

Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb

Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung



Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.)
Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb

This work is licensed under the [Creative Commons](#) License 3.0 “by-nd”, allowing you to download, distribute and print the document in a few copies for private or educational use, given that the document stays unchanged and the creator is mentioned. You are not allowed to sell copies of the free version.



erschieden als Band 8 der Reihe
„Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt“
in den Universitätsdrucken im Universitätsverlag Göttingen 2012

Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.)

Züchtung und Ertrags- leistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb

Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD,
ProLoc und Weidenzüchtung

Fachtagung vom 21. bis 22.09.2011 in
Hann. Münden

Beiträge aus der
Nordwestdeutschen
Forstlichen Versuchsanstalt
Band 8



Universitätsverlag Göttingen
2012

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Global Forest Decimal Classification: 262, 165.72, 165.41, 232.328.1, 565, 566

Herausgeber der Reihe:

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

Schriftleitung der Reihe: Prof. Dr. Hermann Spellmann

Redaktion der Reihe: Inge Kehr, Ulrike Gaertner

Gastredaktion: Meike Borschel, Christina Fey-Wagner, Dr. Alwin Janßen

Dieser Band enthält die Vortrags- und Posterbeiträge einer von der NW-FVA und dem Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HERO) e. V. durchgeführten Fachtagung, die vom 21.-22.09.2012 in Hann. Münden stattfand. Die Autoren sind für den Inhalt ihrer Artikel selbst verantwortlich.

Die Verbundprojekte „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD)“ und „Erfassung von Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten (ProLoc)“ sowie das Einzelprojekt „Neuzüchtung und Erprobung bisher nicht registrierter Weidenklone und -sorten“ wurden vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) finanziert.

Titelfoto: Proloc-Versuchsfläche mit Pappeln bei Unterrieden / Witzenhausen
(Hans-Jürgen Arndt, NW-FVA)

Dieses Buch ist auch als freie Onlineversion über die Homepage der NW-FVA, des Verlages sowie über den OPAC der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek (<http://www.sub.uni-goettingen.de>) erreichbar und darf gelesen, heruntergeladen sowie als Privatkopie ausgedruckt werden. Es gelten die Lizenzbestimmungen der Onlineversion. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

© 2012 Universitätsverlag Göttingen

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

ISBN: 978-3-86395-070-5

ISSN: 1865-6994

Grußwort

Zur Tagung „Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung“ vom 21. und 22. September 2011 in Hann. Münden

Bereits seit Mitte der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts haben das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) sowie die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) den Bereich der landwirtschaftlichen Energieholzproduktion mit der Förderung von FuE-Vorhaben unterstützt. Dies wurde ab 2006 nochmals intensiviert. Neben der Erntetechnik wurden nun vor allem Fragen der Ertragsmodellierung und der züchterischen Verbesserung der relevanten Baumarten als wichtige Forschungsaufgaben benannt. Im April und Oktober 2008 starteten dann die Vorhaben ProLoc und FastWOOD.

Der Gegenstand des Vorhabens ProLoc „Erfassung von Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten“ besteht in der Entwicklung eines standort- und klimabezogenen Ertragsmodells für schnellwachsende Baumarten. Hierzu sollen auf über das gesamte Bundesgebiet verteilten Versuchsstandorten Zuwachs- und Vitalitätsparameter an Pappeln und Weiden erhoben werden, um möglichst genaue Korrelationen zwischen den Standort- und Klimavariablen sowie dem Massenertrag zu identifizieren.

Gegenstand des Verbundvorhabens FastWOOD „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb“ 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, Klommischungen und Nachkommen-

schaften. Die zu prüfenden Klone werden sowohl in Feldversuchen selektiert als auch durch Kreuzungen neu gezüchtet. Es ist davon auszugehen, dass dieses Verbundvorhaben den Neubeginn der Züchtung bei schnellwachsenden Baumarten (Pappel, Weide, Robinie) in Deutschland darstellt.

Derzeit gibt es 4.668 ha Kurzumtriebsplantagen in Deutschland. Legt man die Steigerungsraten der letzten Jahre von etwa 1.000 ha/Jahr für eine Prognose zugrunde, werden wir in 5 Jahren vielleicht 10.000 ha in Deutschland haben, was etwa den Anbauflächen in Schweden oder Großbritannien entspricht. Das ist immer noch eine relativ kleine Fläche, verglichen mit den Anbauzahlen für landwirtschaftliche Kulturen wie Raps oder Mais.

Und dennoch sind wir überzeugt, dass es sich lohnt, in diese Richtung zu investieren. Obwohl die Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle spielen, kann auch durch Forschungsförderung auf diesem Gebiet ein erheblicher Fortschritt erzielt werden. Die FNR, zuständig für die Forschungsförderung bei nachwachsenden Rohstoffen in Deutschland, hat von Anfang an die Forschung zu schnellwachsenden Baumarten unterstützt. In den Jahren von 1991 bis 2001 waren das insgesamt 4 Mio. € für 16 Forschungsvorhaben. Seit 2006 hat eine zweite Förderphase begonnen mit insgesamt 18 Verbundvorhaben (43 Einzelprojekte) und einer Gesamtfördersumme von 11,6 Mio. €, darunter FastWOOD I mit insgesamt 8 Teilvorhaben und einer Fördersumme von 2,4 Mio. € sowie ProLoc mit 0,7 Mio. €.

Pflanzenzüchtung ist eine langwierige Angelegenheit, insbesondere die Forstpflanzenzüchtung und die Züchtung schnellwachsender Bäume. Deshalb wird das Verbundvorhaben FastWOOD fortgesetzt.

Mit der Eröffnung der Veranstaltung konnten die Zuwendungsbescheide für die zweite Phase FastWOOD mit einer Fördersumme von 3,7 Mio. € übergeben werden.

Die bisher erreichten Ergebnisse sollen nun im Mittelpunkt des Symposiums „Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb – Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung“ stehen.

Ich wünsche der Tagung einen interessanten Verlauf und Ihnen allen eine Vielzahl neuer Erkenntnisse!

Dr. Steffen Daebeler

Stellvertretender Geschäftsführer der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

Inhaltsverzeichnis

Grußwort	I
Inhaltsverzeichnis	III

Tagungsbeiträge

Verbundvorhaben „FastWOOD“ und Projekt „Weidenzüchtung“ (A. Janßen, C. Fey-Wagner, H. Czernikarz, K. Gebhardt)	1
Zusammenfassung	1
Abstract	2
1 Einleitung	3
2 Verbundvorhaben FastWOOD	4
3 Projekt „Weidenzüchtung“	6
Literatur	8
Verbundvorhaben ProLoc – Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten (M. Hofmann, D. Amthauer Gallardo, C. Siebert)	9
Zusammenfassung	9
Abstract	10
1 Einleitung und Zielsetzung	11
2 Struktur und Arbeitsteilung	12
3 Versuchsaufbau	13
4 Flächenanlage	15
5 Datenerhebung	16
6 Satellitenversuche	18
7 Ausblick	19
Literatur	20

The genus <i>Populus</i> in North America: an overview of plantation operations and domestication approaches	21
(B. Stanton)	
Abstract	21
1 Introduction	22
2 Overview of plantation management	22
3 Regional situations	24
4 North American poplar breeding programs	25
5 Future	28
Literature	29
Züchtung von Schwarz- und Balsampappeln für den Kurzumtrieb	33
(A. Janßen, S. Fehrenz, C. Fey-Wagner, W. Hüller)	
Zusammenfassung	33
Abstract	34
1 Grundsätzliches	35
2 Einleitung	37
3 Züchtungsarbeiten in Hann. Münden	38
4 Ergebnisse des Teilprojektes 1	39
5 Ausblick	51
Literatur	53
Neuzüchtung, Erprobung und mögliche Verwendung bisher nicht registrierter Weidensorten	55
(K. Gebhardt)	
Zusammenfassung	55
Abstract	56
1 Einleitung	56
2 Weiden-Zuchtsorten als Energiepflanzen	57
3 Grundlagen, Verfahren und Ergebnisse der Neuzüchtung	58
4 Ergebnisse der Neuzüchtung	60
5 Züchtungsstrategien und funktionale Genomik	64
6 Neue Möglichkeiten der stofflichen Nutzung	67
Literatur	68

Züchtung von Aspen für den Kurzumtrieb	
(M. Liesebach, V. Schneck, H. Wolf)	71
Zusammenfassung	71
Abstract	72
1 Einleitung	73
2 Die Arten der Sektion <i>Populus</i> (Weiß- und Zitter-Pappeln)	74
3 Geschichtlicher Abriss der Aspenzüchtung	77
4 Züchtungskonzept in der Sektion <i>Populus</i>	78
5 Ergebnisse von Nachkommenschaftsprüfungen im Kurzumtrieb	80
6 Ausblick	84
Literatur	88
Standortbasierte Ertragsmodellierung von Pappel- und Weidenhybriden	
(D. Amthauer Gallardo, M. Hofmann, H. Röhle)	91
Zusammenfassung	91
Abstract	92
1 Einführung	93
2 Material und Methoden	94
3 Ergebnisse und Diskussion	99
4 Fazit	103
Literatur	104
Ertragsschätzung in Kurzumtriebsplantagen aus Pappel und Weide	
(H. Röhle, K. Skibbe)	105
Zusammenfassung	105
Abstract	106
1 Einleitung	107
2 Standortbasierte Leistungsschätzung für Pappel	107
3 Verfahren zur Ertragsermittlung für Pappel	110
4 Überlegungen zur Ertragsermittlung für Weide	115
5 Fazit	116
Literatur	116

Rindenanteile und Aschegehalt von Pappel- und Weidenhybriden	119
(D. Amthauer Gallardo, D. Seymour)	
Zusammenfassung	119
Abstract	120
Stickstoffumsatz in einer Kurzumtriebsplantage in Nordost- Deutschland	
(J. Kern, A. Balasus, V. Scholz)	123
Zusammenfassung	123
Abstract	124
Dynamik der organischen Bodensubstanz nach Anlage von Schnellwuchsplantagen	
(N. Heyn, C. Wachendorf)	127
Zusammenfassung	127
Abstract	128
1 Einleitung	129
2 Methoden	130
3 Ergebnisse und Diskussion	132
Literatur	141
Pilotprojekt zum Kurzumtrieb der Robinie (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) in Brandenburg	
(D. Knoche, J. Engel)	143
Zusammenfassung	143
Abstract	144
1 Waldbauliche Ausgangssituation und Zielsetzung	145
2 Etablierung von Modellbeständen für einen Kurzumtrieb	149
3 Biomassepotenzial in ein- und zweijähriger Rotation	153
4 Weitere Ergebnisse	156
5 Bedeutung für die Praxis und Ausblick	159
Literatur	161

