Salix spp.*)

Karl Gebhardt[1], Marion Hoffmann[1], Birgit Ziegenhagen[2], Sascha Liepelt[2] Alwin Janßen[1]

[1]Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Hann. Münden
[2]Philipps-Universität Marburg, Marburg

Abstract

Like microsatellites that can be amplified in members of the different sections as well as in hybrids, SNPs of candidate genes may exist that can be detected in the genes of distantly related species and hybrids. Some of these SNPs can be associated with certain phenotypes and may be indicative of variation important for adaptation. The object of this study was to identify SNP markers that will explain a large proportion of the heritable variation of phenotypes and could be useful for marker assisted selection of willows. The SNP character of willows was determined by resequencing of the candidate gene CLAVATA1 (CLV1). Using the acquired position information of 12 SNPs and the KASP technology it was possible to genotype 30 cultivars of known growth character evaluated after 3 growing seasons in short rotation. Two SNPs of the CLV1 gene exhibited significant associations with fresh weight and the number of axillary shoots of willow cultivars.

Key words: CLAVATA1, SNP associations, willow cultivars, short rotation

Zusammenfassung

SNPs des Clavat1-Gens zeigen Assoziationen mit Wachstumsmerkmalen bei Weide (*Salix* spp.)

Wie Mikrosatelliten, die in Individuen unterschiedlicher Sektionen sowie in Hybriden amplifiziert werden können, existieren SNPs von Kandidatengenen auch in entfernt verwandten Arten und Hybriden. Einige dieser SNPs können mit bestimmten Phänotypen assoziiert und somit anpassungsrelevant sein. Das Ziel dieser Studie war es, SNP-Marker, die einen großen Anteil der vererbbaren Variation der Phänotypen erklären, zu identifizieren um sie künftig für markergestützte Selektion von Weiden-Kreuzungsprodukten nutzen zu können. Der SNP-Charakter der Weiden wurde durch Resequenzierung des Kandidatengens CLAVATA1 (CLV1) bestimmt. Mit der gewonnenen Positionsinformation konnte für 12 SNPs mit Hilfe der KASP-Technologie die Genotypisierung von 30 Sorten erfolgen deren Wuchseigenschaften im Kurzumtrieb nach drei Vegetationsperioden ermittelt wurden. Für zwei SNPs des CLV1-Gens konnten signifikante Assoziationen mit dem Frischgewicht und der Anzahl gebildeter Achselsprosse der Weidensorten nachgewiesen werden.

Schlüsselworte: CLAVATA1, SNP-Assoziationen, Weidensorten, Kurzumtrieb

Introduction

Like microsatellites that can be amplified in members of the different sections as well as in intra- and intersectional hybrids SNPs of candidate genes may exist that can be detected in the genes of distantly related species and hybrids. Some of these SNPs may be indicative of variation important for adaptation and can be associated with certain phenotypes. The object of this study was to identify SNP markers that will explain a large proportion of the heritable variation of phenotypes and could be useful for marker assisted selection of willows. A candidate gene approach including the

CLAVATA1 (CLV1) gene was chosen. As summarized by BUSH (2008) the CLV1-Gene has been postulated to either inhibit proliferation of undifferentiated cells at the meristem or promote the transition of these cells toward differentiation. By the effort of CLARK et al. (1997) it became obvious that CLV1 encodes a putative receptor kinase. When it was downregulated in *Arabidopsis*, a significant increase in secondary growth was observed.

Materials and Methods

Evaluations of the growth characters of 30 willow cultivars were made 3 years after the establishment of a field trial close to the breeding station in Hann. Münden (distance of planted cuttings: 0.5 x 1.5 m). The measurements of growth characters of regularly 24 ramets/clone (total: 720) included the number of axillary shoots/ramet, the height [m] and the fresh weight [kg] of the total shoot mass per ramet (Fig. 1). The SNP character of willows was determined by resequencing of the candidate gene CLAVATA1 (CLV1) described for poplars by Bush (2008). The data from Sanger sequencing (both directions) of the PCR product (915 bp) (Tab. 1), allowed the creation of a consensus sequence using the software CodonCode Aligner 3.7.1. Heterozygous alleles could be simply recognized as single nucleotide overlays. Providing the positional information of 12 SNPs to the company LGC Genomics (http://www.lgcgenomics.com/) the SNP genotyping of the cultivars was performed using the KASP technology. In order to analyze associations the internet based program SNPStats (Sole et al. 2006) and the R-Package: SNPassoc [R, version 2.14.1., (R development core team, 2011)] were used. This model compares genotypes heterozygous and homozygous for the variant allele to the genotypes homozygous for the most frequent allele with respect to different modes of inheritance.

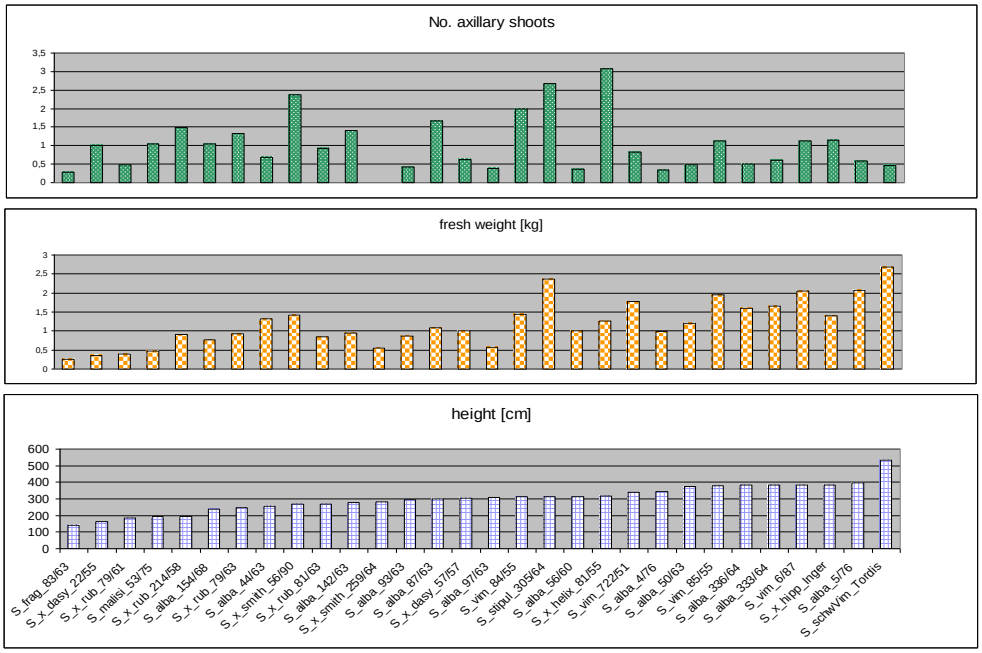


Fig. 1: Growth characters of 30 cultivars in a short rotation field test, age 3

Table 1: Nukleotide-Polymorphisms (SNPs) in CLV1 (P.trichocarpa: XM_002319628)

Gene / Identification	Function	Literature	Sequence	Coding		Noncoding		Total
				syn.	nonsyn.	5'UTR	Intron	
Clavata1 (CLV1), (AT1G75820)	Receptor kinase, (secundary) growth regulation	Bush (2008)	915 bp	9	10	2	0	21

Results and Discussion

A genetically diverse number of cloned cultivars (Fig. 1) differed significantly in no. of axillary shoots, freshweight and mean height growth after 3 vegetation periods in the field. About one third of the Gene CLV1 including the 5'-UTR-Region was successfully resequenced and exhibited 19 SNPs in the exon and two in the noncoding regions. The clustering of the SNPs as demonstrated in Figure 2 revealed a number of so called tag-SNPs representing significant allelic effects. In order to assess the association between the SNP polymorphisms and the quantitative growth characters we used the internet based program SNPStats which applies a chi-square test and gives an estimation of the odds ratio for each genotype with respect to the most frequent (reference) genotype and the expected mode of inheritance (5 modes are defined). Table 2 (association of SNP 300 of CLV1 with fresh weight (kg) per ramet) and Table 3 (association of SNP 147 of CLV1 with the number of axillary shoots per ramet) show the response means of the different genotypes with respect to the mode of inheritance, the calculated differences, p-values, the Akaike (AIC)-value and the Bayesian information criterion (BIC) which are lowest for the inheritance model that best fits the data. In addition the differences of the response means and their 95 % confidence intervals are viualized in Figure 3. The two significant associations demonstrated should be confirmed with a higher number of individuals and after short rotation has progressed further. The genotyping platforms which are nowadays available can make the use of SNP markers for breeding purposes more attractive and cost efficient.

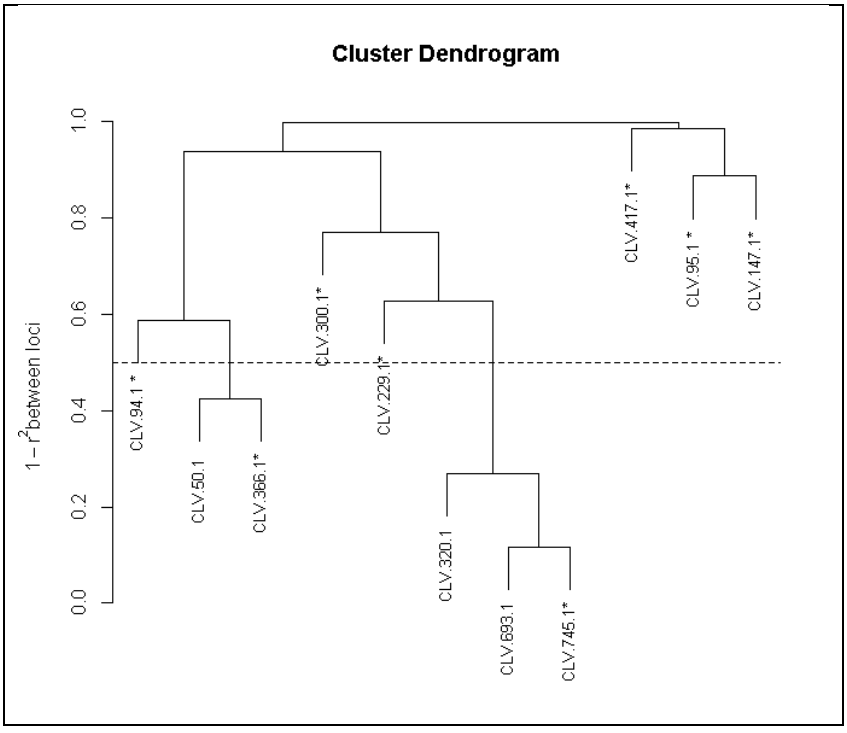


Fig. 2: Clustering of selected SNPs of the candidate gene CLAVATA1 (CLV1) from R-Package SNPClust; Tag-SNPs are marked with an asteriks (*)

Table 2: Association of SNP 300 of CLV1 with fresh weight (kg) per ramet

CLV.300.1 association with response fresh.weight..kg. (n=27, crude analysis)							
Model	**Genotype**	**n**	**Response mean (s.e.)**	**Difference (95% CI)**	**P-value**	**AIC**	**BIC**
Codominant	A/A	19	1 (0.11)	0.00			
	A/G	4	1.69 (0.33)	**0.70 (0.18 - 1.21)**	8e-04	41.5	46.7
	G/G	4	2.04 (0.12)	**1.04 (0.52 - 1.55)**			
Dominant	A/A	19	1 (0.11)	0.00	2e-04	40.6	44.5
	A/G-G/G	8	1.87 (0.18)	**0.87 (0.47 - 1.26)**			
Recessive	A/A-A/G	23	1.12 (0.12)	0.00	0.0039	46.4	50.3
	G/G	4	2.04 (0.12)	**0.92 (0.35 - 1.48)**			
Overdominant	A/A-G/G	23	1.18 (0.12)	0.00	0.13	53	56.9
	A/G	4	1.69 (0.33)	0.51 (-0.12 - 1.15)			
Log-additive	---	---	---	**0.55 (0.30 - 0.79)**	2e-04	40	43.8

Table 3: Association of SNP 147 of CLV1 with the number of axillary shoots per ramet

CLV.147.1 association with response No..axillary.shoots (n=28, crude analysis)							
Model	**Genotype**	**n**	**Response mean (s.e.)**	**Difference (95% CI)**	**P-value**	**AIC**	**BIC**
Codominant	G/G	25	0.83 (0.11)	0.00			
	G/C	1	2 (0)	**1.17 (0.12 - 2.23)**	<0.0001	48.6	53.9
	C/C	2	2.88 (0.21)	**2.05 (1.29 - 2.81)**			
Dominant	G/G	25	0.83 (0.11)	0.00	<0.0001	48.5	52.5
	G/C-C/C	3	2.58 (0.32)	**1.76 (1.12 - 2.40)**			
Recessive	G/G-G/C	26	0.87 (0.11)	0.00	1e-04	51.4	55.4
	C/C	2	2.88 (0.21)	**2.00 (1.19 - 2.82)**			
Overdominant	G/G-C/C	27	0.98 (0.15)	0.00	0.19	67.5	71.5
	G/C	1	2 (0)	1.02 (-0.48 - 2.53)			
Log-additive	---	---	---	**1.04 (0.68 - 1.40)**	<0.0001	46.7	50.6

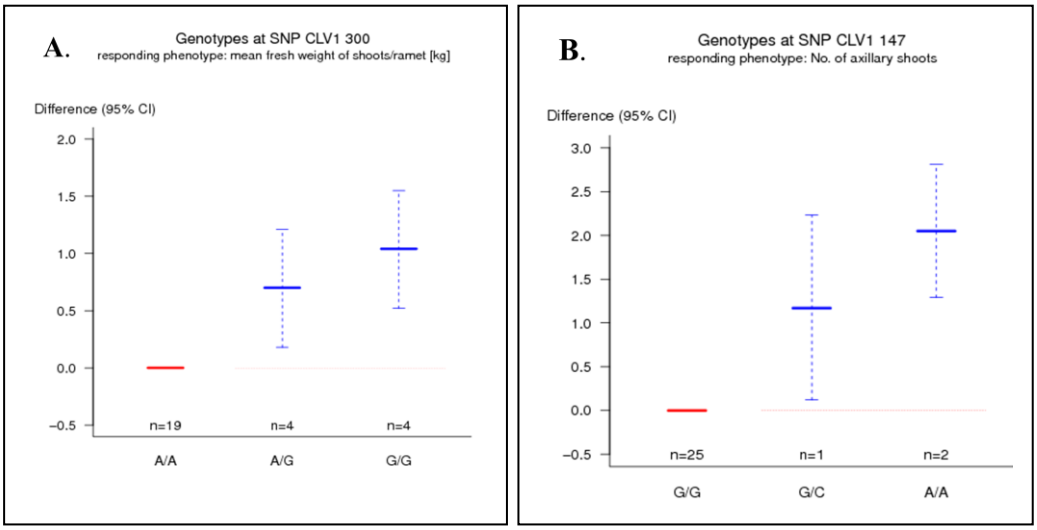


Fig. 3: Differences of the response means of fresh weight (A) and number of axillary shoots (B) for two SNP genotypes: (A) CLV1_300 fresh weight / ramet, and (B) CLV1_147 No. of axillary shoots / ramet

Acknowledgement

For technical assistance in the lab we are grateful to Mrs. Müller (NW-FVA). For advices on the statistical analysis we thank Dr. Egbert Schoenfelder. The underlying project of this report was

financially supported by the German Federal Minister of Food and Agriculture (FKZ: 22013709 PT-FNR). The authors take full responsibility for the content.

Literature

Bush M, 2008: Identifying genes that regulate secondary growth in poplar. Master Thesis, Queens Univ., Kingston, Ontario, Canada.

Clark SE, Williams RW, Meyerowitz EM, 1997: The *CLAVATA1* gene encodes a putative receptor kinase that controls shoot and floral meristem size in Arabidopsis. Cell. 89: 575–585.

Sole X, Guino E, Valls J, Iniesta R, Moreno V, 2006: SNPStats: a web tool for the analysis of association studies. Bioinformatics 22: 1928-1929.

Korrespondierender Autor.
Dr. Karl Gebhardt
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
34346 Hann. Muenden
karl.gebhardt@nw-fva.de

SNP-Variation in Kandidatengenen bei *Salix* – Vergleich zwischen natürlichen *S. viminalis*-Populationen und einer Zuchtpopulation von *S. spp.*

Karl Gebhardt[1], Birgit Ziegenhagen[2], Alwin Janßen[1], Marion Hoffmann[1], Sascha Liepelt[2]

[1]Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Hann. Münden
[2]Philipps-Universität Marburg, Marburg

Zusammenfassung

Für die Auswahl von Kreuzungspartnern zur Züchtung schnellwachsender Weiden, ist die gegebene genetische Variation in exprimierten Genen vermutlich bedeutsamer als die bisher vielfach beschriebene genetische Variation an anonymen, neutralen Genorten. Mit der vorgestellten Methodik gelang es Abschnitte der fünf Gene PPO (AF368291), GA 20ox (AJ843624), LFY (U93196), Clavata1 (AT1G75820) und ARK1 (Poptr_004s02720) zu resequenzieren. Mittels BLAST wurde geprüft ob die erhaltenen Sequenzen aus dem Ziel-Gen stammten. Die Genotypisierung von 53 Einzelnukleotid-Polymorphismen erfolgte mit Hilfe der KASP-Technologie an Individuen aus natürlichen Korbweiden-Populationen von der Elbe sowie an 63 Zuchtsorten der NW-FVA. Mittels einer Hauptkoordinatenanalyse wurde überprüft, ob sich die Züchtungsklone und die Individuen der natürlichen Korbweiden-Populationen bezüglich der Nukleotidvariation in den beschriebenen Genen unterscheiden. Zuchtsorten von *S. viminalis* und deren Hybriden gruppierten jedoch mit den Individuen aus der natürlichen Population während Klone von *S. alba*, *S. x rubens* und *S. fragilis* ein separates Cluster bildeten. Beim Vergleich der allelischen Muster der natürlichen Population und der Zuchtsorten zeigten sich relativ hohe Werte für die Korbweiden und deutlich niedrigere Werte für die Vertreter der Arten *S. alba*, *S. fragilis* und ihrer Hybriden.

Schlüsselworte: Korbweiden, Zuchtsorten, allelische Muster, SNPs

Abstract

SNP variations of candidate genes of *Salix* – comparison between natural *S. viminalis* populations and a breeding population of *Salix* spp.

For the selection of crossing partners for breeding fast-growing willows, the given genetic variation in expressed genes is probably more significant than the previously described genetic variation at anonymous, neutral loci. With the presented methodology we succeeded to resequence sections of the five genes PPO (AF368291), GA-20ox (AJ843624), LFY (U93196), Clavata1 (AT1G75820) and ARK1 (Poptr_004s02720). By BLAST it was examined whether the sequences obtained originated from the target gene. Genotyping of 53 single nucleotide polymorphisms was performed using the KASP-technology with 410 individuals from natural osier-populations and with 63 cultivars of a breeding population of the NW-FVA. By means of a main coordinate analysis it was checked whether different clones of a breeding population and the individuals of the natural osier populations differed in nucleotide variationof the above-described genes. However, cultivars of *S. viminalis* and their hybrids clustered with individuals from a natural population while clones of *S. alba*, *S. x rubens* and *S. fragilis* formed a separate cluster. When comparing the allelic patterns of natural populations and cultivars we found relatively high values for the osier and significantly lower values for the representatives of the species *S. alba*, *S. fragilis* and their hybrids.

Key words: osier; cultivars, allelic pattern, SNPs

Einleitung

Genomische Forschung mit schnellwachsenden Baumarten motiviert sich sowohl durch die Notwendigkeit der züchterischen Verbesserung als auch der Entwicklung diagnostischer Methoden zur Erhaltung, Wiederherstellung und Bewirtschaftung natürlicher Populationen. Wie Neale und Kremer (2011) zusammenfassten wird die genomische Forschung an Waldbäumen duch deren lange Generationszeiten sowie dem Mangel an gut charakterisierten Mutanten und Zuchtlinien behindert. Genomforschung basierend auf dem Nachweis von SNPs ermöglicht es nun einen möglichen genomischen Effekt der Domestikation in physiologisch relevanten Kandidatengenen zu überprüfen.

Material und Methoden

Aus den von MOSNER et al. (2012) beschriebenen natürlichen Populationen von *S. viminalis* (26 Bestände) entlang der mittleren Elbe wurden 410 Individuen resequenziert. 63 der verwendeten Weiden-Zuchtsorten stammen aus dem Salicetum Vaake der NW-FVA. Die schwedischen Zuchtsorten Inger (*S. hippohaefolia*) und Tordis (S_schw_x_vim_x_vim) wurden ebenfalls untersucht. Von den in Tabelle 1 angeführten Genen konnten PCR-Produkte erstellt werden, die von der Menge und Qualität her für Sequenzierung geeignet waren. Die für Pappel konstruierten Primerpaare sind bei Fladung und Buschbom (2009) beschrieben. Nach Sanger-Sequenzierung wurde mit Hilfe der Software CodonCode Aligner 3.7.1 eine Consensus-Sequenz erstellt. Mittels BLAST wurde geprüft ob die erhaltenen Sequenzen aus dem Ziel-Gen stammten. Die Genotypisierung der 53 SNPs erfolgte mit Hilfe der KASP-Technologie (http://www.lgcgenomics.com/). Auf Basis der mit GenAlEx berechneten genetischen Distanzen zwischen Individuen wurden eine Hauptkoordinatenanalyse und ein Vergleich der allelischen Muster durchgeführt.

Tabelle 1: Nukleotid-Polymorphismen (SNPs) in 5 Kandidatengenen

Gen / Identifikation	Funktion	Literatur	Sequenz	Kodierend		Nichtkodierend		Gesamt
				syn	nichtsyn	5'UTR	Intron	
PPO (AF368291)	Polyphenoloxidase Wound response	Constabel et al. (2000)	1628 bp	2	1	0	0	3
GA20ox (AJ843624)	Gibberellic acid 20-oxidase, elongation growth	Israelsson et al (2005)	983 bp	2	2	0	0	4
LEAFY (LFY) (U93196)	Meristem identity transcription factor	Rottmann et al. (2000)	842 bp	3	0	0	25	28
Clavata1 (CLV1) (AT1G75820)	Receptor kinase, (secundary) growth regulation	Bush (2008)	915 bp	9	10	2	0	21
ARK1 (Poptr_004s02720)	Serin-/Threonin-Kinase/trans-membranes Re-zeptorprotein	Groover et al. (2006)	2845 bp	15	8	0	9	32

Ergebnisse und Diskussion

Wie in Tabelle 1 summarisch dargestellt, enthielt das Polyphenoloxidase-Gen keine Introns und zeigte die geringste Variabilität. Es wurden 3 SNPs detektiert. Nur PPO_491 zeigte eine nicht-synonyme Variation. Vom Gibberellinsäure-Oxidase-Gen konnten 3 Abschnitte sequenziert werden wobei ein Abschnitt sich nicht erfolgreich mit der Referenz verschneiden ließ. Von 4 SNPs in den Exon-Regionen waren 2 nichtsynonym und führten zu einem Aminosäureaustausch. Vom Gen Leafy konnte nur ein 294bp langer Abschnitt des Exons sequenziert werden. Dieser enthielt 3 synonyme SNP's und keine nicht-synonyme Variation. Der Intronbereich zeigte sich mit 25bp als reich an

Variation. Vom CLAVATA1-Gen konnte etwa das erste Drittel erfolgreich analysiert werden. Dieser Bereich war frei von Introns, jedoch wurden 69 bp des 5'-nicht-transkribierten Bereiches sequenziert. Letzterer enthielt 2 SNPs. 19 SNPs fanden sich im kodierenden Bereich wovon 10 nichtsynonym waren. Das ARK1-Gen (Serin-/Threonin-Kinase) wurde nahezu vollständig resequenziert. Es wurden 32 SNPs dieses Gens detektiert. Davon lagen 9 in Introns vor, 15 waren synonym und 8 nicht-synonym.

Mittels einer Hauptkoordinatenanalyse (Abb. 1) wurde überprüft, ob sich die Züchtungsklone und die Individuen einer natürlichen Population bezüglich der Nukleotidvariation in den beschriebenen Genen unterscheiden. Zuchtsorten von *S. viminalis* und deren Hybriden gruppierten jedoch mit den Individuen aus der nat. Population während Klone von *S. alba*, *S. ×rubens* und *S. fragilis* ein separates Cluster bildeten. Beim Vergleich der allelischen Muster der natürlichen Population und der Zucht-sorten (Abb. 2) zeigten sich vgl. hohe Werte für die Korbweiden und deutlich niedrigere Werte für die Art *S. alba* und ihre Hybriden *S. ×rubens.*

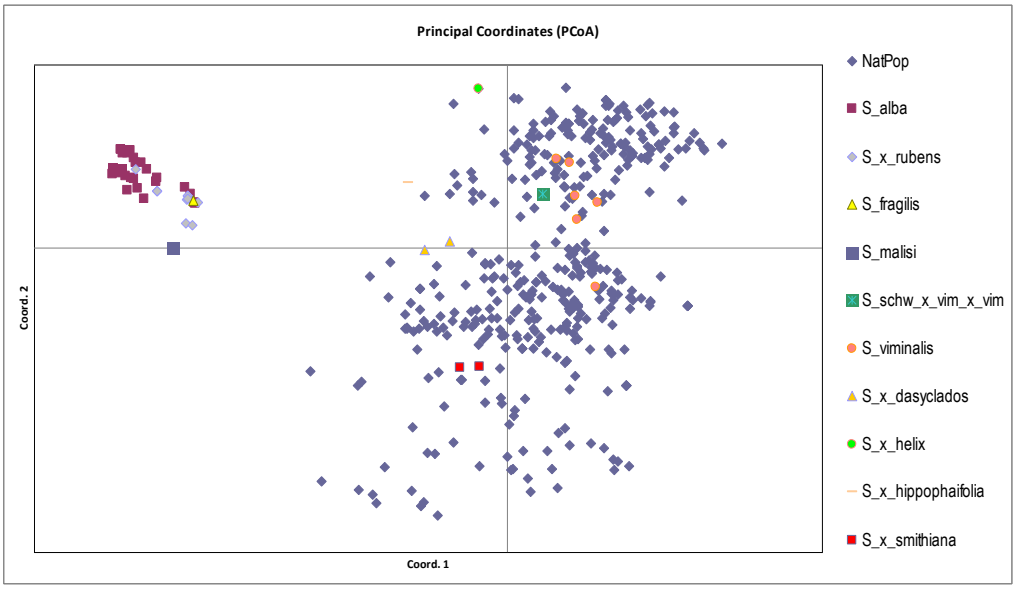


Abb. 1: Hauptkoordinaten-Analyse auf der Grundlage von 53 SNP-Loci

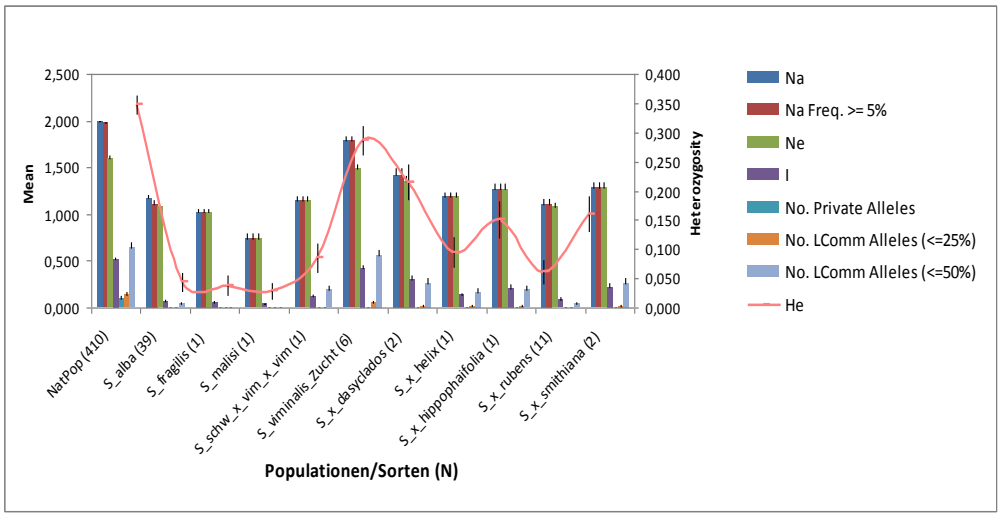


Abb. 2: Allelische Muster der Populationen/Sorten

Für die Auswahl von Kreuzungspartnern zur Züchtung schnellwachsender Weiden, die sich für die Zwecke der Energieholzgewinnung in kurzen Umtrieben eignen, ist die gegebene genetische Variation in exprimierten Genen vermutlich bedeutsamer als die bisher vielfach beschriebene genetische Variation an anonymen, neutralen Genorten. Mit der vorgestellten Methodik gelang es Abschnitte von 5 Genen zu resequenzieren, Einzelnukleotid-Polymorphismen zu detektieren und eine größere Probenzahl zu genotypisieren.

Danksagung und Hinweis

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft u.Verbraucherschutz vom 1.06.10 bis 31.5.13 unter dem FKZ: 22013709 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren.

Literatur

Bush MJ, 2008: Identifying genes that regulate secondary growth in poplar. Master Thesis, Queens Univ., Kingston, Ontario, Canada.

Constabel CP, Yip L, Patton JJ, Christopher ME, 2000: Polyphenol oxidase from hybrid poplar. Cloning and expression in response to wounding and herbivory. Plant Physiol 124: 285–295.

Fladung M, Buschbom J, 2009: Identification of single nucleotide polymorphisms in different *Populus* species. Trees 23: 1199-1212.

Groover AT, Mansfield SD, DiFazio SP, Dupper G, Fontana JR, Millar R, Wang Y, 2006: The *Populus* homeobox gene ARBORKNOX1 reveals overlapping mechanisms regulating the shoot apical meristem and the vascular cambium. Plant Mol Biol 61(6): 917-932.

Israelsson M, Sundberg B, Moritz T, 2005: Tissue-specific localization of gibberellins and expression of gibberellin biosynthetic and signalling genes in wood-forming tissues in aspen. The Plant Journal 44: 494-504.

Mosner E, Liepelt S, Ziegenhagen B, Leyer I, 2012: Floodplain willows in fragmented river landscapes: Understanding spatiotemporal genetic patterns as a basis for restoration plantings. Biological Conservation 153: 211–218.

Neale DB, Kremer A, 2011: Forest tree genomics: growing resources and applications. Nature Reviews Genetics 12: 111-122.

Rottmann WH, Meilan R, Sheppard LA, Brunner AM, Skinner JS, Ma C, Cheng S, Jouanin L, Pilate G, Strauss SH, 2000: Diverse effects of overexpression of LEAFY and PTLF, a poplar (*Populus*) homolog of LEAFY/FLORICAULA, in transgenic poplar and Arabidopsis. Plant Journal. 22: 235-246.

Korrespondierender Autor:
Dr. Karl Gebhardt
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
34346 Hann. Muenden
karl.gebhardt@nw-fva.de

Melampsora-Rost an Pappeln der Sektion *Populus*

Aletta Grimrath[1], Annika Müller-Navarra[1], Volker Schneck[1], Mirko Liesebach[2]

[1]Thünen-Institut für Forstgenetik, Waldsieversdorf
[2]Thünen-Institut für Forstgenetik, Großhansdorf

Zusammenfassung

Rostpilze der Gattung *Melampsora* zählen zu den wichtigsten Schaderregern an Pappeln der Sektion *Populus* (bestehend aus Aspen und Weiß-Pappeln). Auf den Prüfflächen des Verbundvorhabens FastWOOD wurde daher der Rostbefall bonitiert und Rostproben zur molekulargenetischen Bestimmung gesammelt. Es konnte gezeigt werden, dass der Befallsdruck auf den Flächen zunimmt und Hybridaspen (Kreuzungen der Europäischen mit der Amerikanischen Aspe) weniger befallen werden als reine Europäische Aspen. Zusätzlich konnten zwei Rostarten als Erreger identifiziert werden: *Melampsora pinitorqua* und *M. magnusiana*.

Schlüsselworte: *Melampsora*, *Populus*, Pappelblattrost, DNA barcoding

Abstract

Melampsora* rusts on poplars of the section *Populus

The fungal rust genus *Melampsora* ranks among the important pathogens on poplars of section *Populus* (including aspens and white poplar). Hence the leaf rust infection rate was evaluated on plantations of joint research project FastWOOD and rust samples were taken for identification via DNA barcoding. Results showed that the infection rate in plantations increases gradually and hybid-aspen (cross-breedings of European aspen and American quaking aspen) had a generally lower infection rate than European aspen. Additionally, two different rust species were identified: *Melampsora pinitorqua* und *M. magnusiana*.

Keywords: *Melampsora*, *Populus*, Poplar leaf rusts, DNA barcoding

Einleitung

Zu den Pappeln der Sektion *Populus* gehören die Aspen (syn. Zitter-Pappel, Espe), die Silber-Pappel und die Grau-Pappel sowie weitere nordamerikanische und asiatische Arten. Nachkommen aus der Kreuzung von Europäischer (*P. tremula*) mit Amerikanischer Aspe (*P. tremuloides*) werden als Hybridaspen (*P. ×wettsteinii*) bezeichnet. Diese sind im Wachstum den reinen Europäischen Aspen in der Regel überlegen. Zu den wichtigsten Schaderregern an Pappeln der Sektion *Populus* zählen die Rostpilze. Der Pappelblattrost, der durch Pilze der Gattung *Melampsora* hervorgerufen wird, bewirkt eine Reduktion der Assimilationsfläche und einen vorzeitigen Blattfall. Dabei ist die Anfälligkeit zwischen Arten und Klonen unterschiedlich. Europäische Aspen werden in der Regel stärker befallen als Amerikanische Aspen (Gallo et al. 1985), was in Züchtungsprogrammen berücksichtigt wird.

Material und Methoden

Auf den im Verbundvorhaben FastWOOD (2008-2013) angelegten Prüfflächen wurde der Rostbefall anhand eines fünfstufigen Schemas (1= kein Befall bis 5= sehr starker Befall) bonitiert. Außerdem

wurden Rostproben von Aspe, Hybridaspe, Grau- und Weiß-Pappel zur genetischen Identifizierung auf den Versuchsflächen und in den Klonsarchiven eingesammelt. Die Artbestimmung erfolgte durch DNA-Sequenzierung der ITS-Region, die bei Pilzen als sichere Methode zur Artbestimmung etabliert ist (White et al. 1990, Vogler 1995). Dabei wird die Basenabfolge der ITS-Region des für ribosomale RNA kodierenden DNA-Abschnitts bestimmt.

Ergebnisse

Als Ergebnis der Bonituren auf den Versuchsflächen in Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Brandenburg und Sachsen ist festzuhalten, dass der Befallsdruck im Laufe der Jahre zugenommen hat (Abb. 1). Die Beobachtungen von Gallo et al. (1985), dass Hybridaspen weniger stark befallen werden als die Nachkommenschaften der reinen Europäischen Aspe, wurden bestätigt (Abb. 1).

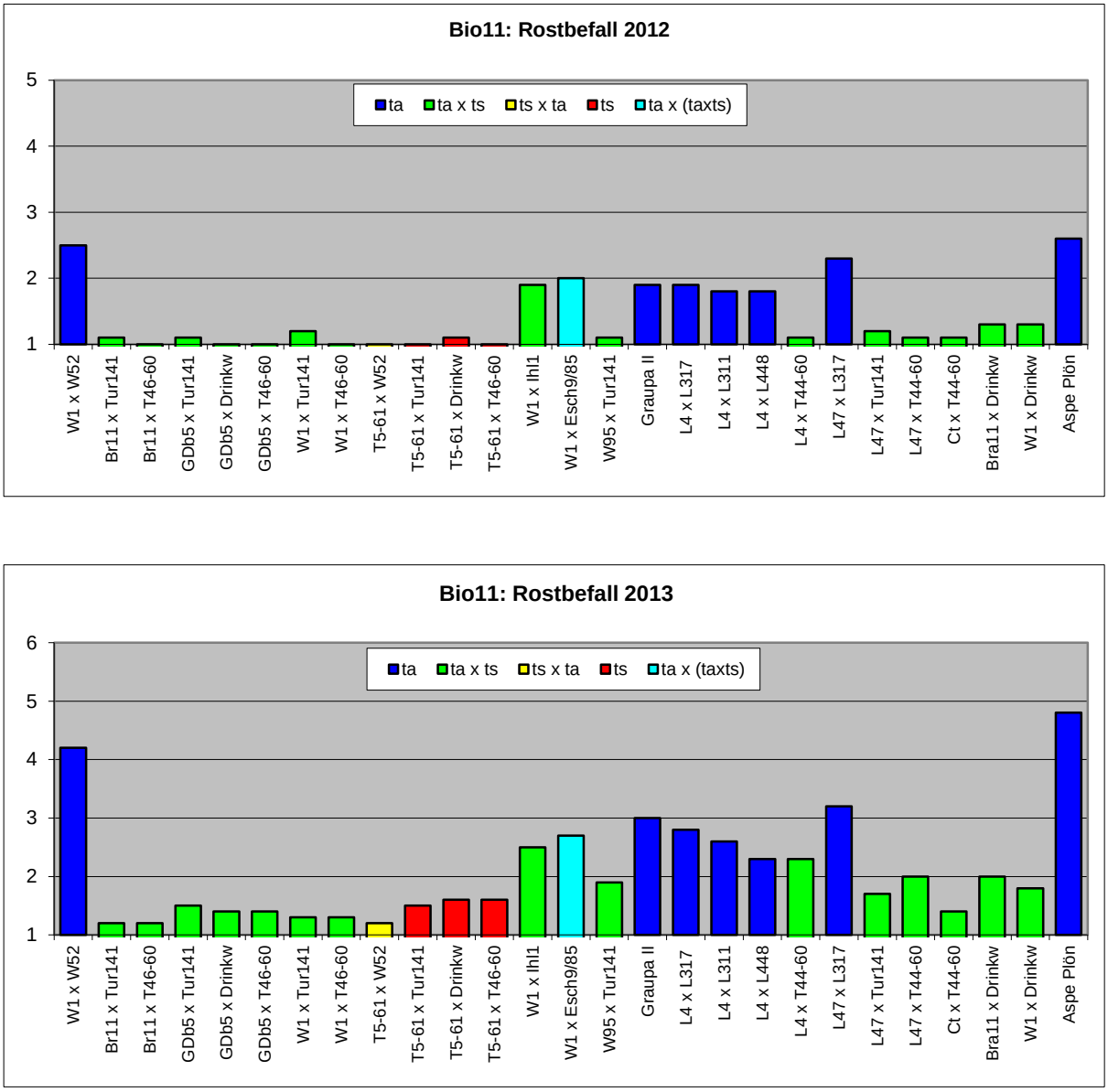


Abb. 1: Mittlerer Rostbefall auf der Fläche Bio11 (Trenthorst) im Jahr 2012 (oben) und 2013 (unten). Blau = Europäische Aspe; rot = Amerikanische Aspe; grün, gelb = Hybridaspe; hellblau = Rückkreuzung Hybridaspe mit Europäischer Aspe

Die genetische Analyse hat das Vorkommen von bislang 2 Pilzarten *Melampsora pinitorqua* (Kiefern-drehrost) und *M. magnusiana* bestätigt. Bei einigen Proben konnte bislang noch keine Zuordnung vorgenommen werden.