Sind alte Pappelsorten für den Kurzumtrieb geeignet? (M. Tubes, R. Schirmer)	165
Zusammenfassung	165
Abstract	166
1 Pappelzüchtung im Rückblick	167
2 Projektziel	168
3 Notwendigkeit der Prüfung von Altsorten	168
4 Vorgehensweise	170
5 Ergebnisse	178
Literatur	180
Erzeugung triploider Individuen und intersektioneller Hybriden bei verschiedenen Pappelarten (D. Ewald, K. Ulrich, H. Liesebach)	181
Zusammenfassung	181
Abstract	182
1 Einleitung	183
2 Erzeugung triploider Aspen und Pappeln	184
3 Intersektionelle Kreuzungen	188
4 Bestimmung des Wachstums von in vitro vermehrten Aspen- und Pappelhybriden in Containerversuchen	189
5 Untersuchungen zur Stecklingsbewurzelbarkeit	191
6 Schlussfolgerungen	192
Literatur	193
Holzanatomie, Physiologie und Verwendbarkeitseigenschaften – „Moderne“ Züchtungsziele für den Agrarholzmarkt? (M. Meyer, A. Solger, D. Krabel)	195
Zusammenfassung	195
Abstract	196
1 Einleitung	198
2 Material und Methoden	200
3 Ergebnisse und Diskussion	205
Literatur	216

Untersuchungen zur Pathotypenstruktur des Pappelblattrosts	
<i>Melampsora larici-populina</i> auf neu angelegten Versuchsflächen mit	
Schwarz- und Balsampappeln und ihre Bedeutung für den	
Kurzumtrieb	
(C. Fey-Wagner, A. Janßen, N. Klippert)	219
Zusammenfassung	219
Abstract	220
1 Einleitung	221
2 Material und Methoden	222
3 Ergebnisse	230
4 Schlussfolgerungen	234
Literatur	235
Untersuchungen zur abiotischen Resistenz schnellwachsender	
Baumarten	
(M. Schildbach, H. Wolf, K.-U. Hartmann)	237
Zusammenfassung	237
Abstract	238
1 Einleitung	239
2 Material	240
3 Trockenheitsresistenz	241
4 Frostversuche	251
5 Schlussfolgerungen	255
Literatur	256
Identifizierung kommerziell genutzter Pappelklone – der Nutzen	
molekularer Marker für die Züchtung	
(H. Schröder, M. Fladung)	257
Zusammenfassung	257
Abstract	258
1 Einleitung	258
2 Molekulare Marker	258
3 Entwicklung von Mikrosatelliten-Markern	259
4 Entwicklung von SNP-Markern	260

5	Anwendung der molekularen Marker	261
6	Schlussfolgerungen	264
	Literatur	264
	Klonidentifizierung bei Zuchtmaterial der Robinie (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) mit nuklearen Mikrosatellitenmarkern (H. Liesebach, G. Naujoks)	267
	Zusammenfassung	267
	Abstract	268
1	Einleitung	268
2	Material und Methoden	269
3	Ergebnisse und Diskussion	269
4	Schlussfolgerungen	272
	Literatur	273
	Genetische Charakterisierung von Robinienbeständen (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) in Deutschland mit nuklearen Mikrosatelliten-Markern: Erkenntnisse zu ihrer Bestandesbegründung (H. Liesebach)	275
	Zusammenfassung	275
	Abstract	276
1	Einleitung	277
2	Material und Methoden	278
3	Ergebnisse und Diskussion	279
	Literatur	292
	Wie groß ist das Potenzial von <i>Populus nigra</i> mit <i>Populus × canadensis</i> Hybridschwärme zu bilden? – Wo sich Mendel und molekulare Marker begegnen (R. Bialozyt, G. Rathmacher, M. Niggemann, B. Ziegenhagen)	295
	Zusammenfassung	295
	Abstract	297
1	Einleitung	298
2	Materialien und Methoden	299
3	Ergebnisse	304

4	Diskussion	308
	Literatur	311
	Ökologisches Potenzial und Analyse von Leistungsparametern europäischer Weidenarten für den Kurzumtrieb	
	(S. Fehrenz, D. Weber)	315
	Zusammenfassung	315
	Abstract	316
1	Einleitung	317
2	Bewertung des ökologischen Potenzials europäischer Weiden arten und deren Hybriden für den Kurzumtrieb	317
3	Analyse von Leistungsparametern	321
4	Leistungsparameter der Fotosynthese über Messung der Chlorophyllfluoreszenz	327
5	Strukturanalyse des Zusammenhangs zwischen aktueller Blattfläche, Foto-Effizienz, Höhe und Raumdominanz	330
6	Strategien für die Züchtung neuer Ideotypen	338
	Literatur	339

Kurzfassungen der Posterbeiträge

	Vergleichender Anbau zweier Pappelklone auf Grenzertragsstandorten der Vorderpfalz	
	(M. Armbruster, H. W. Fischer)	341
	Ertragseinfluss und Umweltwirkungen von Stickstoffdüngern in Weiden- und Pappel-KUP am Standort Potsdam-Bornim	
	(A. Balasus, V. Scholz, R. Pecenka, P. Kaulfuß, M. Schleusner, J. Kern)	343
	Biomasseerträge von 16 Nachkommenschaften der Zitter-Pappeln im Kurzumtrieb	
	(M. Liesebach, U. Bütow)	345
	Vergleich von 30 Pappelnachkommenschaften der Sektion <i>Populus an</i> 7 Versuchsorten	
	(M. Liesebach, P. Eichel, M. Zander)	347
	Anbauerfahrungen mit der Amerikanischen Schwarz-Pappel	
	(M. Liesebach)	349

Untersuchungen zur Produktivität und zum Pilzbefall einer einjährigen Pappelklon-Demonstrationsfläche (R. Nievelnkötter, C. Rolf, C. Mengel, C. Fey-Wagner, I. Leyer, B. Ziegenhagen)	351
Standort-Leistungsschätzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen (H. Röhle, W. Ali, K. Skibbe)	352
Ertragsermittlung von Kurzumtriebsplantagen aus Pappel (H. Röhle, K.-U. Hartmann, K. Skibbe)	353
Schnellwachsende Hölzer auf Kurzumtriebsplantagen (H. Rumpf)	354
Projekt BIODEM – Versuchs- und Demonstrationsflächen zum Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb (R. Schlepphorst, H. Hartmann)	356
Anlage von Mutterquartieren der Pappelsorten 'Matrix 49', 'Matrix 24' und 'Matrix 11' als Unterstützungsleistung für die Forstliche Saatgutstelle Hessen (Staatl. Samendarre Wolfgang) (W. Hüller)	358
Verbundvorhaben ProLoc – Erfassung und Modellierung von Klon-Standort-Wechselwirkung bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten (C. Siebert, M. Hofmann, D. Amthauer Gallardo)	360
Ergebnisse zur Erfassung und Modellierung der Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten (D. Amthauer Gallardo, M. Hofmann, C. Siebert, H. Röhle)	362
Frühselektionskriterium „Zuwachsleistung von Sämlingen“ auf dem Prüfstand (C. Briebach, H. Merkel, W. Hüller, K. Gebhardt)	364
Eine einparametrische Volumenfunktion zur Bestimmung der Zuwachsleistung von ein- und zweijährigen Pappelaufwüchsen (H. Merkel, C. Briebach, W. Hüller, K. Gebhardt)	366
Von der Kreuzung zur Versuchsflächenanlage: Vorprüfungen zur Selektion der aussichtsreichsten Klone für die Feldversuche (W. Hüller)	368

Erste vorläufige Entwicklungstendenzen auf der Feldversuchsfläche zur Sortenprüfung in Stölzingen (Nordhessen) (W. Hüller)	369
Prüfung von Pappelklonen aus einem alten Sortiment auf Anbaueignung für Energieholzplantagen (V. Schneck)	370
Chlorophyllfluoreszenz als Diagnosetool zur Quantifizierung von photosynthetischen Leistungsparametern bei Pappeln und Weiden (D. Weber, S. Fehrenz)	372
Molekulare Charakterisierung von Sorten und Klonen – Methoden zur Verbesserung der Zusammenarbeit verschiedener Labore (P. Eusemann, S. Fehrenz, H. Schröder, B. Ziegenhagen, R. Bialozyt)	374
Entwicklung und Nutzung neuartiger genetischer Technologien zur Erhöhung von Biomasseerträgen in <i>Populus spec.</i> (PopMass) (M. Fladung)	376
DNA Mikrosatelliten: Mehrzweck-Marker in der <i>Salix</i>-Züchtung und Plantagenwirtschaft (B. Ziegenhagen, S. Fehrenz, I. Leyer, E. Mosner, S. Liepelt, R. Bialozyt, J. Bozzi, P. Marchelli, L. Gallo, K. Gebhardt, C. Mengel)	377
SNP – Diagnose züchtungsrelevanter Eigenschaften von Salicaceae (K. Pfennig, M. Hoffmann, M. Brauer, S. Liepelt, M. Fladung, K. Gebhardt)	379
Ökologisches Potenzial heimischer Weiden und Hybriden für den Kurzumtrieb (S. Fehrenz, K. Gebhardt)	381
Mikrovermehrung von Weiden-Zuchtsorten (U. Frühwacht-Wilms, H. Dembny, S. Fehrenz, K. Gebhardt)	382
Abstammung der Nachkommen einer frei abgeblühten <i>S. viminalis</i> des Salicetums Vaake (K. Gebhardt, C. Mengel, S. Fehrenz, B. Ziegenhagen)	383
Ploidiestatus von Weiden (<i>Salix ssp.</i>) einer Zuchtpopulation (K. Gebhardt, S. Fehrenz)	384
Erzeugung tetraploider Pappeln als Kreuzungspartner für die Züchtung leistungsfähiger triploider Klone zur Steigerung der Biomasseproduktion (D. Ewald, K. Ulrich, N. Ring)	385