Im Auftreten der beiden Rostarten zeichnet sich ein räumliches Muster ab. *M. pinitorqua* wurde auf allen Flächen nachgewiesen. *M. magnusiana* wurde bislang nur auf den Flächen in Schleswig-Holstein und im östlichen Brandenburg angetroffen (Abb. 2), nicht jedoch im mittleren Niedersachsen und Sachsen.

Bemerkenswert ist, dass auf Pflanzen einer Nachkommenschaft beide Rostarten identifiziert wurden.

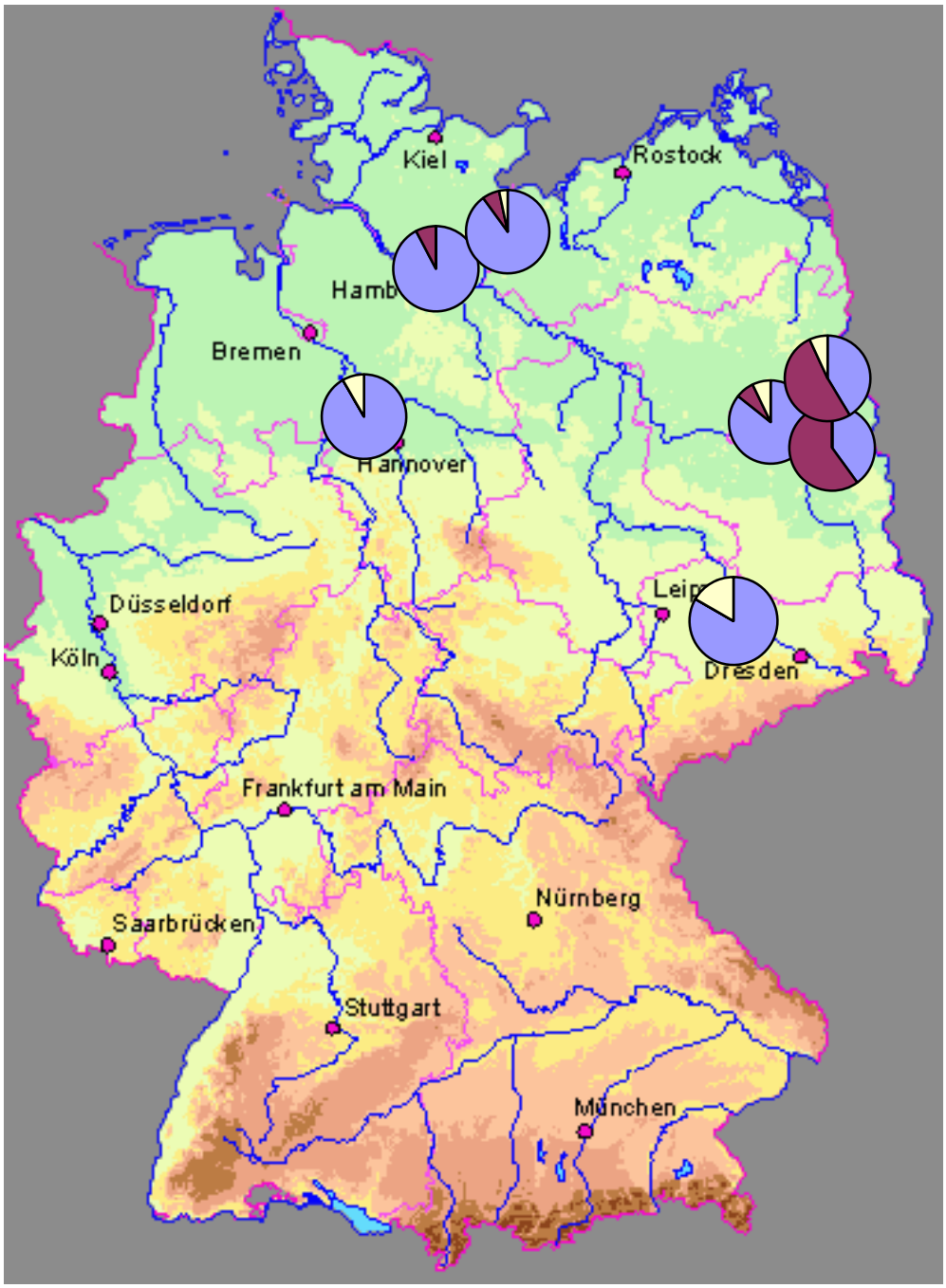


Abb. 2: Verteilung der identifizierten Rostpilzarten (blau = *Melampsora pinitorqua*, rot = *M. magnusiana*, gelb = nicht zuzuordnende Probe) auf die 7 Einsammlungsorte

Ausblick

Hybridaspen sind der reinen Europäischen Aspe in Blattrostresistenz und Wachstum überlegen und daher für die Verwendung im Kurzumtrieb von besonderem Interesse. Bisher ist allerdings erst wenig über die an Pappeln der Sektion *Populus* vorkommenden Blattrostarten bekannt. Neben ersten Antworten zum Artenvorkommen und der räumlichen Verteilung des Auftretens gilt es weitere Fragen zu beantworten:

1. Die Identifikation der Rostarten erfolgte durch den Abgleich von bestimmten DNA-Abschnitten mit in Datenbanken hinterlegten Sequenzen. Auf diese Weise konnten allerdings nicht alle Proben zugeordnet werden. Da die Möglichkeit besteht, dass es sich bei den noch nicht identifizierten Proben um eine weitere Art handeln könnte, sollen weitere Methoden für eine sichere Identifikation zum Einsatz kommen.

2. Die vorliegenden Daten deuten auf ein räumliches Muster des Auftretens von *M. pinitorqua* und *M. magnusiana* hin. In die weiteren Untersuchungen sollten auch Vorkommen aus dem west- bzw. süddeutschen Raum einbezogen werden.

Literatur:

Gallo LA, Stephan BR, Krusche D, 1985: Genetic variation of *Melampsora* rust resistance in progenies of crossings between and within *Populus tremula* and *P. tremuloides* clones. Silvae Genetica 34, 208-214.

Vogler DR, 1995: Use of molecular techniques in rust systematic. In: Kaneko S, Katsuya K, Kakishima M, Ono Y (eds) Proceedings of 4th IUFRO Rusts of Pines Working Party Conference, Tsukuba, 9-15.

White TJ, Bruns T, Lee S, Taylor J, 1990: Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In: Innis MA, Gelfand DH, Sninsky JJ, White TJ (eds.): PCR Products: a Guide to Methods and Applications. Academic Press, San Diego, California, 315-322.

Korrespondierender Autor:
Dr. Mirko Liesebach
Thünen-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstr. 2
22927 Großhansdorf
mirko.liesebach@ti.bund.de

Naturverträgliche Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen

Imke Hennemann-Kreikenbohm[1], Leena Jennemann[2], Wolfgang Peters[2]

[1]NABU-Bundesgeschäftsstelle, Berlin
[2]Bosch & Partner GmbH, Berlin

Zusammenfassung

Die Anlage von KUP kann in ausgeräumten Landschaften zu einer Strukturierung der Landschaft beitragen und lässt positive Effekte für Natur und Landschaft erwarten. Dennoch können durch die Anlage und Bewirtschaftung von KUP auch Konflikte mit den Belangen des Naturschutzes hervorgerufen werden. Eine Chance bietet daher die gezielte Aufwertung von KUP und KUP-Streifen durch die Umsetzung konkreter naturschutzfachlicher Maßnahmen. Im Rahmen des vom Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit geförderten F + E Vorhaben „Naturverträgliche Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen (KUP)“ (2012-2015) untersucht der NABU-Bundesverband zusammen mit der Bosch & Partner GmbH die ökologische Wirksamkeit der Maßnahmen in Bezug auf die biologische Vielfalt. Daneben werden in dem Vorhaben Kriterien zur naturverträglichen Standortwahl von KUP entwickelt.

Schlüsselworte: Kurzumtriebsplantagen (KUP), Kurzumtriebsplantagen-Streifen (KUP-Streifen), naturverträgliche Bewirtschaftung, Naturschutz, Maßnahmen, Biodiversität, Forschungsprojekt

Abstract

Ecologically compatible establishment and management of short rotation coppices

The system of KUP can contribute cleared landscapes to structuring the landscape and can expect positive effects on nature and landscape. Yet, conflicts with the interests of nature conservation can be caused by the installation and cultivation of SRC. Therefore offers opportunities for the selective enhancement of SRC and SRC-strip through the implementation of specific nature conservation measures. In the context of the Federal Agency for Nature Conservation the research project “Ecologically compatible cultivation of short rotation coppice (SRC)” (2012 to 2015) investigated the NABU association with the Bosch & Partner GmbH the environmental effectiveness of the measures in terms of biological diversity. In the context to the project criteria’s for a nature friendly selection of sites for SRC be developed.

Keywords: Short rotation coppice (SRC), short rotation coppice-stripes (SRC-stripes), ecologically compatible cultivation, nature conservation, measures, biodiversity, research-project

Naturschutzfachliche Anforderungen für Kurzumtriebsplantagen

Verglichen mit annuellen Anbaukulturen haben KUP als mindestens 20-jährige Dauerkultur generell einige umwelt- und naturschutzfachliche Vorteile. Der Anbau von KUP kann aber auch Konflikte mit den Zielen des Naturschutzes hervorrufen. Wenn KUP auf großen zusammenhängenden Flächen angebaut werden, kann dies wie bei allen großflächig angelegten Monokulturen zur Monotonisierung der Landschaft führen. Hierdurch kann das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigt werden. Durch diese Monotonisierung wird nicht zuletzt auch die Artenvielfalt reduziert. Zu Konflikten mit den Zielen des Naturschutzes kommt es vor allem beim Anbau von KUP auf naturschutzfachlich

bedeutsamen Flächen, wie z.B. Feuchtwiesen, Fluss- und Bachauen oder Brachflächen sowie Offenlandgebieten mit Wiesenbrüter- und Rastvogelvorkommen, da deren ursprüngliche Lebensraumfunktionen verloren gehen können.

Um potenzielle Konflikte mit dem Natur- und Umweltschutz zu vermeiden bzw. naturschutzfachliche Risiken zu minimieren, sind fachliche Rahmenbedingungen und Mindeststandards für eine naturverträgliche Anlage von KUP erforderlich, die im Ordnungs- und Förderrecht berücksichtigt werden müssen. Um darüber hinaus durch den Anbau von KUP Synergien mit dem Naturschutz zu erreichen, können Maßnahmen im Zusammenhang mit dem Anbau und der Bewirtschaftung aufgezeigt werden, für deren Umsetzung ebenfalls Anreize zu schaffen sind.

Standortkriterien für die Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen (KUP)

Grundlage für die Ermittlung von Standortkriterien bildet eine Wirkungsanalyse, die auf Basis einer Literatur- und Interneterhebung über die Forschungsarbeiten zu KUP (siehe www.energieholz-naturschutz.de) durchgeführt wurde. Weiterhin werden die bislang vorliegenden Empfehlungen für den Anbau von KUP von Seiten des behördlichen Naturschutzes (BfN 2010) und der Verbandsseite (NABU 2008, BUND 2010) zugrunde gelegt.

Aufbauend auf dem Beziehungsgeflecht „Ursache-Wirkung-Betroffener“ werden zunächst die potenziell zu erwartenden Wirkungen des Anbaus von KUP (im Projekt definierte Kulturverfahren einer Pappel-KUP als Monokultur) auf die Landschaftsfunktionen ermittelt. Je nach Eigenschaft und Empfindlichkeit der betroffenen Landschaftsfunktionen kann sich der KUP-Anbau positiv, negativ oder neutral auf diese Funktionen auswirken. Das Ausmaß der negativen oder positiven Auswirkung (Konflikt / Synergie) hängt einerseits von der Art und Intensität der Wirkungen des KUP-Anbaus ab und andererseits von den spezifischen Eigenschaften des betroffenen Standortes bzw. des Landschaftsraums.

Vor dem Hintergrund dieser Wirkungsanalyse lassen sich zum einen KUP-spezifische potenzielle Konflikte und Synergien ableiten und zum anderen auch Landschaftsfunktionen bzw. -eigenschaften mit spezifischer Empfindlichkeit gegenüber dem KUP-Anbau. Diese Landschaftsfunktionen bzw. -eigenschaften wiederum lassen sich als Standortkriterien im Raum abbilden durch Flächenkategorien wie Schutzgebiete, Nutzungstypen etc., die dann hinsichtlich ihrer speziellen Eignung und oder Restriktion für bzw. gegenüber der Anlage von KUP bewertet werden können.

Folgende Flächen sind aus Sicht des Naturschutzes grundsätzlich gut für KUP geeignet:

- ausgeräumte Ackerbauregionen sowie erosionsgefährdete Flächen (Schutz vor Wind- und Wassererosion durch kleinteilige Strukturierung der Landschaft)
- stark vorbelastete Flächen wie bspw. Deponien oder ehemalige Rohstoffabbauflächen
- Wasserschutzgebiete, in denen KUP langfristig zur Verbesserung der Qualität des neugebildeten Grundwassers durch Nährstoffbindung führen können
- Hochwasserentstehungsgebiete, in denen KUP durch ihr Rückhaltevermögen das Abflussverhalten verändern können.

Als Naturschutzsynergiestandorte sind entsprechend der Analyse folgende Flächen einzuschätzen:

- Standorte mit geringer Erosionsschutzfunktion gegenüber Wind- und/oder Wassererosion
- Standorte mit geringer Filter- und Pufferfunktion des Bodens
- Standorte mit geringer Grundwasserschutzfunktion (Gefahr vor Schadstoffeintrag)
- Standorte mit geringer Wasserrückhaltefunktion
- Standorte mit geringer klimatischer Ausgleichsfunktion hinsichtlich Frisch- und Kaltluftentstehung

Folgende Flächen sollten für KUP ausgeschlossen werden:

- Gebiete mit sensiblem Grundwasserstand, da sie durch KUP mit ihrem hohen Wasserbedarf beeinträchtigt werden können

- Grünlandstandorte
- Naturschutzgebiete, Natura-2000-Gebiete, abhängig vom Schutzzweck bzw. den Erhaltungs- und Entwicklungszielen
- gesetzlich geschützte Biotope
- Standorte mit geringer Wasserdargebotsfunktion
- Standorte mit hoher Hochwasserabflussfunktion
- Standorte mit hoher klimatischer Ausgleichsfunktion (Gefahr vor Verlegung der Frischluftleitbahnen)

Weiter konkretisierte Anforderungen an die naturverträgliche Standortwahl werden im Rahmen des F+E Vorhabens „Naturverträgliche Anlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen (KUP)“ bis Ende 2015 erarbeitet. Darüber hinaus sollen die erarbeiteten Standortkriterien im Rahmen einer GIS-gestützten Flächenanalyse exemplarisch auf einen konkreten Raum angewendet werden (z.B. auf einen Landkreis oder Gemeinde), um die Praktikabilität der Kriterien zu testen.

Maßnahmen zur naturschutzfachlichen Aufwertung von Kurzumtriebsplantagen (KUP)

Von diversen Akteuren (siehe www.energieholz-naturschutz.de) wurden bereits zahlreiche umwelt- und naturschutzgerechte Anforderungen an die Neuanlage und Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen formuliert (Tabelle 1). Eine Auswahl von Maßnahmen zur naturschutzfachlichen Aufwertung von KUP wird derzeit modellhaft auf KUP-Flächen in drei unterschiedlichen Naturräumen umgesetzt (Tabelle 2). Durch die Umsetzung der Maßnahmen soll eine naturschutzfachliche Aufwertung mit einer erhöhten biologischen Vielfalt innerhalb der KUP erreicht werden.

Tabelle 1: Maßnahmen zur naturschutzfachlichen Aufwertung von KUP

Maßnahmen zur naturschutzfachlichen Aufwertung von KUP	
Maßnahmen bei der Neuanlage von KUP	**Maßnahmen für die Bewirtschaftung von KUP**
• Anlage der KUP mit Säumen wie Blühstreifen /Selbstbegrünung • Anlage und Erhalt von Strauchmänteln • Gestaltung der KUP-Flächen mit Bestandslücken • Einsatz von größeren Anteilen heimischer und standortgerechter Gehölze • Verzicht auf Herbizide vor der Pflanzung • Anbau von KUP-Streifen	• Verzicht auf Pflanzenschutzmittel (PSM) im Vor- und Nachauflauf sowie während der gesamten Lebensdauer einer KUP • Weitgehender Verzicht auf Düngung • Abschnittsweise Beerntung der Flächen • Flexibilisierung der Umtriebszeiten

Tabelle 2: Maßnahmen zur Untersuchung im F+E-Vorhaben

Maßnahmen im F+E-Vorhaben
• Bestandslücken in der KUP • Blühstreifen / Selbstbegrünung am Rande der KUP • Anlage und Erhalt von Strauchmänteln • Abschnittsweise Beerntung der Plantage • Pflanzung von heimischen Gehölzen wie Zitterpappel, Hasel, Birke, Eberesche in der Plantage • KUP-Streifen innerhalb von Ackerschlägen

In den Modellregionen Trenthorst (Schleswig-Holstein), Casekow (Brandenburg) und Allendorf/Eder (Hessen) werden die Maßnahmen auf ihre Wirkungen hinsichtlich der Artenvielfalt in der KUP untersucht. Ziel ist die Erarbeitung eines nachweislich wirksamen Maßnahmenkatalogs für eine naturverträgliche Anlage und Bewirtschaftung von KUP.

Die auf den Flächen umgesetzten Maßnahmen zur naturschutzfachlichen Aufwertung von KUP werden im Zeitraum von drei Jahren (entspricht einer Umtriebsperiode) untersucht. Ökologische Effekte werden durch die vegetationskundlichen, ornithologischen und entomologischen Untersuchungen ermittelt. So wird beispielsweise erfasst, ob durch zusätzliche Strukturen von Bestandslücken positive Wirkungen auf die biologische Vielfalt in der KUP erzielt werden.

Mit Abschluss des F+E-Vorhabens 2015 werden die Maßnahmen zur naturschutzfachlichen Aufwertung von KUP auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse hinsichtlich ihrer Wirksamkeit bewertet.

Quellen

BfN – Bundesamt für Naturschutz (2010): Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen - Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/bfn_energieholzanbau_landwirtschaftliche_flaechen.pdf

BUND (2010): Kurzumtriebsplantagen für die Energieholzgewinnung. Chancen und Risiken. Positionen 55. http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/landwirtschaft/20100714_landwirtschaft_bund_position_55_KUP.pdf

NABU-Bundesverband (2008): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Chancen und Risiken aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes http://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/nabu-studie_energieholz.pdf

Korrespondierende Autorin:
Imke Hennemann-Kreikenbohm
NABU-Bundesgeschäftsstelle
Charitéstr. 3
10117 Berlin
imke.hennemann@nabu.de

Entwicklung polyploider Pappellinien von verschiedenen Arten mit Hilfe der Protoplastenfusion

Renate Lührs[1], Nadia Efremova[1], Peter Welters[1], Thomas Teichmann[2], Matthias Fladung[3], Anne Hennig[4], Andreas Meier-Dinkel[4], Alwin Janßen[4]

[1]Phytowelt GreenTechnologies GmbH, Köln
[2]Georg-August Universität Göttingen, Göttingen
[3] Thünen-Institut für Forstgenetik, Großhansdorf
[4]Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Hann. Münden

Zusammenfassung

Polyploidisierung spielt in der Züchtung von Obst- und Forstpflanzen eine zunehmend wichtige Rolle. In der Gattung *Populus* werden triploide Aspenklone, die sich insgesamt durch sehr gutes Wachstum und erhöhte Resistenzen auszeichnen, weltweit angebaut.

Aus diesem Grund sollten im Rahmen des Projektes u.a. neue polyploide Pappel-Linien entwickelt und analysiert werden. Dazu wurden die jeweiligen Expertisen der Kooperationspartner optimal kombiniert. Aufbauend auf effiziente Systeme zur Regeneration von Pflanzen aus Protoplasten wurde die Technik der Zellfusion zur gezielten Entwicklung auto-polyploider Linien eingesetzt. Insgesamt konnten triploide und tetraploide Linien von 11 unterschiedlichen Pappelklonen, die 7 verschiedenen Arten bzw. Hybriden angehören, erzeugt werden. Die Linien wurden in Gewächshaus- und Feldversuchen phänotypisch analysiert. Für zwei triploide Aspen-Linien konnte im ersten Feldversuch eine sehr gute Wüchsigkeit im Vergleich zu den diploiden Ausgangsklonen festgestellt werden. Die Mehrzahl der auto-tetraploiden Linien fiel durch größere und dickere Blätter mit längeren Stomata sowie einen stärkeren Stammdurchmesser auf.

Die Kollektion aus unterschiedlichen auto-tetraploiden Pappellinien, die 7 verschiedenen Pappelarten, bzw.-hybriden angehören und sich von 11 unterschiedlichen Klonen ableiten, bietet eine optimale Basis für die Züchtung neuer triploider Pappelsorten.

Schlüsselworte: *Populus*, Züchtung, Polyploidierung, autopolyploid, tetraploid, triploid, Protoplastenfusion, *in vitro*-Vermehrung, Stomata, Chloroplast, molekularer Marker, cytofluorimetry, Feldversuch

Abstract:

Development of polyploid poplar lines of different species using protoplast fusion technology

In fruit and forest trees, polyploidization plays an increasing role in breeding programs. In the genus *Populus,* triploid aspen clones which generally show improved growth and resistance characters are already world-wide used in plantations.

Therefore, one aim of the project was the development of new auto-polyploid poplar lines. The specific expertise of the 4 cooperation partners were optimal combined for developing and analyzing the polyploid lines. Basing on efficient plant regeneration systems, the protoplast fusion technology was applied to establish auto-polyploid poplar lines. In summary, 11 different autopolyploid (3n, 4n) clones belonging to 7 different species were generated. The auto-polyploid clones were tested in greenhouse and field trials. Two triploid aspen clones showed extreme high juvenility and growth. Most of the tetraploid lines can be distinguished from the diploid clones by larger leaves and stem diameters.

The collection of the auto-tetraploid lines deriving from 11 clones and belonging to 7 different poplar species and hybrids presents an optimal basis for breeding new triploid poplar cultivars.

Keywords: *Populus*, breeding, polyploidization, auto-polyploid, tetraploid, triploid, protoplast fusion, *in vitro* plant regeneration, stomata, chloroplast, molecular marker, cytofluorimetry, field trial

Einleitung

Die gezielte Entwicklung polyploider Klone hat in der Pappelzüchtung an Bedeutung gewonnen, seit für mehrere Klone mit sehr guten Wuchsleistungen ein polyploider Status entdeckt wurde (Stanton et al. 2010).

Der klassische Weg zur Erzeugung polyploider Pflanzen ist der Einsatz von Mitose-Hemmstoffen oder Temperaturschocks (Ewald et al. 2009, 2012, Wang et al. 2013). Bei verschiedenen Pflanzenarten wurden polyploide Pflanzen auch mit Hilfe der Protoplastenfusion erzielt. Autopolyploide Linien wurden z.B. bei *Citrus* als Nebenprodukt von interspezifischen Fusionen und durch gezielte Auto-fusionen entwickelt (Grosser und Gmitter 2011, Aleza et al. 2012).

Auch für verschiedene Arten der Gattung *Populus* stellt die Protoplastenfusion eine effiziente Alternative zur Entwicklung polyploider Klone dar. Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung dieser Technik sind jedoch reproduzierbare Protokolle zur Pflanzenregeneration aus Protoplasten.

Zellfusion und Identifizierung auto-polyploider Linien

Phytowelt hat im Rahmen zweier von der FNR-geförderter Projekte effiziente Protokolle zur Regeneration von Pflanzen aus Protoplasten für 11 Pappelklone, die zu 7 verschiedenen Pappelarten bzw. -hybriden gehören, etabliert (Lührs et al. 2010, Efremova et al. 2013; Tabelle 1). Als Beispiel ist in Abbildung 1 die Pflanzenregeneration aus Protoplasten von *P. tremula x P. tremuloides* gezeigt. Die Protoplastenfusion wird in einer Art Massenfusion (10^6 bis 10^8 Protoplasten/ml) mit Hilfe von Elektropulsen stimuliert (Nissing et al. 2006).

Tabelle 1: Auflistung der Klone, für die (1) Regenerationsprotokolle etabliert wurden, und die (2) für Fusions-experimente eingesetzt wurden. Die polyploiden Linien (3n, 4n) wurden mit Hilfe der Zytofluorimetrie unter den regenerierten Pflanzen aus den Massenfusions-Experimenten selektiert. Autotetraploide Pflanzen aus interspezifischen Fusionen (Allofusion) waren mit Hilfe molekularer Marker identifiziert worden.

Pappelarten bzw. -hybriden	Kürzel	Klonbezeichnung	Fusion	Anzahl selektierter Linien	
				4n	3n
P. tremula	P2	Ahle 2-21.4	Autofusion	10	2
P. tremula	P18	Brauna 11	Autofusion	5	2
P. *tremula x P. tremuloides*	P3	Münden 2-11.7	Allofusion	15	-
P. x canescens	P1	INRA 717 1B4	Allofusion	3	1
P. alba	P31	Raket	Autofusion	7	2
P. nigra	P7	102E	Allofusion	15	-
P. nigra	P39	NW 9-488 E Rüd 118	Allofusion	3	-
P. simonii	P12	NW 9-475P	Allofusion	10	-
P. deltoides x P. nigra	P27	Aue 2	Allofusion	1	-
P. trichocarpa x P. deltoides	P9	B19	Allofusion	1	-
P. nigra x P. maximowiczii	P10	Max 4	Allofusion	3	-

Zur gezielten Entwicklung autopolyploider Klone wurde die Selbstfusion von Protoplasten der jeweiligen Klone induziert und die polyploiden Regenerate mittels zytofluorimetrischer Messungen

identifiziert (Abb. 2A). Als Nebenprodukt wurden zusätzlich autotetraploide Pflanzen aus interspezifischen Fusionen (Allofusionen) mit Hilfe molekularer Marker selektiert (Abb. 2B). Verschiedene Typen von molekularen Markern stehen für alle drei DNA-enthaltende Kompartimente einer Pflanzenzelle (Kern, Chloroplast, Mitochondrium) bereits zur Verfügung bzw. werden derzeit entwickelt (Schröder et al. 2012, Bruegmann und Fladung 2013, Schröder und Fladung 2014). Neben Mikrosatellitenmarkern eignen sich insbesondere kleine Sequenzunterschiede in der DNA, die entweder als „*single nucleotide polymorphisms*“ (SNPs) oder „*insertions/deletions*“ (InDels) bezeichnet werden (Fladung und Buschbom 2009, Schröder und Fladung 2011).

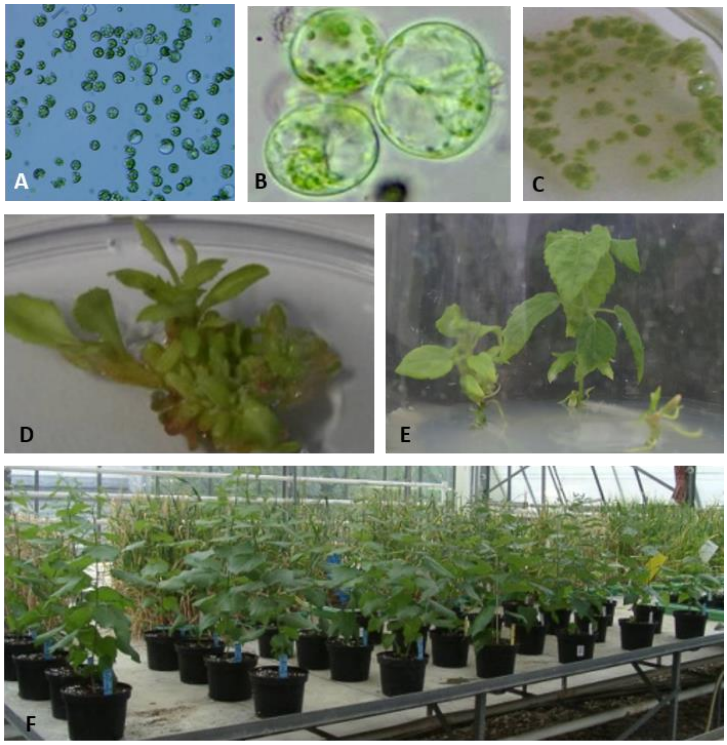


Abb. 1: Beispiel für die Regeneration von Pflanzen aus Protoplasten von *P. tremula x P. tremuloides* (P3). **A:** Frisch isolierte Protoplasten. **B:** Erste Teilung von Protoplasten 1 Woche nach Isolierung. **C:** Entwicklung von Mikrokalli 4 bis 8 Wochen nach Protoplastenisolierung. **D:** Entwicklung von Sprossen auf Spross-Induktionsmedium. **E:** Bewurzelung der Sprosse. **F:** Transfer bewurzelter Sprosse in Erde und Kultivierung im Gewächshaus ca. 8 Monate nach der Protoplastenisolierung.

In Tabelle 1 sind die polyploiden Pappellinien aufgeführt, die aus verschiedenen Fusionsexperimenten regeneriert wurden. Tetraploide Linien stehen für alle 11 Klone zur Verfügung. Auch triploide Linien konnten von Klonen der Sektion *Populus* (*P. tremula, P. alba, P. x canescens*) regeneriert werden.

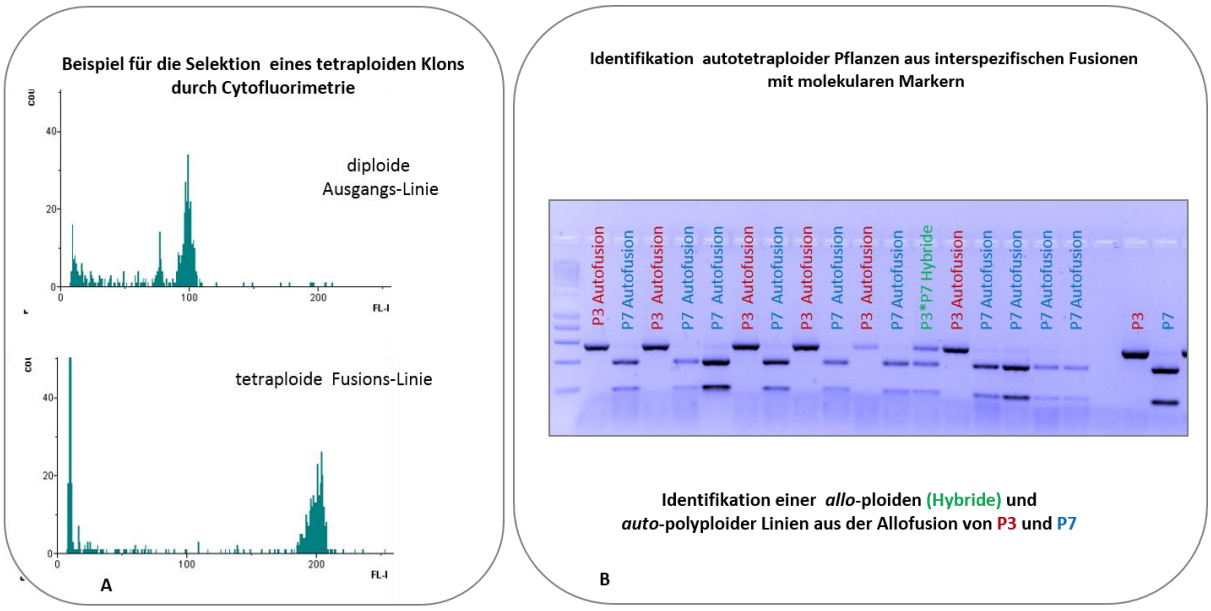


Abb. 2: Identifizierung polyploider Pflanzen aus den Fusionsexperimenten. **A:** Mit Hilfe der Zytofluorimetrie wurden tetraploide Regenerate identifiziert. **B:** Aus interspezifischen Fusionen (Allofusionen) wurden die autopolyploiden Linien durch Analysen mit molekularen Markern selektiert.

Phänotypische Bewertungen:

Ein Teil der polyploiden Linien wurde bereits in Gewächshaus- und Feldversuchen der NW-FVA und Phytowelt phänotypisch bewertet. Mikroskopische Untersuchungen der Blattepidermis tetraploider *P. x canescens* Pflanzen durch die Abteilung Zellbiologie der Universität Göttingen zeigten, dass die Stomata der tetraploiden Pflanzen durchschnittlich 40% länger sind als die der diploiden Pflanzen (Abb. 3). Die polyploiden Linien fallen häufig durch größere und dickere Blätter auf (Abb. 4). Der Einfluss der Ploidie auf die Blattgröße und -dicke sowie die Länge der Spaltöffnungen wurde auch für andere tetraploide Bäumen beschrieben, z.B. *Morus alba*, *Acacia mearnsii, Citrus limonia*, *Betula platyphylla* (Chaicharoen et al. 1995, Beck et al. 2003, Allario et al. 2011, Mu et al. 2013).

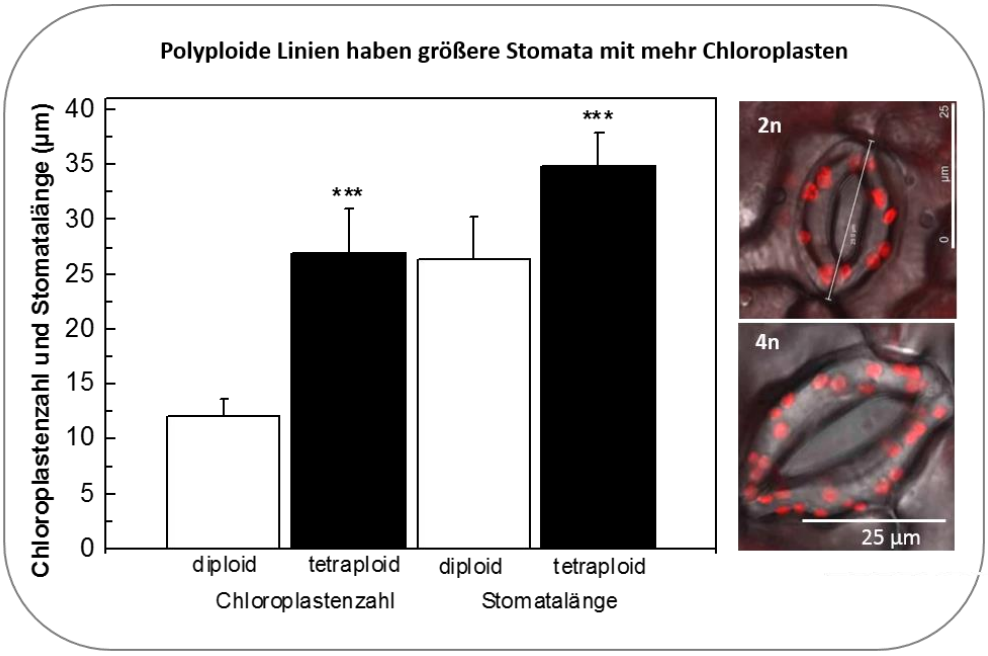


Abb. 3: Vergleich der Anzahl der Chloroplasten und Länge der Stomata in diploiden und tetraploiden Pflanzen

Ausgewählte Linien aus der Protoplastenfusion der Sektion *Populus* wurden von der NW-FVA bereits im zweiten Jahr im Feld getestet. Die tetraploiden Pflanzen zeigen im Vergleich zu den diploiden Kontrollen Unterschiede im Wachstum, sie wirken eher gestauchter. Nur die tetraploide P3-Linie 1-9 (Ausgangsklon *P. tremula x P. tremuloides* P3) wächst höher als der diploide P3-Kontrolklon (Abb. 5A). Auffällig ist jedoch, dass sowohl bei den tetraploiden P3-Linien (1-92, 21) als auch bei der tetraploiden P1-Linie 21 (*P. x canescens*) der Wurzelhalsdurchmesser im Vergleich zu den diploiden Kontrollen dicker ist (Abb. 5B). Diese Tendenz zeichnete sich bereits in den Gewächshausversuchen der Universität Göttingen mit einer tetraploiden Linie des P1-Ausgangsklons ab (Abb. 5B). Trotz geringerem Höhenwachstum erzielen einige tetraploide Linien aufgrund ihres größeren Stammdurchmessers eine höhere Biomasse als die diploiden Ausgangsklone (Daten nicht gezeigt).