Erzeugung neuer Genotypen durch Mutagenisierung und/oder Embryo rescue (U. Frühwacht-Wilms, S. Fehrenz, K. Gebhardt)	386
Photosynthesekapazität von Leistungsklonen der Pappel bei unterschiedlichen Ploidiestufen (D. Lüttschwager, D. Ewald)	387
ZÜEND – Züchtung neuer Energiepappeln für Deutschland (R. Lührs, N. Efremona, P. Welters, A. Meier-Dinkel, A. Janßen, M.-M. Voß, M. Fladung)	388
AgroForstEnergie – Agroforstsysteme mit Energieholz. Erste Ergebnisse: Umweltwirkungen Dornburg (M. Bärwolff, A. Vetter)	390
AgroForstEnergie – Agroforstsysteme mit Energieholz. Erste Ergebnisse: Erträge Dornburg (M. Bärwolff, C. Schmidt, A. Vetter)	392
Feldstreifen mit schnellwachsenden Baumarten (M. Grunert, K. Ruscher)	394
Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf arsen- und schwermetallbelasteten Flächen (M. Grunert, A. Dietzsch)	395
IO-A1 Agroforstwirtschaft und Kurzumtriebsplantagen (L. Hartmann u. N. Lamersdorf)	396
Das Projekt AgroForNet und die Internetseite energieholz-portal.de (M. Hirsch)	397
Wachstums-Entwicklung von Pappeln und Weiden in Agroforstsystemen (K. Pfennig, G. von Wühlisch)	398
Selektion trocken toleranter Robinien (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) für die Biomasseerzeugung – Untersuchungen an Sämlingen internationaler Herkunft (T. Guse, G. von Wühlisch)	400
Klonidentifizierung bei Zuchtmaterial der Robinie (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) mit nuklearen Mikrosatellitenmarkern (H. Liesebach, G. Naujoks)	402

Streufall und Streumsatz in Böden von Kurzumtriebsplantagen (N. Heyn, C. Wachendorf, R. G. Jörgensen)	404
Aspekte zum N-Kreislauf in Kurzumtriebsplantagen (N. Lamersdorf, P. Schmidt- Walter)	405
Verwendung des Pappelklons Matrix 49 zur Herstellung von leichten Spanplatten (A. Reichelt, J. G. Franke, M. Heimbrod, M. Schröder, L. Kloeser)	406
1 Material und Methoden	406
2 Ergebnisse	407
TREEFORJOULES – Verbesserung der Holzeigenschaften von Eukalyptus und Pappel für die Bioenergiegewinnung (B. Pakull, H. Schröder, M. Fladung)	408
Erhöhung des Biomassertrags schnellwachsender Gehölze für geringwertige Standorte durch den Einsatz arbuskulärer Mykorrhizapilze (H. Dembny)	409
Der Baum aus der Pille – Untersuchungen zur Pillierung von Aspen-Saatgut (G. Naujoks, U.-K. Krakau)	411
1 Einleitung	411
2 Material und Methoden	412
3 Ergebnisse und Diskussion	413
4 Resümee und Ausblick	416
Kleine Bakterien – Große Wirkung? Endophytische Bakterien fördern das Wachstum von Bäumen (K. Ulrich, R. Becker, H. Enkisch, C. Scherling, W. Weckwerth, D. Ewald)	418
Phylogenetische Analysen in den Pappel-Sektionen Aigeiros und Tacamahaca (S. Fehrenz, S. Havel)	419
Stickstoffumsatz in einer Kurzumtriebsplantage in Nordost-Deutschland (J. Kern, A. Balasus, V. Scholz)	421

Dienstleistungen und Auftragsforschungen zur Beurteilung der photosynthetischen Leistungsfähigkeit von Nutzpflanzen und Forstpflanzen (D. Weber)	423
Photosyntheseeffizienz und Blattfläche: Steigerung des Ertrags und der Züchtungseffizienz durch frühe Diagnose von Leistungsparametern bei Pappeln und Weiden (S. Fehrenz, D. Weber)	425
Untersuchungen zur natürlichen genetischen Variabilität der Pappel im Rahmen des BMBF Verbundprojektes „ISOWOOD-BREEDING“ (K. Linke, M. Meyer, F. Hortig, G. Helle, D. Krabel)	427
Ertragsschätzung in Kurzumtriebsbeständen aus Pappel und Weide (H. Röhle, K. Skibbe)	429

Verbundvorhaben „FastWOOD“ und Projekt „Weidenzüchtung“

Joint research project “FastWOOD” and research project “Willow Breeding”

Alwin Janßen, Christina Fey-Wagner, Hanna Czernikarż und Karl Gebhardt

Zusammenfassung

In dem Verbundvorhaben „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD)“ werden sowohl Pappelklone aus vorhandenem Züchtungsmaterial selektiert und geprüft als auch neue Sorten über kontrollierte Kreuzungen gezüchtet. Die gezielten Kreuzungen basieren vor allem auf den Arten *Populus nigra*, *P. deltoides*, *P. trichocarpa* und *P. maximowiczii* sowie *P. tremula* und *P. tremuloides*. Genetische Untersuchungen und morphologische Beschreibungen der gezüchteten Pappelklone sollen die sichere Identifizierung ermöglichen. Daneben werden Begleitforschungen zur physiologisch-anatomischen Charakterisierung des neu gezüchteten Materials und zur heimischen Schwarzpappel durchgeführt. Weiterhin wird ein Modellverfahren zur Begründung von Robinie entwickelt. Eine Internetseite (www.fastwood.org) wird die Ergebnisse des Verbundvorhabens allen Interessierten zugänglich machen.

Das Projekt „Weidenzüchtung“ zielt auf eine nachhaltige Steigerung der Massenleistung (Ertrag/Fläche/Zeit) von Klonen, die im Kurzumtrieb mit Umtriebszeiten von 2 bis 5 Jahren bewirtschaftet werden. Im Vordergrund steht die

Neuzüchtung und Erprobung bisher nicht registrierter Sorten. Neben Sorten der Korbweide *Salix viminalis* werden von der NW-FVA sowohl andere Arten (*S. daphnoides*, *S. cinerea*, *S. alba*, *S. caprea*, *S. dasyclados*, *S. purpurea*, *S. sachalinensis*) als auch Hybriden dieser Arten (z. B. *S. x helix*) in die Untersuchungen einbezogen. Im Besonderen werden Techniken der schnellen Vermehrung (Klonierung) von vielversprechenden Klonen erprobt. Die geplanten genetischen Untersuchungen dienen in Verbindung mit der Beschreibung morphologischer Merkmale dem Nachweis der Unterscheidbarkeit von anderen Arten, Hybriden und klonalen Sorten.

Die Förderung beider Vorhaben erfolgte durch finanzielle Unterstützung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) als Projektträger des BMELV für das Förderprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“.

Stichworte: Züchtung, Pappel, Weide, Robinie, Kurzumtrieb, Kurzumtriebsplantagen (KUP)

Abstract

In the joint research project “Breeding of fast-growing tree species for the production of renewable resources on short rotations (FastWOOD)”, poplar clones from existing breeding stock are selected and tested, and new varieties are also bred through controlled cross-breeding. The targeted cross-breeds are based primarily on the species *Populus nigra*, *P. deltoides*, *P. trichocarpa*, *P. maximowiczii*, *P. tremula* and *P. tremuloides*. Genetic investigations and morphological descriptions of the poplar clones bred should enable their precise identification. Furthermore, complementary research is carried out on the physiological-anatomical characteristics of the newly bred poplar varieties, and of native black poplar. Moreover a model approach for the establishment of black locust is also developed. The results of the joint research project will be available to all those interested at the internet site (www.fastwood.org).

The project “willow breeding” aims to sustainably increase the productivity of clones managed as short rotation coppice with rotation periods of 2-5 years. The project focuses on breeding new varieties, and the trial of varieties as yet unregistered. In addition to varieties of the common willow *Salix viminalis*, the NW-FVA has included other species (*S. daphnoides*, *S. cinerea*, *S. alba*, *S. caprea*, *S. dasyclados*, *S. purpurea*, *S. sachalinensis*) as well as other hybrids of these species (e.g., *S. x helix*). In particular, techniques for the fast vegetative propagation of the promising clones were tested. The genetic investigations planned together with the descriptions of morphological characteristics serve to show that this plant material can be distinguished from other species, hybrids and clones.

Both projects have been supported by financial assistance from the Ministry for Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) via the Agency for

Renewable Resources (FNR), the project manager of the Renewable Energy Program for the BMELV.

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

1 Einleitung

Im Dezember 2008 hat sich die Europäische Union auf ein Richtlinien- und Zielpaket für Klimaschutz und Energie geeinigt, welches ambitionierte Zielvorgaben 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 erzeugt aus erneuerbaren Energien
- 20 % mehr Energieeffizienz

Die Bundesregierung hat ebenfalls anspruchsvolle Ausbauziele für erneuerbare Energien formuliert: Beim Gesamtenergieverbrauch sollen bis 2020 mindestens 20 Prozent davon aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Bis 2050 sollen sogar 60 Prozent 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 CO₂-neutral und verschärfen bei ihrer Nutzung nicht den Treibhauseneffekt. Der Anbau von schnell wachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen kann sogar durch die erhöhte Bindung von CO₂ in der Streuauflage und im Wurzelbereich 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 Fläche nur ein Teil der notwendigen Energieerzeugung durch Biomasse erfolgen.

Forstlich erzeugte nachwachsende Rohstoffe (Holz) auf Kurzumtriebsflächen weisen eine hohe Energieumwandlungsrate auf. Somit stellen schnell wachsende Bäume eine sinnvolle Alternative bzw. Ergänzung zu den bisher bereits auf rund 2,1 Millionen Hektar angepflanzten Flächen (vor allem Raps (Biodiesel), Mais (Biogas) und Weizen (Ethanol)) dar. Leider steht bei Pappel, der neben Weide wichtigsten Gattung für den Kurzumtrieb, bisher nur eine begrenzte Anzahl von

geeigneten Klonen zur Verfügung. Momentan werden hauptsächlich 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. Da Pappeln dem Forstvermehrungsgutgesetz unterliegen und als Klone vegetativ vermehrt werden, ist zudem eine Zulassung als Forstvermehrungsgut in der Kategorie „geprüft“ notwendig.

Die Deckung der entstandenen Nachfrage ist daher zurzeit schwierig und führt dazu, dass auch qualifiziertes, aber nicht speziell für deutsche Verhältnisse gezüchtetes und geprüftes Vermehrungsgut aus dem Ausland - was nach den EU-Richtlinien erlaubt ist - oder Sorten unsicherer Identität angepflanzt werden.