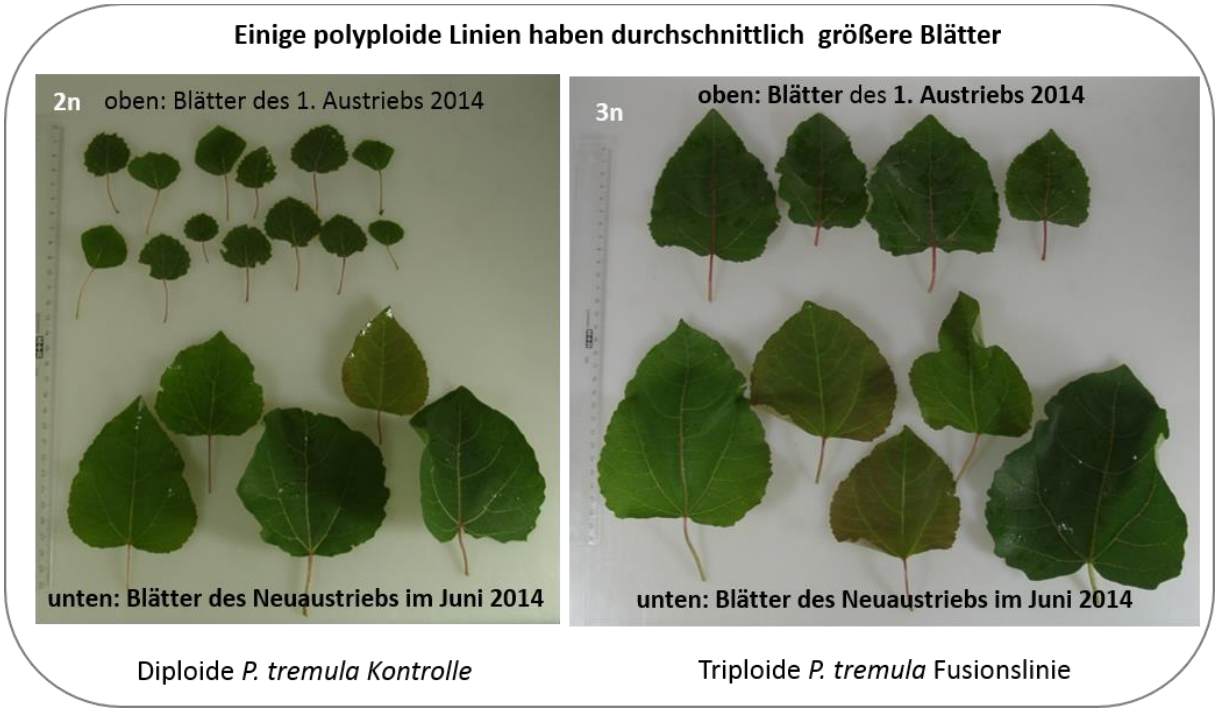


Abb. 4: Vergleich der Blattgrößen einer triploiden *P. tremula*–Linie, die aus einer gezielten Autofusion regeneriert wurde. Die Blätter der triploiden Linien, insbesondere des ersten Austrieb, unterscheiden sich deutlich in der Größe.

Die Beobachtung - niedrigere Höhe, größerer Stammdurchmesser - wurde auch für die tetraploiden Pflanzen anderer Baumarten *Morus alba, Betula platyphylla, Citrus limonia* berichtet (Chaicharoen et al. 1995, Allario et al. 2011, Mu et al. 2013).

Erste Auswertungen der Pflanzen im Feld von Phytowelt deuten darauf hin, dass die triploiden *P. tremula* Linien nicht nur wesentlich größere Blätter als ihre diploiden Ausgangsklone entwickeln, sondern - anders als die tetraploiden Linien - auch ein wesentlich stärkeres Jugend- und Höhenwachstum zeigen. Diese Ergebnisse stimmen mit den publizierten Daten zu triploiden Pappelklonen überein, die oft ein wesentliches besseres Wachstum und Gigas-Merkmale aufweisen (Ewald et al. 2012, Wang et al. 2013).

Die tetraploiden Linien, die im Rahmen der FNR geförderten Projekte entwickelt wurden, stellen ausgezeichnete Kreuzungspartner für den Aufbau von Kollektionen verschiedener triploider Hybrid-Linien dar. Damit wurde eine wichtige Ausgangsbasis geschaffen, um systematisch den Einfluss der Kombination von Genomen und Ploidie auf Züchtungsmerkmale untersuchen zu können.

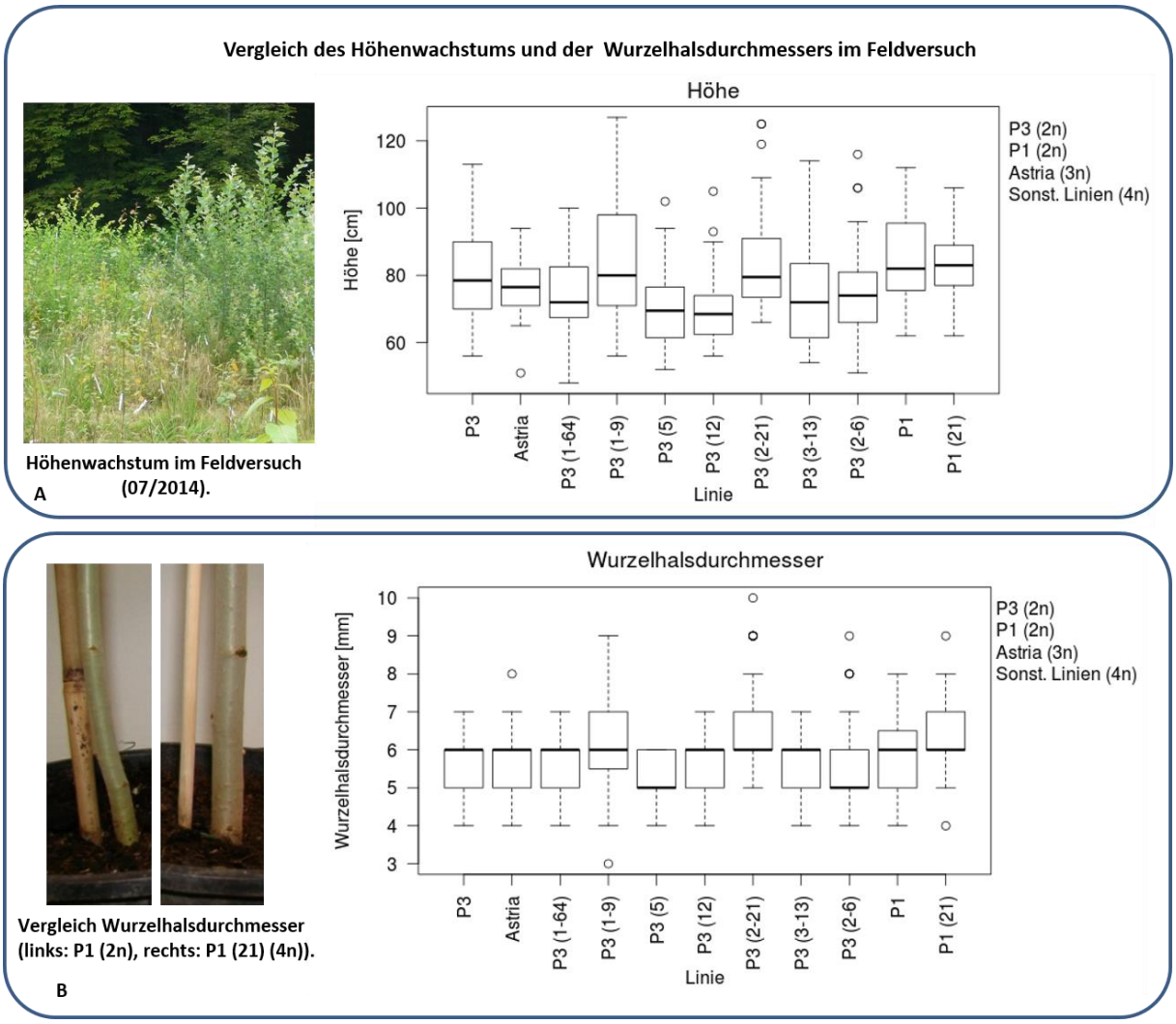


Abb. 5: Höhenwachstum und Stammdurchmesser der tetraploiden Aspen-Hybride (*P. x canescens* und *P. tremula x P. tremuloides*) im Vergleich zu den diploiden Ausgangsklonen(*P. x canescens* P1; *P. tremula x P. tremuloides* P3). Bis auf die tetraploide Linie P1-9 der Ausgangslinie P3 wachsen die tetraploiden Linien langsamer in die Höhe **(A)**, sie weisen jedoch durchschnittlich dickere Stammdurchmesser auf **(B).**

Dank

Die Autoren danken dem BMEL vertreten durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) für die finanzielle Unterstützung der Projekte ZÜEND (FKZ22014709, 22004910, 22005010) und Innovative Hybrid-Pappeln (FKZ 22004105).

Literatur

Aleza P, Juárez J, Cuenca J, Hernandéz M, Ollitrault M, Navarro L, 2012: Extensive citrus triploid breeding program by 2X x 4X sexual hybridizations. ISHS Acta Horticulturae 961: VII International Symposium on *In Vitro* Culture and Horticultural Breeding.

Allario T, Brumos J, Colmenero-Flores JM, Tadeo F, Froelicher Y, Talon M, Navarro L, Ollitrault P, Morillon R, 2011: Large changes in anatomy and physiology between diploid Rangpur lime (Citrus limonia) and its autotetraploid are not associated with large changes in leaf gene expression. Journal of Experimental Botany 62: 2507-2519.

Beck SL, Dunlop RW, Fossey A, 2012: Stomatal length and frequency as a measure of ploidy level in black wattle, *Acacia mearnsii* (de Wild). Botanical Journal of the Linnean Society 141: 177-181.

Bruegmann T, Fladung M, 2013: Potentials and limitations of the cross-species transfer of nuclear microsatellite marker in six species belonging to three sections of the genus *Populus* L. Tree Genetics & Genomes 9: 1413-1421.

Chaicharoen S, Satrabhandhu A, Kruatrachue M, 1995: *In vitro* induction of polyploid in white mulberry (*Morus alba* var. S54) by colchicine treatment. J. Sci. Soc. Thailand 21: 229-242.

Efremova N, Lührs R, Krull A, Welters P, Voß M, Fladung M, Hennig A, Meier-Dinkel A, Janssen A, 2013: Züchtung neuer Energiepappeln. Posterbeitrag auf dem Internationalen Kongress – Agrarholz vom 19. bis 20.02.2013 in Berlin, Textbeitrag auf dem FNR Server.

Ewald D, Ulrich K, Naujoks G, Schröder MB, 2009: Induction of tetraploid poplar and black locust plants using colchicine: chloroplast number as an early marker for selecting polyploids *in vitro*. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 99: 353-357.

Ewald D, Ulrich K, Liesebach H, 2012: Erzeugung triploider Individuen und intersektioeller Hybriden bei verschiedenen Pappelarten. Beiträge aus der NW-FVA, Band 8: 181-193

Fladung M, Buschbom J, 2009: Identification of Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) in different *Populus* species. Trees – Structure and Function 23: 1199-1212.

Grosser JW, Gmitter FG, 2011: Protoplast fusion for production of tetraploids and triploids: applications for scion and rootstock breeding in citrus. Plant Cell Tiss. Organ Cult. 104: 343-357.

Lührs R, Efremova N, Krull A, Löfke C, Ning D, Müller A, Polle A, Teichmann T, 2010: Innovative Hybridpappeln – Schnelles Wachstum für Deutschland. Vortrag auf der Agrarholz 2010, Symposium 18., 19. Mai 2010, Berlin. Textbeitrag auf dem FNR Server.

LÜHRS R, EFREMOVA N, WELTERS P, MEIER-DINKEL A, JANSSEN A, VOß M-M, FLADUNG M, 2012: ZÜEND – Züchtung neuer Energiepappeln für DeutschlandBeiträge aus der NW-FVA, Band 8: 388-389.

Mu H-Z, Liu Z-J, Lin L, Li H-Y, Jiang J, Liu G-F, 2012: Transcriptomic analysis of phenotypic changes in birch (*Betula platyphylla*) autotetraploids. Int. J. Mol. Sci. 13: 13012- 13029.

Nissing E, Müller A, Weiß N, 2006: Ermittlung geeigneter Elektrofusionsparameter für die somatische Hybridisierung von Minzeprotoplasten mit dem Eppendorf Multiporator. Eppendorf BioNew Application Notes BN26.

Schröder H, Fladung M, 2010: SSR and SNP markers for the identification of clones, hybrids and species within the genus *Populus*. Silvae Genetica 59: 257-262.

Schroeder H, Hoeltken AM, Fladung M, 2012: Differentiation of *Populus* species using chloroplast single nucleotide polymorphism (SNP) markers – essential for comprehensible and reliable poplar breeding. Plant Biology 14: 374–381.

Schroeder H, Fladung M, 2014: Differentiation of Populus species by chloroplast SNP markers for barcoding and breeding approaches. iForest, doi: 10.3832/ifor1326-007.

Stanton BJ, Neale DB, Li S, 2010: *Populus* Breeding: From the classical to the genomic approach. In: S. Jansson et al (eds) Genetics and Genomics of Populus, Plant Genetics and Genomics: Crops and Models 8, Springer Science.

Wang J, Shi L, Song S, Tian J, Kang X, 2013: Tetraploid production through zygotic chromosome doubling in *Populus*. Silva Fennica 47 (2) Article 932.

Korrespondierende Autorin:
Dr. Renate Lührs
Phytowelt GreenTechnologies GmbH
Stöckheimer Weg 1
50829 Köln
r.luehrs@.phytowelt. com

Auswirkungen von moderatem Trockenstress auf Photosynthesekapazität, Wassernutzungseffizienz und Biomasseproduktion von drei Pappelklonen

Dietmar Lüttschwager[1], Lucia Atanet Alia[1], Dietrich Ewald[2]

[1]Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg
[2]Thünen-Institut für Forstgenetik, Waldsieversdorf

Zusammenfassung

Wegen häufiger Niederschlagsarmut in Mitteleuropa ist für Kurzumtriebsplantagen die Züchtung von leistungsfähigen und trockentoleranten Pappelklonen von essentieller Bedeutung. Drei Klone mit bei Normalbewässerung sehr unterschiedlichen Spross-Wurzel-Verhältnissen: (1) Aspenklon Großdubrau Nr.1, (2) Neuzüchtung L316xL9 Nr. 21 Thermo, (3) Pappelklon Max2; wurden experimentell moderatem Trockenstress ausgesetzt und dann hinsichtlich Photosynthese, WUE und biometrischer Parameter geprüft. Das Höhenwachstum war bei den gestressten Pflanzen aller drei Klone etwas geringer. Photosynthese und Transpiration sanken jedoch unterschiedlich stark ab, weshalb die intrinsische Wassernutzungseffizienz bei Max2 stärker, bei den Aspen nur geringfügig anstieg. Der Pappelklon Max2 hatte bei guter Wasserversorgung eine geringere Wassernutzungseffizienz, konnte diese jedoch unter Stress wesentlich stärker steigern als die Aspen. Er hatte zudem bei ausreichender Bewässerung ein intensiveres Wurzelwachstum, reduzierte dieses unter Stress jedoch stärker. Die beiden Aspenklone verhielten sich somit unter moderatem Stress deutlich weniger anpassungsfähig.

Schlüsselworte: Pappel, Aspe, Photosynthese, Trockenstress, Wassernutzungseffizienz, Biomasse

Abstract

Effect of moderate drought stress on the capacity of photosynthesis, water use efficiency and biomass production of three poplar clones

Breeding of efficient but also drought tolerant poplar clones is very important for short rotation planting because of frequent periods with low precipitation in central Europe. Three clones which showed the most different shoot-root-relations: (1) aspen clone Großdubrau No.1, (2) new bred aspen clone L316 x L9 No.21 Thermo, (3) poplar clone Max2 were treated by a moderate water stress. Photosynthesis and transpiration was measured. The influence of drought on biometrical parameters of the plants was checked. Intrinsic water use efficiency was calculated. Height growth was lower in stressed plants. Photosynthesis and transpiration decreased differently which is why intrinsic WUE increased for Max2 more than for aspen clones. The poplar clone Max2 showed low water use efficiency after sufficient watering, but could increase this more pronouncedly under water stress as compared with aspen clones. This clone was characterized by an intensive root growth which was more reduced under stress. Unlike this both aspen clones reacted less adaptively under a moderate water stress.

Keywords: poplar, aspen, photosynthesis, drought stress, water use efficiency, biomass

Einführung / Zielsetzung

Kurzumtriebsplantagen mit schnell wachsenden Baumarten tragen neben der Produktion von Energie und Rohstoffen auch zur Erhöhung der Artenvielfalt, zur Filterung von Schadstoffen und zum Lärmschutz bei. Pappeln nehmen dabei eine herausragende Stellung ein. Sie haben jedoch einen

vergleichsweise hohen Wasserverbrauch, so dass die Grenzen ihres Wachstums in Mitteleuropa häufig durch Wasserdefizite gezogen werden. Vor dem Hintergrund perspektivischer klimatischer Veränderungen ist deshalb die Züchtung von trockentoleranteren Klonen mit optimaler Biomasseproduktion von essentieller Bedeutung. Dabei bestand die Frage nach geeigneten physiologischen Leistungsparametern. Drei über Gewebekultur erzeugte Pappelklone, welche bei Normalbewässerung sehr unterschiedliche Spross-Wurzel-Verhältnisse aufgewiesen hatten - der bekannte Aspenklon Großdubrau Nr.1 (Gd) und die Neuzüchtung L316 x L9 Nr. 21 Thermo (LT) sowie der Pappelklon Max2 (M) - wurden experimentell moderatem Trockenstress ausgesetzt und ihre Blätter während dieser Periode hinsichtlich Photosynthese und intrinsischer Wassernutzungseffizienz (WUE) geprüft. Bei signifikanten Unterschieden zwischen den Klonen hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit und Trockenheitsresistenz könnten diese Erkenntnisse künftig bei der Suche nach geeigneten Leistungsklonen der Pappel ausgenutzt werden.