2 Verbundvorhaben FastWOOD

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

Die ersten vier Teilprojekte haben hauptsächlich das Ziel, neue Pappelsorten 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)

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 Potenzial- und Risikoabschätzung bei <i>Leuce</i> -Pappeln und Robinie
3 - Staatsbetrieb Sachsenforst, Referat Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung Dr. Heino Wolf	Evaluierung, Züchtung und Charakterisierung von Pappeln (Sektion <i>Leuce</i>) 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	Entwicklung einer Informationsplattform für Pappel – 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 molekulargenetische Charakterisierung von Schwarzpappeln in der Landschaft
7 - Landesforstanstalt Eberswalde Dr. habil. Ralf Kätzel	Modellprojekt zu Begründungsverfahren der Robinie (<i>Robinia pseudoacacia</i>) zur vordringlichen energetischen Nutzung
8 - Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB) Dr. Dirk Knoche	

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 Blattrost-

toleranz 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 für den Kurzumtrieb geeigneter Pappelklone.

Die ursprünglich in den Teilprojekten 1 und 3 angesiedelte Züchtung von Weiden wurden in dem Projekt „Weidenzüchtung“ bearbeitet (s. Kap 3).

Die Teilprojekte 5 und 6 unterstützen mit zusätzlichen Untersuchungen die Züchtungsarbeiten. Im Teilprojekt 5 werden physiologisch-anatomische Charakterisierungen und Untersuchungen zum Verhalten von Pappeln unter Stressbedingungen 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 untersucht beispielhaft den möglichen Einfluss von gezüchteten Pappelsorten auf die indigenen Schwarzpappelvorkommen.

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 erfolversprechende Verjüngung der in Brandenburg vorhandenen Robinienbestände entwickeln.

3 Projekt „Weidenzüchtung“

Seit Mitte der 1970er Jahre werden Weiden insbesondere in den Nordeuropäischen Ländern als Energiepflanzen genutzt (CHRISTERSSON et al. 1993). Ihre Fähigkeit zum Stockausschlag, der frühe Blattaustrieb und die große Blattfläche an den verholzten Trieben machen eine effiziente Photosynthese und hohe Biomasserträge in kurzen Umtriebszeiten möglich. Obwohl Weidenarten natürlicherweise oft in Feuchtgebieten, entlang von Bächen und in überfluteten Lebensräumen stocken, können zahlreiche Arten auch in trockeneren Gebieten und auf marginalen landwirtschaftlichen Böden gedeihen, wenn sie regelmäßige Niederschläge (NEWSHOLME 1992) erhalten.

Ein erstes deutsches Weidenzüchtungsprojekt startete 12 Jahre nach Beendigung des European Willow Breeding Projektes (LINDEGAARD u. BARKER 1997) am 1. Oktober 2008 als Teilprojekt im EU-ERA Net Projekt Brednet SRC „Gezielte Züchtung von Weiden für Kurzumtriebsplantagen in Europa unter Berücksichtigung verschiedener Standort- und zukünftiger Klimabedingungen“ und war für einen Zeitraum von drei Jahren geplant (01.10.2008 - 30.9.2011). Tat-

sächlich musste dieses Projekt bereits am 30.04.2009 beendet werden, da kein Kooperationsvertrag mit den englischen und schwedischen Partnern zustande kam. Der Neustart des FNR-Projektes „Neuzüchtung und Erprobung bisher nicht registrierter Weidenklone und -sorten“ (Förderkennzeichen 22012409) erfolgte am 01.05.2009. Die erste Phase des Projektes, das im Rahmen von FastWOOD II weitergeführt wird, wurde am 30.09.2011 beendet.

Die Weidenzüchtung zielt auf eine nachhaltige Steigerung der Massenleistung (Ertrag/Fläche/Zeit) von Klonen, die im Kurzumtrieb mit bevorzugten Umtriebszeiten von 2 bis 5 Jahren bewirtschaftet werden. Im Vordergrund steht die Neuzüchtung und Erprobung bisher nicht registrierter Sorten. Neben Sorten der Korbweide *S. viminalis* werden von der NW-FVA sowohl andere Arten (*S. daphnoides*, *S. cinerea*, *S. alba*, *S. caprea*, *S. dasyclados*, *S. purpurea*, *S. sachalinensis*) als auch Hybriden dieser Arten (z. B. *S. x helix*) in die Untersuchungen einbezogen. Im Besonderen werden Techniken der schnellen Vermehrung (Klonierung) von vielversprechenden Klonen erprobt, da für Feldprüfungen unter verschiedenen Umweltbedingungen eine hohe Anzahl von Pflanzen getestet werden muss und Pflanzdichten von 13.000 bis 18.000 Stecklingen pro Hektar Voraussetzung für die vollmechanisierte Bewirtschaftung der Kurzumtriebsflächen sind. Für die Kreuzungsarbeiten werden die in Klonsammlungen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Abt. C in Hann. Münden vorhandenen 350 Klone von ca. 40 Weidenarten/Arthybriden genutzt. Die bestehenden Klonsammlungen (Saliceten) werden erhalten und erweitert.

Die geplanten genetischen Untersuchungen dienen in Verbindung mit der Beschreibung morphologischer Merkmale dem Nachweis der Unterscheidbarkeit von anderen Arten, Hybriden und klonalen Sorten. Mit geeigneten Markern können genetische Untersuchungen auch für die Abstammungsanalyse genutzt werden. Darüber hinaus dienen die Erzeugung und der Nachweis von Ploidie-mutanten dem Züchtungsfortschritt.

Die Selektion und Prüfung von Klonen vollzieht sich auf der Ebene von Voll- und Halbgeschwisterfamilien in mehreren Stufen (Sämling, klonierte Einzelpflanze, Klonfamilie, Klonmischung). Die aktuellen Züchtungsziele entsprechen weitgehend den für Pappeln genannten Zielen. Den wirtschaftlichen Erfolg bedingen:

- geringe Gesamtkosten (Begründung, Pflege, Düngung, Ernte, Rekultivierung) und
- hohe Konversionseffizienz (falls das Endprodukt keine Hackschnitzel sind).

Dem Landwirt bietet die Nutzung von Weiden als Energiepflanzen zahlreiche Vorteile. Der Aufwand für die Begründung einer Fläche wird durch die Verwendung von Pflanzmaschinen und die vergleichsweise günstigen Kosten pro Steckling niedrig gehalten. Die Ernte kann z. B. mit Hilfe eines selbstfahrenden Feldhäckslers erfolgen, wenn ein Reihenverband besteht. Andere Erntemaschinen wie der sog. „Biobailer“ bündeln die bodennah abgesägten bzw. abgeschlagenen Auf-

wüchse und erlauben die Trocknung des Erntegutes direkt auf dem Feld. Die Ernte ist somit auch im Winter möglich, wenn der Boden gefroren ist. Verdichtungen und Spurrinnen auf den Feldern können so vermieden werden. Auf den Einsatz von Kunstdünger kann weitestgehend verzichtet werden.

Aus der vielseitigen Verwendbarkeit der Aufwüchse (Ruten, Hackschnitzel, Stammholz) ergeben sich zahlreiche Produktlinien, wie sie auf der Webseite www.weidenzuechtung.de dargestellt sind. Auch die Ergebnisse der bisherigen Züchtungsbemühungen und Forschung sind auf dieser Webseite zum Download freigegeben.

Literatur

- 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.
- CHRISTERSSON, L.; SENNERBY-FORSSE, L. u. ZSUFFA, L. (1993): The role and significance of woody biomass plantations in Swedish Agriculture. *Forestry Chronicle* 69: 687-693
- LINDEGAARD K. N. u. BARKER J. H.A. (1997): Breeding Willows for Biomass. In: BULLARD M. J.; ELLIS, R.G.; HEATH, M.C.; KNIGHT, J.D.; LAINSBURY, M.A. u. PARKER S.R. (ED.) *Aspects of Applied Biology* 49, Biomass and Energy Crops. The Association of Applied Biologists. pp. 155-162
- NEWSHOLME, C. (1992): *Willows: the genus Salix*. Portland, OR: Timber Press

Korrespondierender Autor:

Dr. Alwin Janßen
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Straße 6
34346 Hann. Münden
E-Mail: alwin.janssen@nw-fva.de
URL: www.nw-fva.de, www.fastwood.de, www.weidenzuechtung.de

Christina Fey-Wagner
Dr. Karl Gebhardt
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Hanna Czernikarz
Ehemals Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Verbundvorhaben ProLoc: Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten

Joint research project ProLoc: clone – site interactions of short rotation coppice of poplar and willow on agricultural sites

Martin Hofmann, Daniel Amthauer Gallardo und Christian Siebert

Zusammenfassung

Zur Erfassung von Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten wurden 38 Versuchsflächen im gesamten Bundesgebiet angelegt. Es wurden bodenkundliche Parameter, Ertrags- und Vitalitätsdaten erhoben. Damit wurden erstmals unter Einbezug möglichst aller Regionen Deutschlands Versuchsflächen nach einheitlichem Versuchsdesign angelegt und zentral ausgewertet.

Insgesamt fünf Prüfglieder, zwei Weidensorten und drei bekannte Pappelklone (Max 1, Hybride 275, AF2), wurden als unbewurzelte Steckhölzer (20 cm) im Verband 1,8 m x 0,5 m ausgebracht und nach dreijähriger Beobachtungszeit beerntet. Die Prüfglieder wurden in einer einfaktoriellen Blockanlage an den Einzel-

standorten randomisiert in vierfacher Wiederholung gepflanzt. Die Versuchsserie (mehrortig, mehrjährig) wird zusammenfassend zentral ausgewertet. Es werden Korrelationen bestimmter Standortvariablen mit dem Massenertrag identifiziert und auf Kausalität geprüft. Auf statistisch empirischer Basis werden Algorithmen entwickelt, mit den Bezugsgrößen Sorte/Klon, Boden und Witterung.

Weiterhin wird die C-Sequestrierung über die am Standort verbleibende Pflanzenbiomasse untersucht (Universität Kassel). Ein Satellitenprojekt entwickelt eine Schätzmethode zur schnellen Ertragsbestimmung in Kurzumtriebsbeständen (TUD, Tharandt), ein weiteres befasst sich mit dem Stickstoffumsatz in einer Kurzumtriebsplantage (ATB Potsdam).

Stichworte: Kurzumtrieb, Weide, Pappel Ertragsmodell, Klon-Standort-Wechselwirkung

Abstract

To assess clone-site interactions for poplar and willow on agricultural land, 38 study sites were established throughout Germany. Soil parameters and yield and vitality data were recorded. Thus in this project, for the first time, a universal experimental design was used in the establishment of study sites across as many regions as possible in Germany, which were then analyzed centrally.

In total 5 variants, two willow varieties and three well known poplar clones (Max 1, hybrid 275, AF2) were planted as unrooted cuttings (20 cm) at spacings of 1.8 m x 0.5 m, and harvested after a three-year observation period. The variants were planted in a randomized one factorial block design at each site with 4 repetitions. The study series data (multi-site, multi-age) were compiled analyzed together. Correlations between particular site variables with total yield were identified and tested for causality. Empirical statistics was used to develop algorithms with the parameters variety/clone, soil and climate.

Furthermore the C sequestration of the remaining plant biomass at the study sites was also investigated (University of Kassel). A satellite project developed a method of estimation for the rapid determination of yield in short rotation coppice plantations (TUD, Tharandt); another project investigated the nitrogen turnover in a short rotation coppice plantation (ATB Potsdam).

Keywords: SRC, willow, poplar, yield model, clone-site interaction

1 Einleitung und Zielsetzung

Erste Untersuchungen zur Anbaueignung unterschiedlicher Pappelsorten für den Kurzumtrieb wurden bereits in den 1970er Jahren angestellt. Ein im Jahr 1976 im Wesertal bei Hann. Münden angelegter Sortenversuch mit 48 Prüfgliedern, das Haferfeld, gilt als ältester Kurzumtriebsversuch in Deutschland. Auch in den später angelegten Feldversuchen war meist die Frage der Kloneignung von zentraler Bedeutung (HOFMANN 1999). Beim Übergang vom Versuchsmaßstab in die landwirtschaftliche Praxis kann heute auf einige gut untersuchte Klone zurückgegriffen werden (BOELCKE 2006). Die Ergebnisse aus den zum Teil sehr aufwändig angelegten Sortenversuchen sind jedoch nur im Zusammenhang mit den jeweiligen standörtlichen Gegebenheiten interpretierbar (HOFMANN u. LIPPELT 2008). Da systematische Untersuchungen zur Klon-Standort-Wechselwirkung bei Pappeln und Weiden fehlen, gründen sich Anbauentscheidungen noch immer stark auf empirisches Wissen.

Indessen sind kalkulierbare Naturalerträge eine zentrale Erfolgsvoraussetzung für die Einführung des Feldholzanbaus in die landwirtschaftliche Praxis. Zwar gibt die landwirtschaftliche Bodenkartierung eine erste Orientierung über die Flächeneignung. Der Wurzelaktivität von Gehölzen wird sie allerdings nicht in vollem Umfang gerecht. Die Ackerzahl bzw. landwirtschaftliche Vergleichszahl (LVZ) gibt die Eignung des Standortes für den Energieholzanbau nur eingeschränkt wieder. Durch die Baumwurzeln werden tiefere, u. U. wasserzügige Bodenschichten erschlossen, die für die landwirtschaftliche Einordnung weniger bedeutsam sind.

Hier setzt das Verbundvorhaben ProLoc an, indem eine begrenzte Anzahl von bekannten Prüfgliedern nach einheitlichen Vorgaben auf unterschiedlichen Standorten ausgebracht und über mehrere Umtriebszeiten hinweg beobachtet wird. Versuchsziel ist ein standortbezogenes Ertragsmodell für schnellwachsende Baumarten. Damit werden erstmals unter Einbezug möglichst aller Regionen Deutschlands, auf Standorten, die für einen Anbau schnellwachsender Baumarten in Frage kommen, Versuchsflächen nach einheitlichem Versuchsdesign angelegt und zentral ausgewertet.

Aus der gegebenen Fragestellung leiten sich folgende Projektziele ab:

1. Klärung der Genom-Standort-Wechselwirkungen an bestimmten Pappel- und Weidenklonen auf unterschiedlichen Standorten
2. Entwicklung eines Ertragsmodells auf statistisch empirischer Grundlage
3. Erarbeitung von Entscheidungshilfen für Institutionen der Raumplanung und für die landwirtschaftliche Praxis in Deutschland

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe finanziell gefördert.

2 Struktur und Arbeitsteilung

Auf insgesamt 38 Standorten in unterschiedlichen Regionen Deutschlands wurden Versuchsflächen nach einheitlichem Muster angelegt, die von 22 Projektpartnern aus Forschungsanstalten, Universitäten, Fachhochschulen und privat-wirtschaftlichen Einrichtungen betreut werden. Den Partnerinstitutionen obliegt die Datenerhebung, Projektleitung und zentrale Datenauswertung liegen beim Kompetenzzentrum Hessenrohstoffe (HeRo) e. V. Am Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung der Universität Kassel werden bodenkundliche Fragen bearbeitet sowie die C-Dynamik bei Nutzungsänderung durch Schnellwuchsplantagen erfasst. Die Projektstruktur geht aus Abbildung 1 hervor.

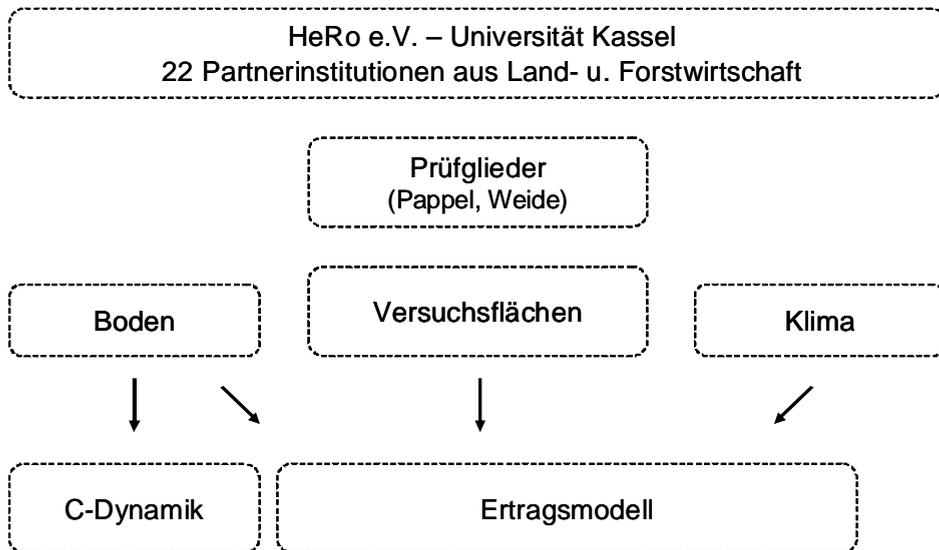


Abbildung 1: Projektstruktur und Arbeitsteilung

Darüber hinaus führen einige Projektpartner sog. Satellitenversuche durch, in denen weiterführende Fragestellungen bearbeitet werden. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Verteilung der Versuchsflächen in Deutschland und die Betreuungsinstitutionen.



Abbildung 2: Lage der Versuchsflächen und Logos der Betreuungsinstitutionen

2.1 Standorte

Die Versuchsstandorte weisen starke Unterschiede, sowohl im bodenkundlichen (Textur, Humusgehalt, Ackerzahl) als auch im klimatischen Bereich (Niederschlag, Temperatur), auf. Es handelt sich überwiegend um Ackerstandorte (28) und einige Grünlandflächen (3). Mit drei Flächen in ackerbaulich genutzten Bergbaufolgelandschaften, zwei Sturmwurfflächen und einem ehemaligen Rieselfeld sollten weitere potenzielle Anbauflächen berücksichtigt werden. Im Rahmen der bodenkundlichen Aufnahmen wurden die wesentlichen bodenchemischen und bodenphysikalischen Kenngrößen bis in eine Tiefe von 60 cm erfasst.

3 Versuchsaufbau

Es wurden drei Pappel- und zwei Weidenprüfglieder gepflanzt und über drei Wuchsperioden hinweg beobachtet. Jede einzelne Versuchsfläche besteht aus 20 randomisierten Einzelparzellen in 4-facher Wiederholung (s. Abb. 3). Die Einzelparzellen besitzen eine Größe von 9 m x 10 m. Entsprechend umfasst eine Versuchsfläche eine Größe von 2.750 m². Zum Schutz vor Wildschäden wurden die Flächen eingezäunt. Je Parzelle wurden 100 Steckhölzer in einem Verband von 1,8 m x 0,5 m ausgebracht. Auf einer Versuchsfläche mit insgesamt 20 Parzellen stehen demnach 2.000 Pflanzen.

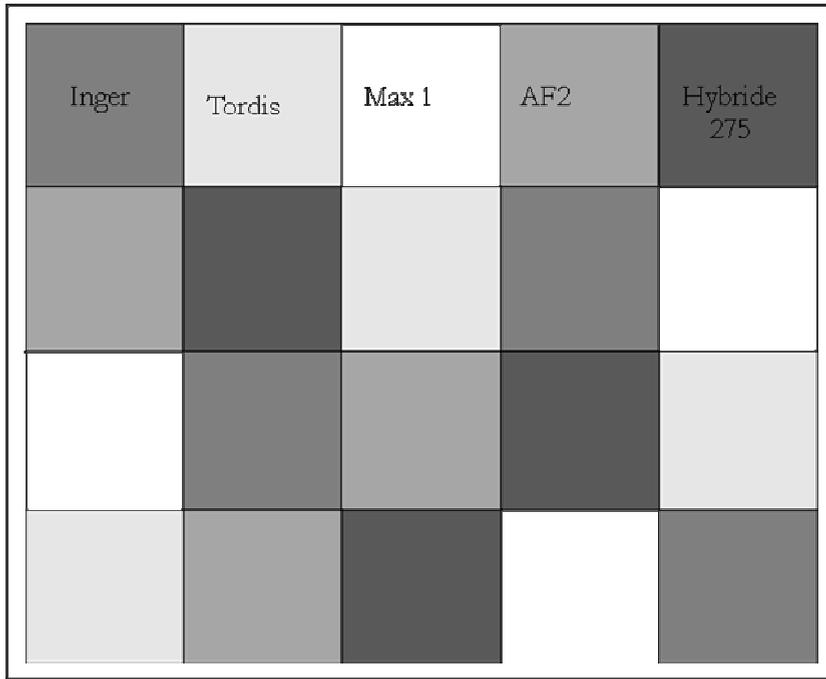


Abbildung 3: Versuchsaufbau mit fünf Prüfgliedern in vier Wiederholungen

3.1 Prüfglieder

Mit fünf Prüfgliedern wurde das Sortenspektrum bewusst eng gehalten. Es wurden Klone ausgewählt, die in Ihren Eigenschaften bekannt sind und die aufgrund ihrer genetischen Zuordnung eine Differenzierung nach bestimmten Standortsunterschieden erwarten ließen. Im dreijährigen Umtrieb können verschiedene Weidenklone ebenso aussichtsreich angebaut werden wie Hybridpappeln. Die Weide wird im Versuch durch die beiden Klone Inger (*S. triandra* × *S. viminalis*) und Tordis ((*S. schwerinii* × *S. viminalis*) × *S. vim.*) repräsentiert. Pappelklone waren die Sorten Max 1 (*P. nigra* × *P. maximowiczii*), Hybride 275 (*P. maximowiczii* × *P. trichocarpa*) und AF2 (*P. × euramericana*).