Vorgehensweise / Methoden

Pro Klon wurden 20 über Gewebekultur erzeugte Pflanzen für die Versuche hälftig als Stress- und Kontrollvarianten genutzt. Die bewurzelten Pflanzen aller Klone wurden in Jiffy-Torfquelltöpfchen gepflanzt, abgehärtet und in 2-Liter-Töpfe mit einer einheitlich verdichteten Menge Bodensubstrat überführt. Um ein definiertes Bewässerungsregime zu gewährleisten, wurden in der Klimakammer zwei automatische Bewässerungssystemen (GARDENA C1030plus) installiert. Bei einer exakten Bodendichte von 0,29 g/cm³ in einem Volumen von 1800 cm³ hatte absolut trockener Boden mit Pflanzgefäß eine Masse von 600 g. Ein VWC von z.B. 50 % entsprach demnach einen Wasseranteil von 900 ml (50 % von 1800 cm³). Zwei Mal pro Woche und vor Gaswechselmessungen wurden alle Pflanzgefäße gewogen, ihr volumetrischer Wassergehalt errechnet und selektiv korrigiert. Nachträglicher Korrekturbedarf bestand aufgrund der zunehmenden Eigenmasse der Pflanzen. Dies erfolgte zum Ende des Experiments auf Grundlage eines linearen Zusammenhangs zwischen Pflanzenfrischmasse und -höhe, der variantenspezifisch bestimmt wurde. Die differenzierte Bewässerung startete am 88. Tag nach Umsetzung der Pflanzen in Mineralboden. Gaswechselmessungen wurden stets bei einer Strahlung von 500 µmol/m²s an jungen vollentwickelten Blättern der 60 Pflanzen zu vier Terminen durchgeführt: vor Beginn des Experiments, zur halben VWC-Absenkung und zwei mal bei maximaler VWC-Absenkung. Gleichzeitig erfolgten Höhenmessungen und Chlorophyllbestimmungen. Zum Ende des Experiments wurden alle Pflanzen vollständig geerntet und biometrisch vermessen.

Ergebnisse

Der VWC in den Pflanzgefäßen wurde bei allen Stresspflanzen der drei Klone innerhalb von drei Wochen von 45 auf etwa 15 abgesenkt, während Kontrollpflanzen ihren VWC beibehielten. Die dadurch resultierende Reduktion im Höhenwachstum der Stresspflanzen war leicht aber signifikant (Abb. 1). Es handelte sich jedoch um moderaten Stress, d.h. eine Welketracht wurde bei keiner Pflanze beobachtet. Bei allen Pflanzen mit vermindertem VWC sanken Nettophotosynthese und Transpiration ab (Abb.2). Bei den beiden Aspenklonen erfolgte das jedoch annähernd im Gleichklang, was deshalb zu fast keiner (Gd) bzw. nur leichter Erhöhung (LT) der WUE führte. Bei Max2-Pflanzen hingegen sank die Transpiration weitaus stärker ab als die Photosynthese, weshalb ihre WUE unter Stress um ein Vielfaches höher war. Hinsichtlich biometrischer Veränderungen gab es ebenfalls Unterschiede zwischen den beiden Aspenklonen einerseits und Max2 andererseits (Tab. 1). Die Biomasse der Aspen wurde bei allen Kompartimenten unter Wassermangel um 20-25 % reduziert, beim Klon Max2 hingegen deutlich stärker. Dies betraf vor allem die Wurzelmasse mit fast 50%. Infolge dessen war das Spross-Wurzel-Verhältnis bei gestressten Max2-Pflanzen um ein Drittel höher als bei den Kontrollen. Bei den Aspen war dieser Wert nur um 9 % erhöht (LT) bzw. um 6% verringert (Gd). Auch Stickstoff-, Kalium- und Chlorophyllgehalt der Blätter waren nach Trockenheit bei Max2 deutlich stärker erhöht als bei den Aspen (Tab. 2). Signifikante Veränderungen der spezifischen Blattfläche (Xeromorphie) wurden allerdings nicht gefunden.

Tabelle 1: Biometrische Parameter aller Pappelpflanzen am Ende des 35-tägigen Trockenstress-Experiments und Verhältnis von gestressten zu Kontrollpflanzen. Mittelwerte mit Standardabweichung in Klammern, n = 10. Stresspflanzen unterscheiden sich signifikant von Kontrollpflanzen bei allen Parametern außer bei SLA, Newman-Keuls-Test mit α=5%.

Variante	Basis-durch-messer [mm]	Blätter n	SLA [cm²/g]	Fläche (berech-net) [cm²]	Trockenmasse [g] Blätter	Stamm und Stengel	Wurzeln	Spross-Wurzel-Verhält-nis	Anteil vorher gefallener Blätter [%]
Gd Kontrolle	12.3 (0.7)	48 (3)	266	4322 (397)	16.25 (1.49)	29.45 (3.35)	16.98 (2.79)	2.78 (0.35)	4.0 (1.5)
Gd Stress	11.0 (0.7)	42 (2)	259	3166 (503)	12.20 (1.94)	22.52 (3.39)	14.19 (2.97)	2.62 (0.29)	12.4 (5.2)
LT Kontrolle	11.8 (0.6)	47 (5)	250	4029 (463)	16.12 (1.84)	29.04 (4.25)	21.74 (5.89)	2.21 (0.58)	2.0 (3.0)
LT Stress	10.8 (0.3)	45 (3)	265	3419 (176)	12.91 (0.66)	23.60 (1.56)	16.11 (2.63)	2.42 (0.39)	10.1 (5.8)
M Kontrolle	8.2 (1.2)	32 (4)	181	2067 (439)	11.44 (2.43)	9.56 (3.64)	8.72 (3.90)	2.65 (0.70)	1.1 (1.3)
M Stress	6.8 (0.8)	28 (3)	178	1460 (290)	8.19 (1.63)	6.53 (2.22)	4.71 (2.13)	3.52 (0.96)	3.6 (3.0)
GD S/K	89 %	88 %	98 %	73 %	75 %	76 %	84 %	94 %	
LT S/K	92 %	94 %	106 %	85 %	80 %	81 %	74 %	109 %	
M S/K	83 %	88 %	99 %	71 %	72 %	68 %	54 %	133 %	

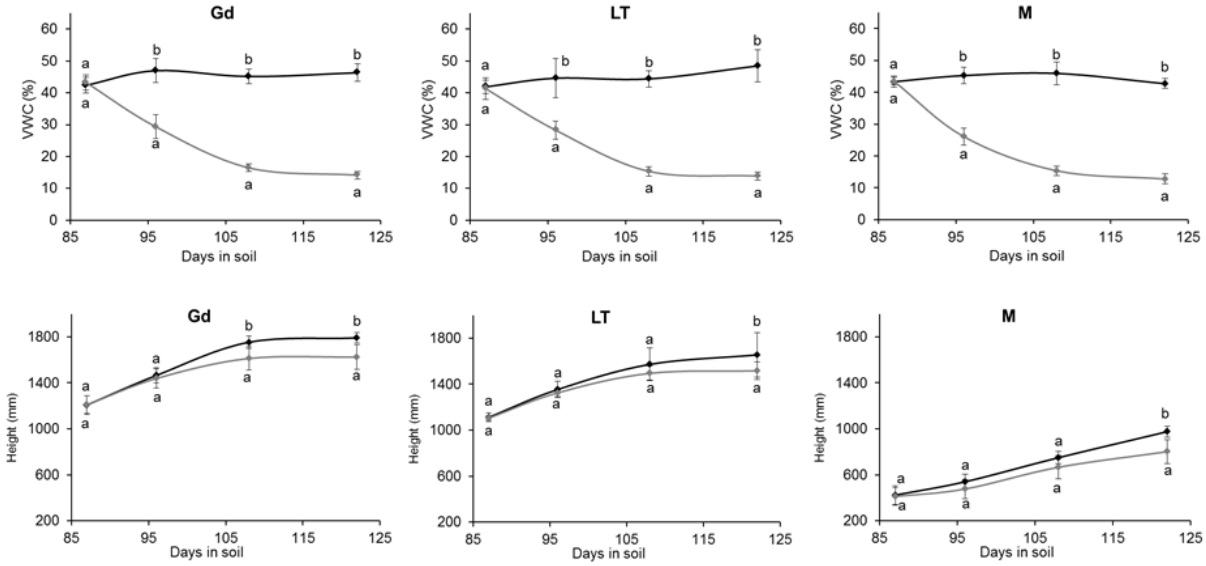


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf des Volumetrischen Wassergehalts (VWC) in Pflanzgefäßen und Pflanzenhöhe (Height) der Pappelklone Großdubrau1 (Gd), L316xL9 Nr.21 Thermo (LT) und Max2 (M) während des Trocken-stress-Experiments. Gestresste Pflanzen grau, Kontrollpflanzen schwarz. Mittelwerte mit Standardabweichung in Klammern, n = 10. Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht voneinander, Newman-Keuls-Test mit α=5%.

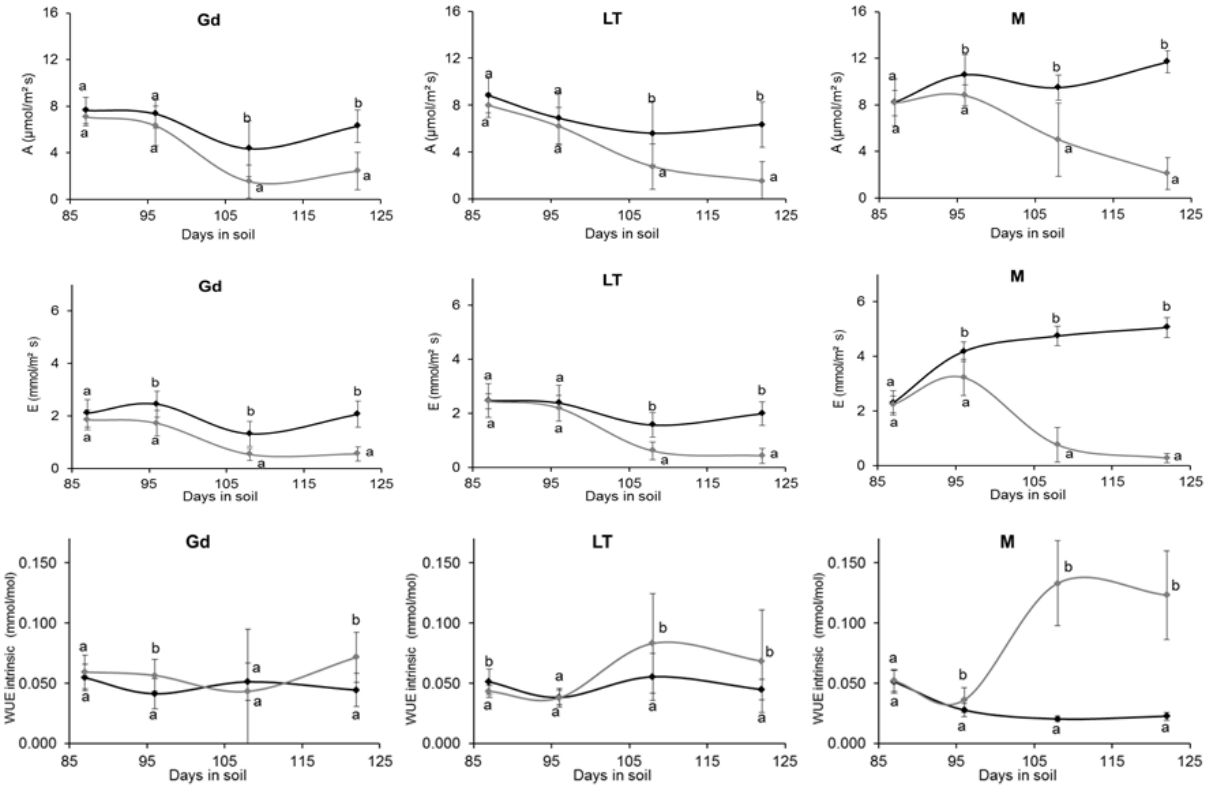


Abb. 2: Zeitlicher Verlauf von Netto-Photosynthese (A), Transpiration (E) und intrinsischer Wassernutzungseffizienz (WUEintrinsic) von Blättern der Pappelklone Großdubrau1 (Gd), L316xL9 Nr.21 Thermo (LT) und Max2 (M) während des Trockenstress-Experiments. Gestresste Pflanzen grau, Kontrollpflanzen schwarz. Mittelwerte mit Standardabweichung in Klammern, n = 10. Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht voneinander, Newman-Keuls-Test mit α=5%.

Tabelle 2: Nährelementgehalt (Ganzbaum-Mischproben aus je 10 Bäumen) und Chlorophyllgehalt (Mittelwerte mit Standardabweichung, n = 10) in Blättern der drei Pappelklone am Ende des 35-tägigen Trockenstress-Experiments und Verhältnis von gestressten zu Kontrollpflanzen.

Variante	% N_t	% P	% K	% Mg	% Ca	Chlorophyll [mg/m²]
Gd Kontr.	1.522	0.16	1.50	0.37	2.34	336 (37)
Gd Stress	1.695	0.15	1.52	0.35	1.88	400 (108)
LT Kontr.	1.524	0.15	1.42	0.47	1.93	286 (52)
LT Stress	1.666	0.14	1.46	0.46	1.67	326 (70)
M Kontr.	1.663	0.24	1.65	0.26	1.81	416 (64)
M Stress	2.429	0.19	2.02	0.24	1.46	556 (65)
Gd S/K	111 %	92%	101 %	95%	81%	119%
LT S/K	109 %	89%	103 %	98%	86%	114%
M S/K	146 %	82%	122 %	95%	81%	134%

Schlussfolgerungen:

Der Pappelklon Max 2 hatte bei guter Wasserversorgung eine geringere Wassernutzungseffizienz und ein stärkeres Wurzelwachstum. Er besaß hohe photosynthetische Leistungsfähigkeit, transpirierte allerdings auch vergleichsweise mehr Wasser. Unter Stress konnte er jedoch WUE wesentlich stärker steigern und seine Wurzeln reduzieren als beide Aspenklone, die sich damit deutlich weniger anpassungsfähig zeigten. Untersuchungen in Frankreich an 29 Pappelhybriden (Monclus et al. 2006)

kamen zu dem Ergebnis, dass die produktivsten Genotypen die geringste Trockenstress-Toleranz aufweisen, während weniger produktive bei Trockenheit stabiler waren. Zhang et al. (2004) unterschieden zwei gegensätzliche Wassernutzungsstrategien bei *Populus davidiana*: Populationen aus trockenen Gebieten besaßen eine konservative Strategie mit hoher Kapazität für Trockenresistenz und geringen Wachstumsraten. Populationen aus feuchteren Gebieten waren hingegen mehr verschwenderisch, wuchsen aber schneller. Eine Zuordnung der Klone zu unterschiedlichen „Strategien" und Aufteilung in tendenzielle „Generalisten" (Max2) und „Spezialisten" (Großdurbau1) erweist sich somit nach dem Trockenstress-Experiment als sinnvoll. Die Fähigkeit zur Änderung der $WUE_{intrinsic}$ bei unterschiedlicher Wasserverfügbarkeit kann als Selektionskriterium der Züchtung angesehen werden.

Literatur

Monclus R, Dreyer E, Villar M, Delmotte FM, Delay D, Petit JM, Barbaroux C, Le Thiec D, Brèchet C, Brignolas F, 2006: Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* x *Populus nigra*. New Phytologist 169: 765–777.

Zhang X, Zang R, Li C, 2004: Population differences in physiological and morphological adaptations of *Populus davidiana* seedlings in response to progressive drought stress. Plant Science 166: 791–797.

Korrespondierender Autor:
Dr. Dietmar Lüttschwager
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)
Institut für Landschaftsbiogeochemie
15374 Müncheberg
Eberswalder Strasse 84
dluettschwager@zalf.de

Erfolgreiche Pillierung von *Populus*-Saatgut

Gisela Naujoks, Ute-Katrin Krakau

Thünen-Institut für Forstgenetik

Zusammenfassung

In dem von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe geförderten Projekt ist die Pillierung von Aspen- und anderem Pappel-Saatgut gelungen. In die Pillen integrierte, sporenbildende Bakterien bewirkten in mehreren Fällen eine Erhöhung von Sprosslänge und Trockenmasse der Pflanzen. Die Verbesserung der Aussaatfähigkeit zeigte sich im Gewächshaus und in der Baumschule und wurde von Praxispartnern bestätigt. Die Lagerungseignung von pilliertem und unpilliertem *Populus*-Saatgut wurde über den Zeitraum von 3 Jahren untersucht.

Schlüsselworte: Aussaatfähigkeit, endophytische Bakterien, Keimfähigkeit, Saatgutlagerung

Abstract

Successful pelleting of aspen seeds

Within this research project funded by the German Agency for Renewable Resources, pelleting of aspen and other poplar seeds was achieved. Integrating spore-forming bacteria into the seed pellets resulted in enhanced shoot length and dry weight of the plants in several cases. The improved sowing suitability of pelleted seeds in the greenhouse and in the nursery was confirmed by partners from the nursery practice. Pelleted and pure poplar seeds were examined for their storage ability during three years.

Keywords: suitability for sowing, endophytic bacteria, germination capacity, seed storage

Zielsetzung

Die Aspe (*Populus tremula* L.) ist durch ihre gute Eignung für trockenere und ärmere Böden eine wichtige Baumart für die Energieholzproduktion, lässt sich aber nicht wie die meisten Pappel- und Weidenarten kostengünstig über Stecklinge vermehren. Die Pflanzenanzucht aus Samen bereitet Schwierigkeiten wegen der sehr geringen Samengröße, ihrer kurzen Lebensdauer sowie der unregelmäßigen Blüte und Fruktifikation.

In einem von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe von 2010 bis 2014 geförderten Projekt sollte untersucht werden, ob durch die Pillierung von Aspensaatgut die Anwendung von maschinellen Aussaatverfahren möglich wird, ob durch die Einbringung stimulierender Mikroorganismen (Mykorrhizapräparate und endophytische Bakterien) eine Wachstumsförderung der Sämlinge erreicht werden kann und ob sich die Pillierung auf die Lager- und Keimfähigkeit auswirkt.

Weitere Pappelarten wurden in die Untersuchungen einbezogen, um ihre Eignung für die Pillierungstechnik zu testen. Dadurch könnte sich die Möglichkeit eröffnen, auch bei diesen Arten den Anteil an generativ erzeugtem Vermehrungsgut und damit die genetische Variabilität von Energieholzplantagen zu erhöhen.

Material und Methoden

Die Pillierung des Saatgutes erfolgte im Versuchslabor der Firma SUET Saat- und Erntetechnik GmbH Eschwege, bei der umfangreiche Erfahrungen in der Verarbeitung landwirtschaftlicher Samen vorliegen (KRUSE 2008). Für eine Versuchspillierung sind mindestens 10 g Saatgut erforderlich. Während des Pillierungsprozesses werden die Samen in einem Rotationssystem angefeuchtet, mit einem Gemisch aus Hüll- und Bindemittel ummantelt, in das zusätzliche Komponenten mit eingebracht werden können und anschließend rückgetrocknet.

Für die insgesamt 72 Pillierungsversuche wurde Saatgut der Baumarten Aspe (*Populus tremula*), Hybrid-Aspe (*P. tremula x P. tremuloides*), mehrerer Hybrid-Pappeln sowie von Schwarz-, Weiß- und Graupappel (*P. maximowiczii x P. nigra*, *P. nigra, P. alba, P. canescens*) verwendet, das zum Teil aus eigener Saatguternte nach freier Abblüte gewonnen oder von verschiedenen Partnern zur Verfügung gestellt wurde.