4 Flächenanlage

Die Anlage der Versuchsflächen lag zwischen dem 24. April und dem 20. Mai 2008 und wurde mit zentral beschafftem Pflanzgut vorgenommen. Die Modellvariante der Flächenvorbereitung sah eine Saattbettvorbereitung in Form von Pflügen und Eggen vor. Angesichts der Heterogenität der Ausgangsbedingungen war ein völlig einheitliches Vorgehen in der Initialphase jedoch nicht möglich. Auf einer Reihe von Standorten musste die Bodenvorbereitung und spätere Pflegemaßnahmen an den örtlichen Gegebenheiten ausgerichtet werden.

Dort, wo nicht mit Bodenherbiziden gearbeitet werden konnte, erfolgte z. T. mehrmalige mechanische Unkrautbekämpfung. Bei einigen Standorten wurde aufgrund des trockenen Frühjahrs 2008 bewässert. Um den Bewässerungseffekt in der Gesamtauswertung berücksichtigen zu können, wurden Bewässerungsmenge und die jeweilige Monatsniederschlagssumme aufaddiert.

4.1 Anwuchs und Komplettierung

Das Anwuchsergebnis fiel nach Standorten differenziert aus. Dennoch zeigen die Pappelsorten mit 72 % Anwuchsrate im Mittel eine um 10 % geringere Anwuchsleistung als die Weiden (s. Abb. 4). Die Ergebnisse betragen im Einzelnen geordnet von hoch zu niedrig: Inger - 85 % > Max 1 - 82 % > Tordis - 80 % > AF 2 - 77 % > Hybride 275 - 58 %. Die Anwuchsleistung fiel somit, abgesehen von der Hybride 275, insgesamt recht hoch aus und dies trotz einer ausgeprägten Trockenphase in den Monaten Mai bis Juli. Die hohe Mortalität bei Hybride 275 ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine schlechtere Pflanzgutqualität zurückzuführen. Ein Einfluss von Bodenart, Ackerzahl oder nFK auf das Anwuchsergebnis war nicht nachweisbar.

Gehäuft auftretende Fehlstellen wurden im Folgejahr komplettiert. Dabei war die Zielgröße ein Bestockungsprozent von > 90. Es wurde nach folgender Abstufung vorgegangen.

1. Ausfälle pro Klon und Parzelle < 10 % → keine Nachbesserung
2. Ausfälle von 10 % bis 50 % pro Klon und Parzelle → Nachbesserung mit Steckruten
3. Ausfälle > 50 % pro Klon und Parzelle → Rückschnitt der bereits etablierten Pflanzplätze und Nachbesserung mit Steckhölzern

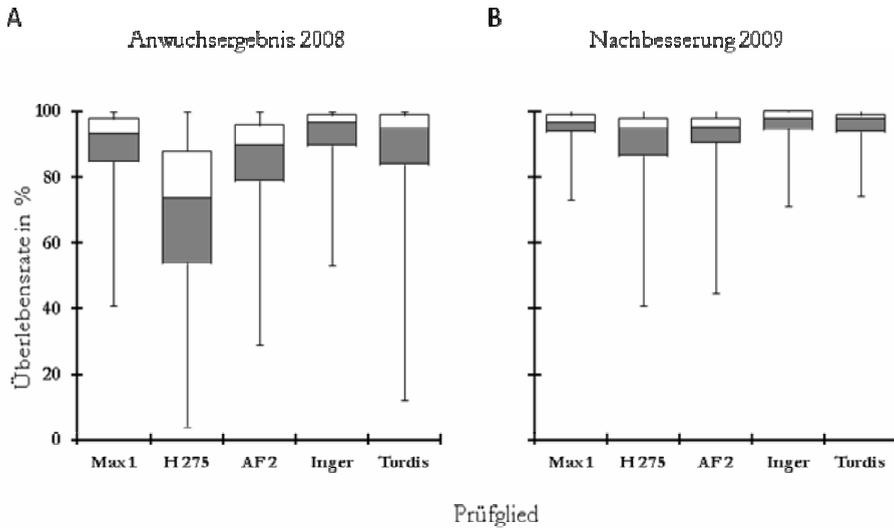


Abbildung 4: Anwuchsergebnis (A) und Bestockungsprozent im zweiten Standjahr (B), alle Flächen

5 Datenerhebung

In der Initialphase des Projektes wurde ein Methodenhandbuch erstellt, in dem Zeit, Art und Umfang der Datenerhebung fest geschrieben wurden. Alle Zuwachsparameter wurden im laublosen Zustand im Rahmen der Winterbonitur an vitalen Pflanzen aufgenommen. Zur Minimierung von Randeffekten erfolgte die Datenaufnahme in den Kernparzellen (s. Abb. 5) nach einem systematischen Raster. Grundsätzlich wurde pflanzplatzweise gearbeitet, wobei jede einzelne gesteckte Pflanze und der sich daraus entwickelnde Aufwuchs einen Pflanzplatz bezeichnet. Jeder einzelne Pflanzplatz der Versuchsfläche wurde durch die Vergabe einer Prüfglied- und einer Baumnummer dauerhaft gekennzeichnet. Die Durchmesser-messung wurde an jedem 2. Pflanzplatz einer Kernparzelle durchgeführt. Neben dem Durchmesser in 1,3 m Höhe (BHD) wurde auch der Triebdurchmesser in 0,1 m ($D_{0.1}$) mit einer Messgenauigkeit von 1 mm erhoben.

Die Messung der Trieblänge und Pflanzenhöhe wurde an jedem sechsten Pflanzplatz mit einer Genauigkeit von einem Dezimeter vorgenommen. Darüber hinaus wurde auch die Trieblänge entlang der Stammlängsachse für alle vorhandenen Höhentriebe des jeweiligen Pflanzplatzes gemessen.

Abstand	1,8 m	3,6 m	5,4 m	7,2 m	9 m
m	1	2	3	4	5
0,5	x	x	x	x	x
1	x	x	x	x	x
1,5	x	(16)	(32)	(48)	x
2	x	(15)	(31)	(47)	x
2,5	x	(14)	(30)	(46)	x
3	x	(13)	(29)	(45)	x
3,5	x	(12)	(28)	(44)	x
4	x	(11)	(27)	(43)	x
4,5	x	(10)	(26)	(42)	x
5	x	(9)	(25)	(41)	x
5,5	x	(8)	(24)	(40)	x
6	x	(7)	(23)	(39)	x
6,5	x	(6)	(22)	(38)	x
7	x	(5)	(21)	(37)	x
7,5	x	(4)	(20)	(36)	x
8	x	(3)	(19)	(35)	x
8,5	x	(2)	(18)	(34)	x
9	x	(1)	(17)	(33)	x
9,5	x	x	x	x	x
10	x	x	x	x	x

Abbildung 5: Datenaufnahme in der Kernparzelle

Im Sommerhalbjahr standen Aufnahmen der Begleitvegetation und zum Blattrostbefall (*Melampsora spec.*) im Vordergrund. Sofern eindeutig zuzuordnen, wurden Insekten-, Verbiss-, Frost- oder Trocknisschäden vermerkt.

Die Erhebung des Blattrostbefalls war an zwei Terminen im Aufnahmeraster der Höhengenaufnahme vorgesehen. Sofern vorhanden, wurde der Befall anhand des infizierten Anteils der Blattoberfläche in 25 %-Stufen an zehn zufällig ausgesuchten Blättern aus dem mittleren Triebabschnitt eingeschätzt.

Das Vorkommen an Begleitvegetation wurde einmal jährlich aufgenommen. Erfasst wurden die dominierenden Beikrautarten, der Deckungsgrad der Krautschicht für die gesamte Versuchsfläche sowie deren mittlere Wuchshöhe.

5.1 Beerntung und Ertragsbestimmung

Die Ertragsbestimmung erfolgte nach zwei unterschiedlichen Methoden. Die Biomasse der ersten und zweiten Vegetationsperiode wurde über die indirekte zerstörungsfreie Regressionsmethode geschätzt. Die Ermittlung des Ertrags zu Ende der ersten Rotation fand über eine Stockerntemethode in der Kernparzelle statt.

Die praktische Durchführung der Ernte gliederte sich in die Hauptarbeitsschritte Ermittlung des Frischgewichtes und Bestimmung des Trockengewichtes an ausgewählten Pflanzplätzen. Dazu wurden auf jeder Teilparzelle diejenigen 24 Pflanzplätze, die schon zur Erfassung der Zuwachspanparameter vermessen wurden, herangezogen.

Zu beerntende Pflanzplätze wurden mit einem Freischneider bzw. mit einer Motorsäge in einer Stammhöhe zwischen 5 und 10 cm über dem Boden abgeschnitten, geerntet und pflanzplatzweise abgelegt. Vier zufällig ausgewählte Pflanzplätze wurden gesondert gekennzeichnet und bildeten die Grundlage für die spätere Bestimmung des Trockengewichtes.

Die pflanzplatzweise Ermittlung des Frischgewichtes wurde unmittelbar im Anschluss an die Ernte mit einer Messgenauigkeit von 10 g durchgeführt. Die Ermittlung des Trockengewichtes erfolgte parzellenweise an den vier zuvor gekennzeichneten Pflanzplätzen. Bei einem Pflanzplatzfrischgewicht von weniger als 3 kg wurde der gesamte Pflanzplatz zur Trocknung herangezogen. Bei einem Pflanzplatzfrischgewicht von mehr als 3 kg wurde eine mindestens 3 kg schwere Mischprobe aus Material aller Triebe und Triebabschnitte entnommen. Die Proben wurden bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Vor der Trocknung wurden die Einzelproben gehäckselt oder gespalten. Im Anschluss an die Teilernte und Probenahme wurden alle Flächen vollständig in einer Höhe von 5 bis 10 cm über dem Boden zurückgeschnitten und das Erntegut vollständig entfernt.

6 Satellitenversuche

Aus der breiten Streuung der Versuchsflächen in Bezug auf Klimaregion und Einzelstandort, aber nicht zuletzt auch in Bezug auf die jeweilige Betreuungsinstitution, ergeben sich weiterführende Fragestellungen, die im Rahmen des Verbundvorhabens untersucht werden. So steht an der Universität Bonn ein Vergleich mit Chinaschilf (*Miscanthus sinensis*) und mit der Wuchisleistung des Blauglockenbaums (*Paulownia tomentosa*) im Vordergrund.

Zwei Satellitenversuche sind inhaltlich mit der Kernfragestellung des Verbundvorhabens verzahnt. So wird am Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik der Technischen Universität Dresden die standortbasierte Leistungsschätzung in Kurzumtriebsbeständen in einem zweistufigen Modell entwickelt (RÖHLE 2010).

Am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) werden Untersuchungen zum Stickstoffumsatz in einer Kurzumtriebsplantage in Nordost-Deutschland angestellt. Ziel ist die Optimierung der Stickstoffdüngung hinsichtlich höchstmöglicher Erträge bei gleichzeitig geringster Umweltbelastung (Nitratauswaschung, N₂O-Emissionen). In einer an das ProLoc-Versuchsdesign angelehnten Versuchsanordnung wurde die Wirkung von mineralischem Stickstoff, auf Pappel (Max 4) und Weide (Inger) untersucht. Es wurden vier Düngungsstufen (0, 25, 50 und 75 kg N je ha und Jahr) appliziert. Nach der ersten Ernte konnte keine Korrelation der Trockenmasse-Erträge mit der Stickstoffdüngungsrate festgestellt werden. Mit zunehmender Intensität der Stickstoffdüngung wurde allerdings vermehrt Nitrat-Stickstoff ausgewaschen und N₂O freigesetzt (s. KERN et al., in diesem Band S. 123 ff.). Zur Absicherung der Ergebnisse soll die Untersuchung noch über eine bis zwei Ernteperioden fortgesetzt werden.

7 Ausblick

In der ersten dreijährigen Projektphase wurden in enger Abstimmung der Projektkoordination mit den betreuenden Partnerinstitutionen grundlegende Arbeiten ausgeführt. Es wurden Daten generiert, auf deren Basis ein erstes Ertragssimulationsmodell entsteht. Eine kritische Analyse der Versuchsstandorte zeigt, dass auf einzelnen Flächen die standörtlich gegebenen Anbaugrenzen für Pappeln und Weiden durchaus überschritten wurden. Dies gilt insbesondere für den trockenen Bereich und für die Windwurfflächen im Wald. Es sollen deshalb nicht alle im Frühjahr 2008 angelegten Versuchsstandorte weitergeführt werden. Bei der Mehrzahl der gut etablierten Bestände wurde jedoch ein Grundstein für die Auswertung langfristiger Zeitreihen gelegt. In der folgenden Projektphase ist deshalb eine Fortführung der etablierten Untersuchungsbestände vorgesehen. Sie dient der Validierung des Ertragsmodells. In begrenztem Umfang sollen neue Flächen angelegt werden. Diese dienen der Erweiterung des Ertragsmodells auf längere Umtriebszeiten und abweichende Pflanzverbände.

Ohne die konstruktive Zusammenarbeit aller Projektpartner wäre das bisher Erreichte nicht möglich gewesen. Dafür sei an dieser Stelle gedankt. Unser Dank gilt auch dem Projektträger Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) für die finanzielle Unterstützung und für die stets am gemeinsamen Ziel orientierte gute Zusammenarbeit.

Literatur

- BOELCKE, B. (2006): Schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen - Leitfaden zur Erzeugung von Energieholz. Schwerin, 36 S.
- HOFMANN, M., (1999): Bereitstellung von genetisch hochwertigem Vermehrungsgut für Kurzumtriebsbestände. In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 13, S. 151 – 239
- HOFMANN, M. u. LIPPELT, J. (2008): Abschlussbericht zum Vorhaben Anlage einer Modellpflanzung mit Pappel-Sortenschau auf dem landwirtschaftlichen Versuchsgut Eichhof zur Sicherung der Sortenbasis und zur Sortenpflege. 43 S.
- RÖHLE, H. (2010): Entwicklung praxistauglicher Schätzmethode zur Bestimmung der Ertragsleistung in Kurzumtriebsbeständen – Vortrag in „Agrarholz 2010“ FNR Symposium, 18. und 19. Mai 2010 - Berlin

Korrespondierender Autor:

Dr. Martin Hofmann
Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo) e.V.
Am Sande 20
37213 Witzzenhausen
E-Mail: m.hofmann@hero-hessen.de
URL: www.hero-hessen.de

Daniel Amthauer Gallardo
Christian Siebert
Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo) e.V.

The genus *Populus* in North America: an overview of plantation operations and domestication approaches

Brian J. Stanton

Abstract

Both the United States and Canada have large and expansive areas of natural *Populus* timberlands, mostly *P. tremuloides*, *P. balsamifera*, and *P. deltoides*, covering more than 46 million hectares. Despite these extensive native resources, artificial poplar plantations were developed by the North American paper industry largely as a strategic response to shortages in the supply of native *Populus* fiber resources for premium grades of communication papers. Plantation development occurred in three main phases: in the 1960s in the lower Mississippi River valley in response to a lack of natural *Populus deltoides* regeneration; in the 1980s in the Pacific Northwest as supplies of *P. trichocarpa* and *Alnus rubra* fell into decline; and in the 1990s in the North Central region of the United States and the Canadian Prairies in response to increases in the delivered cost of *P. tremuloides* wood. Ultimately, 45,000 hectares were brought into *Populus* plantation production with annual growth rates varying between 15 and 35 cubic meters per hectare dependent upon geography. The success of these operations has been due in large measure to the availability of highly selected, elite plant material of superior growth and adaptability. *Populus* hybridization began in the 1920s-1930s with research projects at the New York Botanical Garden and the Petawawa Forest Experiment Station, Ontario, Canada.

Other significant advances in North American poplar breeding occurred with the U. S. Forest Service's *P. deltoides* program in Mississippi in the 1970s and the U. S. Department of Energy's biofuels developmental program in the 1980s-1990s. Today nearly all poplar breeding and varietal development work in the United States takes place at GreenWood Resources, Oregon and the Natural Resource Research Institute, Minnesota. Quebec's Ministry of Natural Resources and Wildlife, Saskatchewan's AAFC Agroforestry Development Center, and Alberta's Western Boreal Aspen Corporation and Alberta-Pacific Forest Industries Inc. all conduct the most active hybridization projects in Canada.

The native species brought into various hybrid crosses are *P. deltoides*, *P. trichocarpa*, *P. balsamifera*, and *P. tremuloides* while the most important exotics are *P. nigra*, *P. maximowiczii*, and *P. tremula* ssp. *davidiana*. The next big phase in poplar plantation development will be keyed to its use as premier cellulosic feedstock crop for the North American renewable energy industry. Here both conventional as well as molecular-based breeding tools are being developed to gain improvements in the economics with which *Populus* feedstock can be converted to liquid transportation fuels

Keywords: *Populus*, plantations, hybridization, North American forests, molecular breeding

1 Introduction

The cultivation of hybrid poplar in North America encompasses approximately 45,000 hectares in the United States and 14,000 hectares in Canada (FAO 2004). Poplars and their hybrids were among the first trees domesticated in the United States (STOUT and SCHREINER 1933) and Canada (HEIMBURGER 1936). Historically, all large-scale, industrial plantations were established and managed primarily for wood chips for pulping fibers (STANTON 2005). These plantations currently make a relatively small contribution to the overall fiber supply of the North American pulp and paper industry, partly as a consequence of a trend to shift domestic wood supplies to hardwood plantations of the southern hemisphere (KELLISON 2000). But as the cost of fossil fuels continues to rise and liquid fuel conversion technologies become more affordable, opportunities for poplar energy plantations may soon become economical for large-scale commercial development (THORP 2005).

2 Overview of plantation management

All commercial poplar plantations in North America have been essentially developed by the forest products industry in four regions: the Pacific Northwest, the Great Lakes, the Mississippi River Valley and Canada's western prairie region.

Nearly all of these plantations have been established on agricultural land of marginal crop quality and are managed using an intensive, agronomic-style of site preparation and crop care for complete control of herbaceous weed competition (STANTURF et al. 2001). Clean cultivation ensures rapid stand establishment and high rates of survival; when successful, intensive use of both mechanical and chemical weed control can be discontinued after the two- to four-year establishment stage when weeds are eliminated by shading under closed canopies. Stands are managed throughout North America at densities of 600 to 1,500 trees per hectare along rotations lasting eight to 15 years dependent upon whether the end-product is pulping fibers or saw- and peeler logs.

The prominent incentives for producing pulping fibers for the paper industry in short-rotation, intensive-culture plantations foreseen at the outset of the poplar planting experience included the following (RIBE 1974):

1. High volume fiber production on a smaller base of timberlands in a shorter period of time compared with conventional forestry operations. Biomass production was initially forecasted to approach 19 dry Mg ha⁻¹ yr⁻¹ for hybrid poplar (ZAVITKOVSKI 1978).
2. Early amortization of site preparation, planting, cultivation and other cropping costs.
3. Reduced labor costs due to a full mechanization of farming practices.
4. Lowered second-rotation establishment costs through coppice regeneration.
5. Increased pulping and papermaking efficiencies owing to the uniformity of wood and fiber properties attending clonal forestry.

Over time, these incentives materialized to varying extents. High rates of wood production managed on a relatively small number of acres within proximity of mills with resultant low transportation costs have generally proven the short rotation concept. And, an early amortization of farming costs has certainly been realized. However, significant investments in non-mechanized farm activities (cutting collection, planting, hand weeding, irrigation maintenance, etc.) are still fairly common throughout North America. Moreover, coppice regeneration has proven to be workable in only limited situations due to the susceptibility of coppice sprouts to wind toppling and the inability of stands harvested during the growing season to sprout vigorously. Finally, the economic efficiency of processing poplar fiber from clonal plantations has not been widely reported principally because plantation-grown wood has been used, in most cases, as an incremental supply that falls below a threshold of financial impact.