Nach dem Testen verschieden großer Kaliber und Bindemittelkonzentrationen wurden folgende zusätzliche Komponenten in die Hüllmasse integriert: verschiedene, am Institut isolierte endophytische Paenibacillus-Arten (ULRICH et al. 2008), *Bacillus amyloliquefaciens* (“Rhizo-Vital 42”, flüssig und als Pulver, ABiTEP GmbH; YAO et al. 2006), kommerzielle Mykorrhizapräparate (Mushroom Research Centre Austria) sowie das Fungizid TMTD mit dem Wirkstoff Thiram (SATEC).

Die Keimfähigkeit wurde in Anlehnung an die ISTA-Vorschrift im Labor an 4 x 100 Samen auf Faltenfiltern bei 21 ± 2 °C überprüft. In Aussaatversuchen unter Gewächshausbedingungen folgte im Anschluss die Prüfung der Keimfähigkeit in Erde sowie die Beurteilung des Wachstums über einen Zeitraum von bis zu 3 Monaten. Freilandaussaaten erfolgten mit ausgewählten Pillierungsvarianten in der eigenen Baumschule sowie durch die Firma Bunk Pflanzen Elmshorn.

Die Lagerungsversuche wurden mit pilliertem und unpilliertem Saatgut bei Raumtemperatur (21 ± 2°C), im Kühlschrank (6 ± 3°C) und in der Tiefkühlung (-11 ± 3°C bzw. -20 ± 1°C) über einen Zeitraum von maximal 3 Jahren beobachtet.

Ergebnisse

Die Ergebnisse werden hier beispielhaft an den Pillierungsvarianten mit den Bakterienstämmen vorgestellt. Tabelle 1 zeigt den Vergleich der Keimfähigkeiten mit der unpillierten Variante. Diese Pillierungsvarianten finden sich auch in den Abbildungen 1 und 3 wieder: Var. 8 = Standardpillierung; Bac. am. = Standardpillierung mit *Bacillus amyloliquefaciens* (RhizoVital 42) in verschiedenen Konzentrationen; P22, P119, P120, 454, Rob10 = Standardpillierung + verschiedene, am Institut isolierte endophytische Paenibacillus-Stämme.

Tabelle 1: Keimfähigkeit der pillierten und unpillierten Aspensamen der Aussaat im September 2013

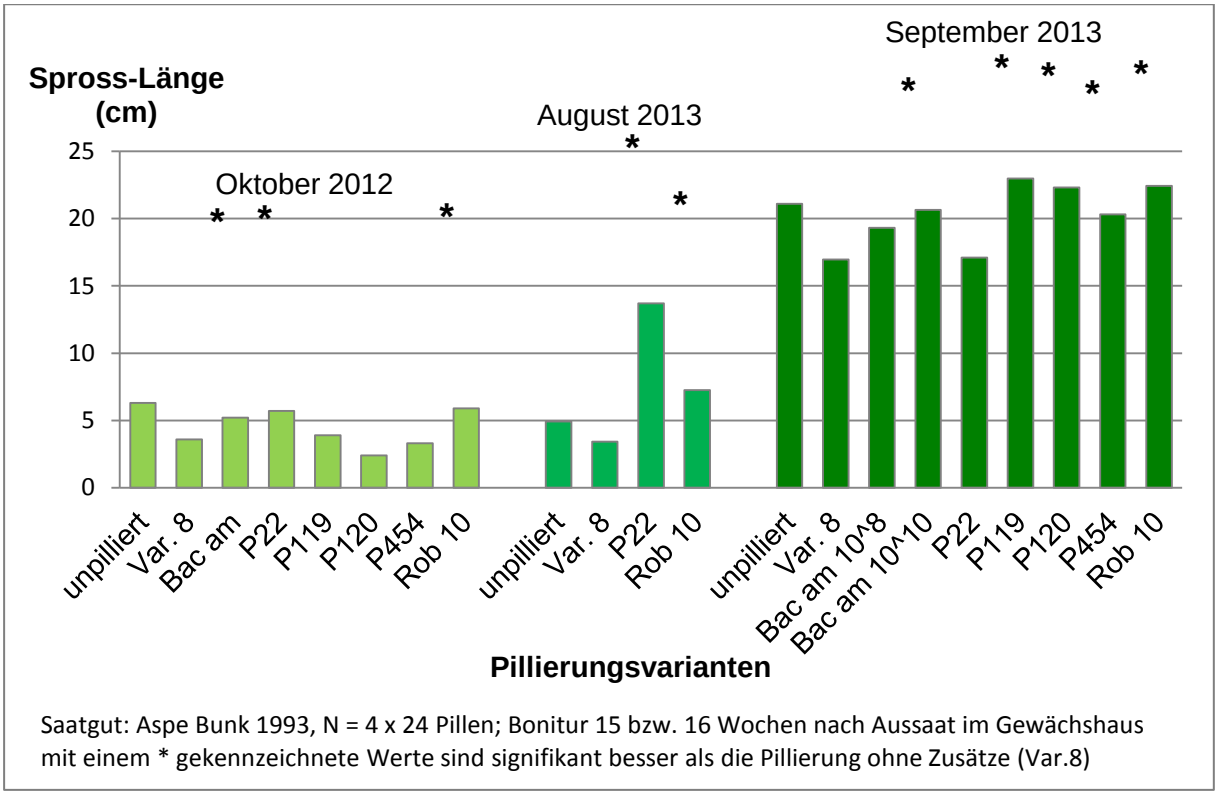
Probenbezeichnung	Keimfähigkeit (%)	
	Labor	Gewächshaus
Aspe Bunk 93 unpilliert	92	71
Var.8	86	61
Var.8 + Bac. am. 10^{8}	87	60
Var.8 + Bac. am. 10^{10}	17	55
Var.8 + P22	82	61
Var.8 + Paen. 119	82	65
Var.8 + Paen. 120	84	67
Var.8 + Paen. 454	82	51
Var.8 + Paen. Rob10	84	68

Sowohl die Keimfähigkeit im Labor und Gewächshaus als auch der Anteil überlebender Pflanzen im Gewächshaus (hier nicht dargestellt) waren bei den pillierten Samen etwas geringer als bei den unpillierten nackten Samen, aber durchaus noch im akzeptablen Bereich. Die sehr niedrige Keimfähigkeit der Pillen mit Bac. am. 10^{10} im Labortest wurde im Gewächshaus nicht bestätigt. Sie resultierte vermutlich aus der zu hohen Konzentration der Bakterien für das nicht resorbierende Substrat (Filterpapier) und macht deutlich, dass sich, zumindest für Bodenbakterien, eine zu hohe Konzentration auch negativ auswirken kann (Junge, H. pers. Mitteilung 2013).

Betrachtet man die Sprosslängen (Abb. 1) und die hier nicht dargestellten Spross-Trockenmassen, so zeigt sich, dass der leicht negative Effekt der Pillierung - wegen der starken Beanspruchung der Samen während des Pillierungsprozesses - durch die zusätzliche Einbringung von nützlichen Mikroorganismen deutlich verringert werden kann. Besonders die Varianten mit *Bacillus amyloliquefaciens* und mit den Paenibacillen P22 und Rob10 zeigten in mehreren Gewächshausaussaaten signifikant erhöhte Spross-Längen und Spross-Trockenmassen gegenüber der Pillierung ohne Zusätze. Dies wird auch im Foto der Versuchsvarianten deutlich (Abb. 2).

In der letzten Probeaussaat im Gewächshaus vom September 2013 zeigten außerdem die Pillierungen mit den Paenibacillus-Stämmen P 119, P 120 und P 454 signifikant erhöhte Sprosslängen im Vergleich zur Standard-Variante 8.

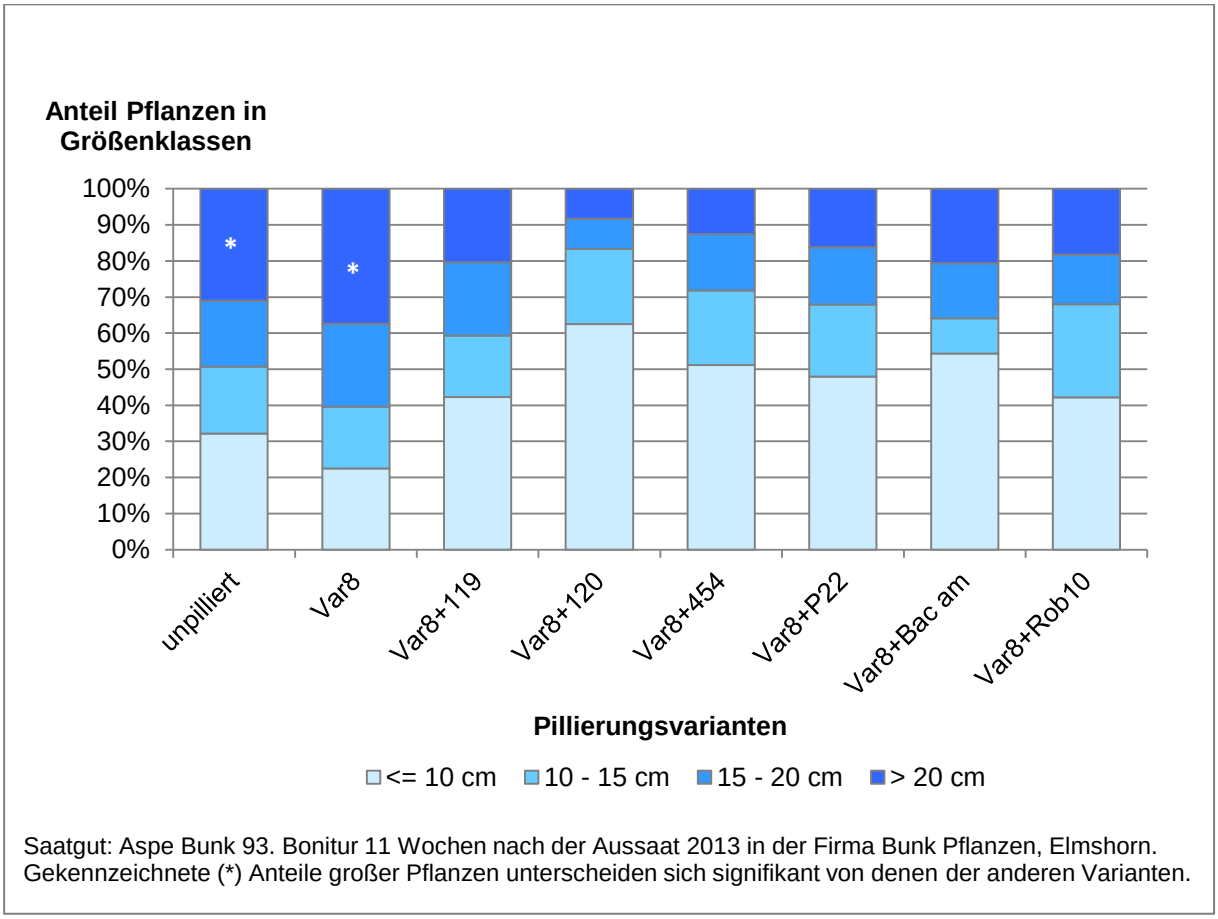
Die Längenmessungen der Freiland-Versuchsaussaat in der Baumschule Bunk (Abb. 3) konnten die positive Wirkung der Bakterienzusätze nicht bestätigen, was möglicherweise an der anderen Mikroflora des Baumschulbeets lag. Die meisten Aspensämlinge in der Gruppe der größten Pflanzen fanden sich bei der unpillierten Variante und bei der Pillierung ohne weitere Zusätze (Var. 8).



Saatgut: Aspe Bunk 1993, N = 4 x 24 Pillen; Bonitur 15 bzw. 16 Wochen nach Aussaat im Gewächshaus mit einem * gekennzeichnete Werte sind signifikant besser als die Pillierung ohne Zusätze (Var.8)

Abb. 1: Wirkung des Bakterienzusatzes bei der Pillierung auf das Sprosswachstum von Aspen-Sämlingen an drei Aussaatterminen

Abb. 2: Ergebnisse des Gewächshausversuches vom September 2013 (links: unpilliert, Mitte: Var. 8, rechts: Var. 8 + Paenibacillus Rob 10)



Saatgut: Aspe Bunk 93. Bonitur 11 Wochen nach der Aussaat 2013 in der Firma Bunk Pflanzen, Elmshorn. Gekennzeichnete (*) Anteile großer Pflanzen unterscheiden sich signifikant von denen der anderen Varianten.

Abb. 3: Verteilung der Aspensämlinge auf verschiedene Größenklassen in der Baumschul-Aussaat

Während innerhalb der für die Lagerungsversuche zur Verfügung stehenden drei Versuchsjahre die Keimfähigkeit in der Kühlschranklagerung deutlich abnahm, behielten sowohl das Nacktsaatgut als auch sämtliche Pillierungsvarianten in der Tiefkühllagerung ihre Ausgangskeimfähigkeiten weitestgehend bei.

Die gute Eignung der Pillen für die Verwendung in verschiedenen Aussaatmaschinen und in einem Container-Sägerät konnte von vier Praxispartnern bestätigt werden.

Resümee und Ausblick

Die Pillierung von Aspen- und Pappelsaatgut verbessert die Aussaatfähigkeit der winzig kleinen Samen durch Erhöhung von Gewicht und Größe und macht dadurch die Verwendung von Aussaattechnik möglich.

Bei sehr guter Qualität des Nacktsaatguts verringerte sich die Keimfähigkeit durch die Pillierung nicht oder nur geringfügig.

Die Pillierung der *Populus*-Samen führte zu keiner Einschränkung der Lagerfähigkeit. Als beste Lagerungsmethode für pillierte oder unpillierte Samen wird das Einfrieren bei -20°C empfohlen, wenn vorher zügig auf eine Samen-Feuchte von 5-7% getrocknet wurde.

Es ist erstmals gelungen, sporenbildende Bakterien (Bacillus- und Paenibacillus-Stämme) in die Pillen von Aspen- und anderen Pappelsamen einzubringen. Dies führte in Gewächshausversuchen mit Erdkultur zu höheren Spross-Längen und Spross-Trockenmassen im Vergleich zu den Pillierungen ohne weitere Zusätze. Die Ergebnisse legen den Schluss nahe, dass sich die Einbringung stimulierender Mikroorganismen in die Pillen bei besonders wertvollem Saatgut auch wirtschaftlich lohnen könnte.

Danksagung

Für die Unterstützung der Forschungsarbeiten danken die Autorinnen der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow (Fkz.: 22013809), der Firma SUET Saat- und Erntetechnik GmbH, Eschwege, den Baumschulen Bunk Pflanzen, Elmshorn, Peter Harder, Ellerhoop, Hörmann, Schrobenhausen sowie der Gärtnerei Lohse, Pirna, Frau Dr. K. Ulrich, Thünen-Institut für Forstgenetik, und Herrn Dr. H. Junge, ABiTEP GmbH, den Firmen AGRIMEDIA GmbH, Eisenberg, Mushroom Research Centre Austria GmbH und Semillas Montaraz, Spanien.

Literatur

Kruse M, 2008: Saatgut als Produkt. In: Kruse M (Hrsg.) Handbuch Saatgutaufbereitung. Agrimedia GmbH, Clenze, ISBN 978-3-86037-179-4: 143.

Ulrich K, Stauber T, Ewald D, 2008: *Paenibacillus*—a predominant endophytic bacterium colonising tissue cultures of woody plants. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 93: 347–351.

Yao AV, Bochow H, Karimov S, Boturov U, Sanginboy S, Sharipov AK, 2006: Effect of FZB 24 *Bacillus subtilis* as a biofertilizer on cotton yields in field tests. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 39: 1-6.

Korrespondierende Autorin:
Gisela Naujoks
Thünen-Institut für Forstgenetik
Eberswalder Chaussee 3 a
15377 Waldsieversdorf
gisela.naujoks@ti.bund.de

Neue Weiden für den Ertragsanbau - Prüfung von neu gekreuzten und heimischen Weiden als Ergebnis der Weidenzüchtung der Jahre 2009 und 2010

Steffen Fehrenz, Karl Gebhardt, Thilo Schuppelius, Serge Havel

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Hann. Münden

Zusammenfassung

Weiden, als schnellwachsende Baumarten, eignen sich hervorragend zur Erzeugung von Biomasse. Durch ihren Artenreichtum, der damit verbundenen hohen ökologische Amplitude sowie des Spektrums an Wuchsformen, können Weiden für vielfältige Anbaumethoden empfohlen werden. Die bisherige Züchtung setzte ihren Focus vor allem auf den Ertrag und die Resistenz gegenüber Pathogenen. Im Rahmen der Züchtungsprojekte „Weidenzüchtung“ und „FastWOOD“ wurde die umfangreiche Weidenkollektion der NW-FVA genutzt, um durch Neukreuzung im vorhandenen Genpool wie auch mit Leistungsträgern des Svalöf-Weibull Züchtungsprogramms, neue, in der Wuchsform variierende und gleichzeitig zuwachsstarke Phänotypen bereitzustellen. Auf einer der ersten Weiden- Vorprüfungsflächen wurden 444 Weidenklone, als Ergebnis der Züchtungsjahre 2009 und 2010, in den Parametern Höhe, Wurzelhalsdurchmesser und Triebzahl geprüft. Anhand einer Auswahl von 20 Klonen soll im Folgenden die Leistungsfähigkeit und Vielfalt an Wuchsformen für verschiedene Weidenarten und Hybriden dargestellt werden.

Schlüsselworte: Salix, Weidenzüchtung, Wuchsform, Wuchsleistung, Ressourcenverteilung, Anbaumethoden

Abstract

New peoductive willow clones – results of testing new crosses and selevtion of local willows of the years 2009 and 2010

Willows, a genus which covers a large number of fast growing tree species, are highly suitable as a source for biomass production. Their richness of species, the associated ecological amplitude and the wide range of growth forms target willows excellently for various cropping methods. Up to now willow breeding has set the focus above all on improving yield and resistance against pathogens. Within the framework of the breeding projects “Weidenzüchtung” und “FastWOOD”, the existing extensive gene pool of NW-FVA collection was extended by crossing within and also with high performers of the Svalöf-Weibull breeding program. As a result new willow phenotypes were supplied which vary markedly in their growth form and growth performance. In an initial field trial of 444 willow clones, crossed in 2009 and 2010, the parameters height, root-collar diameter and shout number were examined. Based on a selection of 20 willow clones we demonstrate performance and growth form variability in a first year stage.

Keywords: Salix, willow breeding, growth form, growth performance, resource allocation, cropping methods

Einleitung

Die NW-FVA beherbergt eine umfassende Kollektion verschiedener Weiden-Arten und klassischer nichtregistrierter Sorten. Mit dem Projekt Weidenzüchtung begannen im Jahr 2009 die Kreuzungen neuer Weidenklone für den Ertragsanbau in der NW-FVA. Zunächst wurden Kreuzungen zur Genpool-Erweiterung durchgeführt. Hierfür wurden die nicht registrierten Korbweidenklone wie z. B. Zieverich, Ambrosia, Mulattin, Gelbe Englische Hanfweide, Blaue Fränkische HW und Graue Freiburger HW miteinander gekreuzt und auf Zuwachs, Austriebsvermögen und Rostresistenz selektiert (Tabelle 1). Weiterhin wurden Kreuzungen mit rostresistenteren schwedischen Korbweidenhybriden des Svalöf-Weibull Züchtungsprogramms, bestehend aus *Salix viminalis* und *Salix schwerinii*, durchgeführt (Tabelle 1). Im Jahr 2010 wurden die Kreuzungen des bestehenden Genpools mit den Weidenarten- und Hybriden *S. triandra*, *S. daphnoides*, *S. cinerea*, *S. caprea*, *S. sachalinensis*, *S.* x *dasyclados*, *S.* x *aquatica* und *S.* x *smithiana* erweitert. Es entstanden u. A. die neuen Hybriden *S.* x *digenea* (*S. viminalis* x *S. daphnoides*), *S.* x *holosericea* (*S. viminalis* x *S. cinerea*) und *S.* x *hippophaefolia* (*S. viminalis* x *S. triandra*), (Tabelle 1).

Prüfglieder				
Klon	**Rang**	**Sortenkombination**	**Spezieskombination**	**Züchter**
10_91_71	1	Zieverich x Björn	*S. viminalis* x (*S. viminalis* x *S. schwerinii*)	NW-FVA
09_04_108	4	Mulattin x Gelbe Englische HW	*S. viminalis*	NW-FVA
09_19_77	15	Zieverich x Weserkamp	*S. viminalis* x Freie Abblüte	NW-FVA
10_87_78	17	Zieverich x Continua 40	*S.* x *hippophaefolia* (*S. viminalis* x *S. triandra*)	NW-FVA
09_31_55	20	50/75 x Weserkamp	*S.* x *smithiana* x Freie Abblüte	NW-FVA
10_83_22	31	Mulattin x HJ3	*S. viminalis* x *S.* x *dasyclados*	NW-FVA
09_23_90	34	Zieverich x Björn	*S. viminalis* x (*S. viminalis* x *S. schwerinii*)	NW-FVA
10_84_60	37	Zieverich x J01	*S.* x *helix* (*S. viminalis* x *S. purpurea*)	NW-FVA
09_51_166	38	04_76 x Weserkamp	*S. alba* x Freie Abblüte	NW-FVA
10_72_56	39	Rumänische HW x S_399	*S.* x *smithiana* (*S. viminalis* x *S. caprea*)	NW-FVA
10_140_28	44	Zieverich x Weide_Nr.6	*S. viminalis* x *S.* x *smithiana*	NW-FVA
10_94_07	53	Mulattin x 55_90	*S. viminalis* x *S.* x *aquatica*	NW-FVA
722_51	70	Zieverich	*S. viminalis*	NW-FVA
09_25_91	83	Mulattin x Weserkamp	*S. viminalis* x Freie Abblüte	NW-FVA
09_05_07	137	Rumänische HW x Salicetum Vaake	*S. viminalis* x Freie Abblüte	NW-FVA
Tordis	142	Tora x Ulv	*S. viminalis* x *S. schwerinii*	Svalöf-Weibull AB
10_92_62	146	Mulattin x Ulv	*S. viminalis*	NW-FVA
09_22_96	152	Zieverich x Ambrosia	*S. viminalis*	NW-FVA
10_79_61	171	Zieverich x Leuka	*S.* x *digenea* (*S. viminalis* x *S. daphnoides*)	NW-FVA
Inger	293	SW911066 x Jorr	*S.* x *hippophaefolia* (*S. triandra* x *S. viminalis*)	Svalöf-Weibull AB

Tabelle 1: Auswahl an Prüfgliedern für ein Ranking sortiert nach einer Boniturnote (Höhe x WHD x Höhensumme), rot = Standards

Methoden

Bei der Überführung und Vermehrung der neu gezüchteten Weidenklone aus dem Kreuzungsquartier in die erste Feldprüfung, wurde im darauffolgenden Winter, nach der Absteckung im Verband 1,5 m x 0,3 m, die Höhe, Höhensumme je Ramet (Summe der Länge aller Triebe über 1m je Ramet, HS/Ramet) und der durchschnittliche Wurzelhalsdurchmesser (WHD) ermittelt. Die Höhe wurde aus der durchschnittlichen Höhe aller Triebe über 1m je Pflanze berechnet. Die HS resultiert aus der Summe aller Trieblängen über 1m je Pflanze. Als Standards dienten die Strauchweidenklone Tordis, Inger und Zieverich. Es wurden je Klon zwei Blöcke zu je 12 Pflanzen angelegt.

Ergebnisse

Aus den Parametern Höhe, WHD und HS/Ramet wurde ein prädiagnostischer Leistungsindex berechnet (Tabelle 1). Über das daraus resultierende Ranking konnten die ersten zu prüfenden Klone der Kreuzungs-jahre 2009 und 2010 selektiert werden. In der für dieses Poster getroffenen Auswahl befinden sich Klone unterschiedlicher Wuchsstrategien. Die verschiedenen Wuchsstrategien sollen durch die Messparameter Höhe, WHD und Triebzahl wiederspiegelt werden. Da Weiden, bedingt durch die Selektion zu geeignetem Material für das flechten von Körben, zur Mehrtriebigkeit mit geringer Durchmesserabnahme hin zur Sprossspitze und ausgezeichnetem Wiederaustriebsvermögen gezüchtet wurden, neigen auch die alten unregistrierten Weidensorten zu dieser starken Strauchförmigkeit (Abb. 1). Besonders der Klon „Zieverich“ (Abb. 1, blauer Balken), eine reine Korbweidenselektion der NW-FVA, sowie seine Hybriden mit *Salix purpurea* (10_84_60) sowie *S.* x *smithiana* (10_140_28), neigen zur Vieltriebigkeit. Mit zwar moderaten Höhen aber überdurchschnittlichem WHD, zeigt der Klon Zieverich dennoch das züchterische Potential zur Biomasseproduktion. Zieverich zeigt neben einer hohen Rosttoleranz auch eine geringe Neigung zur Veringerung der Triebzahl nach mehreren Standjahren. Ein prädiagnostischer Indiz hierfür ist auch der überdurchschnittliche WHD bei hoher Triebzahl im Absteckungsjahr. Im Gegensatz dazu führt das Einkreuzen von *Salix schwerinii* durch die Sorte Björn (*S. viminalis* x *S. schwerinii*) zu eindeutig höhenbetontem Wuchs. Neben Kreuzungen mit *S. schwerinii* (09_91_71 und 09_23_90) führen zu überdurchschnittlichen Höhen in diesem Ranking auch Kreuzungen mit den Arten und Hybriden *S.* x *aquatica* (*S. viminalis* x *S. daphnoides* x *S. cinerea*) hier 10_94_07, sowie *S.* x *smithiana* (*S. viminalis* x *S. caprea*) hier 09_31_55. Zu WHD-stärkeren Phänotypen führen Kreuzungen mit den Arten *Salix caprea* (10_72_56) und *S. triandra* (10_87_78) aber wiederum auch *S. schwerinii*-Hybriden (09_23_90).

Auf der Suche nach neuen Hochzucht- Ideotypen für den Leistungsanbau, sollte die hohe Plastizität der Weiden in Bezug auf ihre verschiedenen Wuchsstrategien unbedingt Beachtung finden. Es ist davon auszugehen, dass die Ressourcenverteilung innerhalb eines Phänotyps so ausbalanciert ist, dass nur im hypothetischen Idealfall, die drei Grundparameter Höhe, WHD und Triebzahl, gleichzeitig eine überdurchschnittliche Ausprägung zeigen könnten. Meistens geht aber ein starker Höhenzuwachs auf Kosten der Anzahl der Triebe oder umgekehrt. Desweiteren kann eine sehr hohe Triebzahl, wie bei der Purpurea-Kreuzung 10_84_60, zu starken Einbußen gleichzeitig in der Höhe und im WHD führen. Die hier dargestellten verschiedenen Phänotypen werden ihre Eignung zu verschiedenen Anbaumethoden, die in Bezug auf Rotationsmodus und Pflanzverband variieren, in Zukunft zeigen müssen. Zunächst präsentiert sich aber der Ideotyp für eine hohe Biomasseproduktion, in einer dreijährigen Rotation und einem Pflanzenabstand von 0,5 m, idealerweise vor allem bei Ausnutzung der maximalen Höhe mit maximalem WHD aber nur mittlerer Triebzahl. Die Kreuzung mit heimischen Weidenarten wie der Mandelweide (*S. triandra*), Korbweide (*S. viminalis*), Purpurweide (*S. purpurea*), Salweide (*S. caprea*) aber auch der Reifweide (*S. daphnoides*) und der Bandstockweide (*S.* x *dasyclados*) führen zu neuen Hybriden, die auch naturschutzrelevanten Ansprüchen standhalten können und ein umfangreiches Potential an Wuchsstrategien , Resistenzen und auch Ertragserhöhung beherbergen.

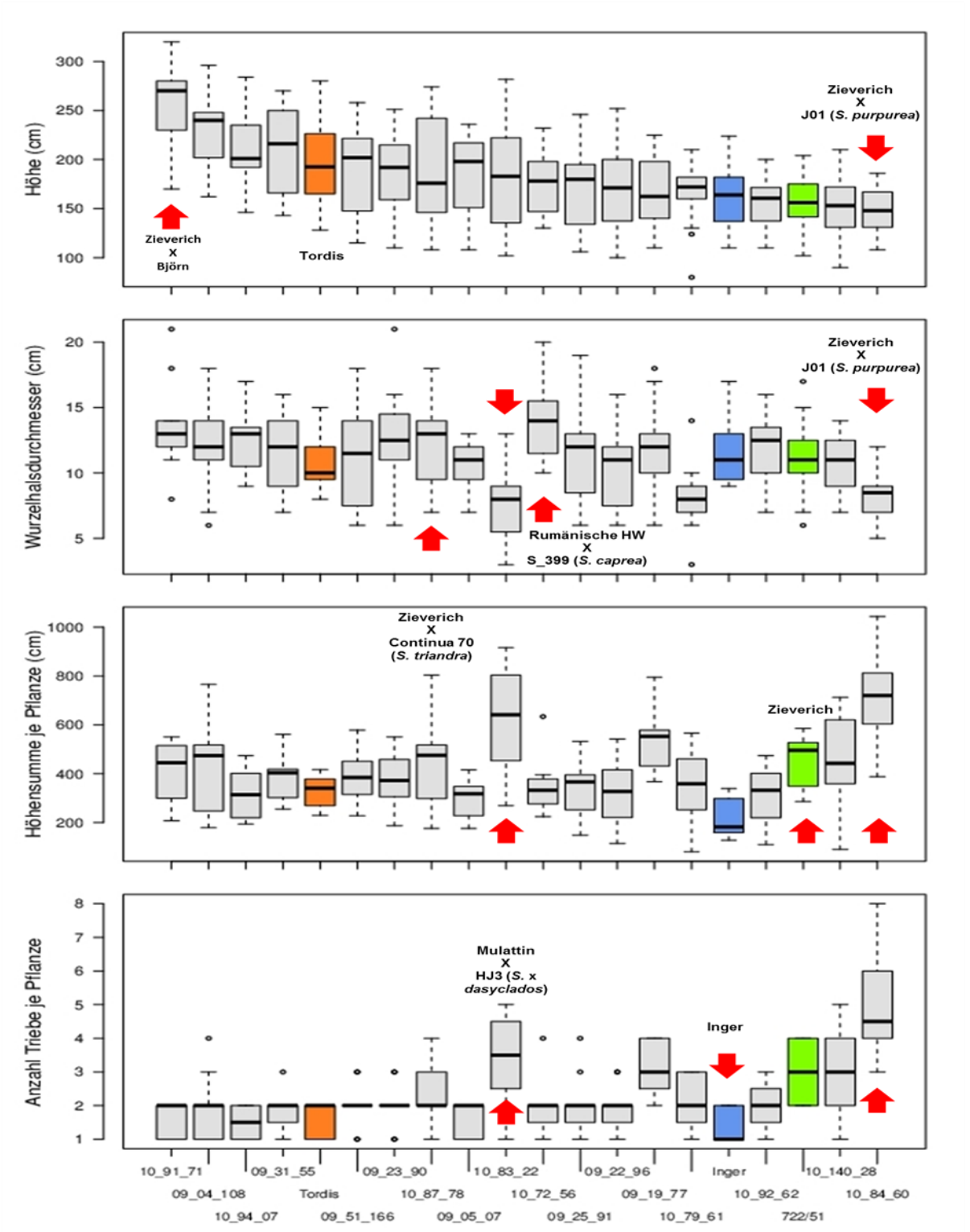


Abb. 1: Auswahl von 20 Klonen innerhalb eines Rankings von insgesamt 444 Prüfgliedern oberhalb des Standards Inger (Platz 293 in der „Höhensumme“); Standards: „Tordis“ = orange, „Inger“ = blau, 722/51 = „Zieverich“ = grün; Die Reihenfolge der Prüfglieder wurde von Links beginnend nach dem Parameter Höhe (1. Diagramm Oben) absteigend sortiert und für Wurzelhalsdurchmesser, Höhensumme je Pflanze und Anzahl Triebe je Pflanze für die anderen Diagramme beibehalten.

Korrespondierender Autor:
Steffen Fehrenz
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA)
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Str. 6
34346 Hann. Münden
steffen.fehrenz@nw-fva.de

Thünen Report

Bereits in dieser Reihe erschienene Hefte – *Volumes already published in this series*

5	Bernhard Forstner und Andreas Tietz **Kapitalbeteiligung nichtlandwirtschaftlicher und überregional ausgerichteter Investoren an landwirtschaftlichen Unternehmen in Deutschland**
6	Janina Krug **Perspektiven ackerbaulicher Grenzstandorte in Nordostdeutschland – Übertragbarkeit extensiver Produktionssysteme überseeischer Trockenstandorte**
7	M. Liesebach, B. Degen, H. Grotehusmann, A. Janßen, M. Konnert, H.-M. Rau, R. Schirmer, D. Schneck, V. Schneck, W. Steiner, H. Wolf **Strategie zur mittel- und langfristigen Versorgung mit hochwertigem forstlichem Vermehrungsgut durch Züchtung in Deutschland**
8	Kurt-Jürgen Hülsbergen, Gerold Rahmann (Hrsg.) **Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben**
9	Holger Weimar und Dominik Jochem (Hrsg.) **Holzverwendung im Bauwesen – Eine Marktstudie im Rahmen der „Charta für Holz“**
10	Horst Gömann, Thomas de Witte, Günter Peter, Andreas Tietz **Auswirkungen der Biogaserzeugung auf die Landwirtschaft**
11	Bernhard Osterburg, Sebastian Rüter, Annette Freibauer, Thomas de Witte, Peter Elsasser, Stephanie Kätsch, Bettina Leischner, Hans Marten Paulsen, Joachim Rock, Norbert Röder, Jürn Sanders, Jörg Schweinle, Johanna Steuk, Heinz Stichnothe, Wolfgang Stümer, Johannes Welling, Anne Wolff **Handlungsoptionen für den Klimaschutz in der deutschen Agrar- und Forstwirtschaft**
12	Heinrich Becker und Andrea Moser **Jugend in ländlichen Räumen zwischen Bleiben und Abwandern – Lebenssituation und Zukunftspläne von Jugendlichen in sechs Regionen in Deutschland**
13	Bernhard Osterburg, Stephanie Kätsch und Anne Wolff **Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050**
14	Philipp Adämmer, Martin T. Bohl und Ernst-Oliver von Ledebur **Die Bedeutung von Agrarterminmärkten als Absicherungsinstrument für die deutsche Landwirtschaft**
15	Simon Walther **Determinants of competitiveness of agriholdings and independent farms in Ukrainian arable production**
16	Nicole Wellbrock, Andreas Bolte et al. **Kohlenstoff- und Nährelementspeicherung von Waldflächen des forstlichen Umweltmonitorings (BZE) in Rheinland-Pfalz**
17	Hans-Dieter Haenel, Claus Rösemann, Ulrich Dämmgen, Eike Poddey, Annette Freibauer, Sebastian Wulf, Brigitte Eurich-Menden, Helmut Döhler, Carsten Schreiner, Beate Bauer und Bernhard Osterburg **Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2012** **Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990 – 2012**

18	Patrick Küpper, Stefan Kundolf und Anne Margarian **Neue Beteiligungs- und Steuerungsprozesse in der ländlichen Entwicklung**
19	Frank Offermann, Claus Deblitz, Burkhard Golla, Horst Gömann, Hans-Dieter Haenel, Werner Kleinhanß, Peter Kreins, Oliver von Ledebur, Bernhard Osterburg, Janine Pelikan, Norbert Röder, Claus Rösemann, Petra Salamon, Jürn Sanders, Thomas de Witte **Thünen-Baseline 2013 – 2023: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland**
20	Gerald Rahmann und Uygun Aksoy (Eds.) **Building Organic Bridges – Volume 1: Argentina – France** **Building Organic Bridges – Volume 2: Germany – India** **Building Organic Bridges – Volume 3: Indonesia – Sri Lanka** **Building Organic Bridges – Volume 4: Sweden – Viet Nam**
21	Claudia Heidecke, Ulrike Hirt, Peter Kreins, Petra Kuhr, Ralf Kunkel, Judith Mahnkopf, Michael Schott, Björn Tetzlaff, Markus Venohr, Andrea Wagner und Frank Wendland Endbericht zum Forschungsprojekt **„Entwicklung eines Instrumentes für ein flussgebietsweites Nährstoffmanagement in der Flussgebietseinheit Weser“** **AGRUM^{+}-Weser**
22	Walter Dirksmeyer, Ludwig Theuvsen und Maike Kayser (Hrsg.) **Aktuelle Forschung in der Gartenbauökonomie –** Tagungsband zum 1. Symposium für Ökonomie im Gartenbau
23	Karsten Mohr, Jerzy Suda, Hans Kros, Christian Brümmer, Werner L. Kutsch, Miriam Hurkuck, Elisabeth Woesner, Wim Wesseling **Atmosphärische Stickstoffeinträge in Hochmoore Nordwestdeutschlands und Möglichkeiten ihrer Reduzierung – eine Fallstudie aus einer landwirtschaftlich intensiv genutzten Region**
24	Raphael Albrecht **Ein Ansatz zur Abschätzung der interregionalen Wettbewerbsfähigkeit der Zuckerrübenproduktion – am Beispiel ausgewählter europäischer Regionen**
25	Ute Petersen, Hans-Joachim Weigel **Klimaresilienz durch Agrobiodiversität?** Literaturstudie zum Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit von landwirtschaftlichen Produktionssystemen gegenüber dem Klimawandel
26	Mirko Liesebach (Hrsg.) **FastWOOD II: Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb –** Erkenntnisse aus 6 Jahren FastWOOD

THÜNEN

Thünen Report 26

Herausgeber/Redaktionsanschrift

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

www.ti.bund.de

ISBN 978-3-86576-131-6