3 Regional situations

3.1 The Pacific Northwest of the United States and Canada

Commercial development in the Pacific Northwest began when forecasted shortages in red alder (*Alnus rubra*) led to the establishment of poplar plantations as a replacement hardwood fiber supply (HUDDY et al. 1983). In 1982-1983, Crown Zellerbach Corporation began planting hybrid poplar in the lower Columbia River valley near Clatskanie, Oregon and in the mid Columbia River basin near Boardman, Oregon. Ultimately, James River Corporation acquired Crown Zellerbach's paper division and expanded the Clatskanie plantation to 4,500 hectares, while Boise Cascade and Potlatch Corporations took the lead from James River in the mid-Columbia River basin, independently establishing a combined total of 14,600 irrigated plantation hectares in the areas around Boardman, Oregon and Wallula, Washington. By the mid 1990s, MacMillan Bloedel had added 3,200 plantation hectares in the Nooksack, Skagit, Snohomish, and Snoqualmie River valleys of northern Washington and, in British Columbia, Canada, in the Fraser River valley and on Vancouver Island. Additionally, Kruger Paper developed approximately 3,000 hectares in British Columbia (former Scott Paper plantation operation).

3.2 The Mississippi River Valley of the United States

A wide-ranging system of levees along the Mississippi River has been highly effective in reducing the annual cycle of flooding that creates alluvial deposits necessary for the natural regeneration of eastern cottonwood (*P. deltoides*). Given the decline in the establishment of native stands, a number of companies including Delta Match, U. S. Gypsum and Packaging Corporation started planting eastern cottonwood over 50 years ago. Between 1958 and 1961, Crown Zellerbach initiated the largest program, the Fitler Managed Forest, near Vicksburg, Mississippi. The Fitler program eventually grew to 7,300 hectares that supported the groundwood operation at the St. Francisville, Louisiana pulp and paper mill for the production of coated papers. Further north at the confluence of the Ohio and Mississippi Rivers, Westvaco Corporation began its eastern cottonwood plantation in 1974. Eventually 6,000 hectares were developed to supply fiber to the Wickliffe, Kentucky mill for the manufacture of both coated and uncoated fine papers.

3.3 Great Lakes Region of the United States and Canada

International Paper began planting hybrid poplar in northern Minnesota of the United States in 1994 in response to regional declines in native aspen stands. Today 10,000 hectares are being managed by Verso Paper to provide pulpwood to papermaking operations at the Sartell, Minnesota mill. Plantation wood eliminates

the constraints of high aspen stumpage as well as controlling the variable costs of harvesting and transportation. Sustainable harvesting of 800 to 900 hectares per year managed on 12-year rotations began in 2008. Domtar Paper also manages 2,000 hectares of poplar plantings in Ontario and 2,400 hectares in Quebec (VAN OOSTEN 2004). Finally, a combined total of approximately 2,000 hectares of poplar are managed in Quebec by Norampac, Louisiana-Pacific, and Tembec for pulping and oriented strand board manufacturing operations.

3.4 Canadian Prairie

Native aspen (*P. tremuloides*) and balsam poplar (*P. balsamifera*) are used by Alberta-Pacific's 12-year-old, single-line, Kraft mill located at Athabasca, Alberta to produce high-quality pulp for the photographic papers market. Significant gains in pulp production have been achieved since the start of mill operations in 1994. Plantation-grown hybrid poplar has become the source of the incremental fiber needed to sustain the higher level of pulp production. The plantation program will eventually grow from 6,000 to 25,000 hectares managed on rotations of 18-25 years, and will control the rising transportation costs of aspen supply. Select varieties of hybrid poplar (*P. ×canadensis*, *P. ×jackii*, and *P. deltoides* × *P. ×petrowskyana*) are featured in the planting program today. But the future may also involve hybrid aspen (*P. tremuloides* × *P. tremula*) varieties as well.

4 North American poplar breeding programs

Overview: The success of North American poplar production relies upon the use of highly selected clonal varieties developed by inter-specific hybridization; the one exception is the southern United States where elite clonal varieties of eastern cottonwood are used in place of hybrids. Although several approaches to species hybridization are employed – backcross and three-way hybridization – first generation hybridization is the most frequently used procedure. Improvement in agronomic characteristics – yield, climatic adaptability, adventitious rooting, disease resistance, etc. – invariably has been the priority in breeding programs (ZALESNY et al. 2005, LEBOLDUS et al. 2008, STETTLER et al. 1988, STANTON 2001, STANTON et al. 2010, NEWCOMBE et al. 1994, NEWCOMBE and OSTRY 2001, NEWCOMBE and van OOSTEN 1997, JOHNSON and JOHNSON 2003). Wood and fiber quality also has received attention, mostly focused on improvement in specific gravity (OLSON et al. 1985, PLIURA et al. 2007). This latter focus is expanding now to include more routine evaluations of physical and chemical wood components in light of the escalating interest in poplar biomass energy feedstock and the advent of increasingly affordable and reliable assessment methods (MARANAN and LABORIE 2007 and 2008).

North American poplar breeding programs have often concentrated on the selection of highly ranked individuals from first-generation inter-specific populations created from the repeated hybridization of currently available breeding stock. This is a short-term domestication approach that can only sustain genetic gains insofar as the current parental generation has been fully exploited (THIELGES 1985). Alternatively, a long-term improvement approach incorporates the recurrent breeding of the parental species to improve their hybridizing quality necessary for sustained genetic advancement of the first hybrid generation. However, a lack of full reproductive crossability between species may complicate the estimation of parental inter-specific hybrid breeding values (STANTON 2005). Therefore, poplar programs may substitute intra-specific breeding values as a guide for recombining parental populations (BISOFFI and GULLBERG 1996).

Today, there are two main poplar breeding and selection centers in the United States. There are three main poplar breeding centers in Canada.

4.1 United States

4.1.1 *University of Minnesota*

Ongoing domestication projects at the University of Minnesota's Natural Resources Research Institute are pursuing the *P. ×canadensis* and *P. nigra* × *P. maximowiczii* taxa in addition to recurrent *P. deltoides* breeding (RIEMENSCHNEIDER et al. 2001a, NETZER et al. 2002) for the Great Lakes region. Materials are evaluated for adventitious rooting, growth rate, resistance to *Septoria* canker and *Melampsora* leaf rust, and stem form. The University of Minnesota's Aspen and Larch Genetics Cooperative has also been developing aspen hybrids for the oriented strand board and renewable energy industries. Breeding work is based on the inter-specific cross, *P. tremuloides* × *P. tremula* (synonym *P. ×wettsteinii*) and the development of cost-efficient vegetative propagation methods (LI and WYCKOFF 1991).

4.1.2 *GreenWood Resources*

GreenWood Resources, a global investment and poplar asset management company, is the main source of new hybrid poplar varietal selections as well as second-generation parental selections of *P. deltoides*, *P. nigra*, *P. maximowiczii*, and *P. trichocarpa* for the Pacific Northwest region (STANTON et al. 2010). F₁ *P. ×generosa* and *P. deltoides* × *P. maximowiczii* clonal varieties are bred for the lower Columbia River floodplain of western Oregon and Washington, while the *P. ×canadensis* is bred for use on the leeward side of the Cascades Mountains in the arid mid Columbia River basin. Improvements are being sought in yield, resistance to *Venturia* shoot blight, *Melampsora* leaf rust, and *Cryptorhynchus lapathi* stem borers,

stem form, wood specific gravity, and wind firmness. GreenWood in collaboration with ArborGen Corporation leads recurrent *P. deltoides* breeding for the south-eastern United States.

4.2 Canada

4.2.1 Quebec Ministry of Natural Resources and Wildlife

This group conducts non-recurrent F₁ hybrid breeding, three-way hybridization, and parental recurrent intra-specific breeding of *P. deltoides*, *P. maximowiczii*, *P. trichocarpa*, and *P. nigra*. Principal F₁ hybrid taxa bred for Quebec's northern bioclimatic area features *P. maximowiczii* in combination with *P. balsamifera* and *P. trichocarpa* and complex *P. maximowiczii* crosses with *P. ×generosa*, *P. ×jackii*, and *P. ×berolinensis* [*P. laurifolia* × *P. nigra* var. *italica*]. In the Province's southern bioclimatic area, breeding emphasis has been placed on a variety of taxa including *P. ×canadensis*, *P. deltoides* × *P. maximowiczii*, and the three-way cross combination of *P. ×canadensis* and *P. maximowiczii*. The *P. nigra* × *P. maximowiczii* and the *P. balsamifera* × *P. maximowiczii* taxa are bred for Quebec's higher elevation forested sites. Growth rate, cold hardiness, stem and crown form, site adaptability, resistance to *Septoria* canker, and wood quality are all priority improvement traits.

4.2.2 Agriculture and Agri-Food Canada's Agroforestry Development Center

Located at Indian Head, Saskatchewan, the Agroforestry Development Center has a history of over 60 years of poplar hybridization and selection (CRAM 1960). Today, the Agroforestry Development Center has expanded its breeding program to develop a new class of varieties of diverse genetic backgrounds suitable for short-rotation commodity production and biomass energy feedstock for dry land farming. The improvement strategy entails: (1) Species and provenance selection, (2) Inter-specific crossing of native and Asian species, (3) Initial laboratory tests for cold tolerance and water use efficiency, and (4) Multiple-stage field evaluations. Current F₁ taxa under development have been bred from *P. balsamifera*, *P. deltoides*, *P. laurifolia*, *P. maximowiczii*, *P. nigra*, and *P. simonii*, as well as a number of advanced generation taxa developed from several complex hybrid taxa (e. g. *P. deltoides* × *P. ×petrowskyana* and *P. ×petrowskyana* × *P. maximowiczii*). Alberta-Pacific Forest Industries Inc. (Al-Pac) and the Western Boreal Aspen Cooperative lead industrial poplar improvement programs for the Province of Alberta. The Al-Pac project involves a variety of first-generation cross combinations among *P. balsamifera*, *P. deltoides*, *P. laurifolia*, *P. maximowiczii*, *P. nigra*, and *P. simonii* as well as aspen crosses among *P. tremuloides*, Finnish sources of *P. tremula*, and Chinese sources of *P. tremula* var. *dauriana* (THOMAS et al. 1997). Selection criteria are resistance to

Septoria canker and cold and drought hardiness, productivity, adventitious rooting, pulp quality, and stem form. Additionally the Western Boreal Aspen Cooperative is a collaboration of paper and timber industries focused on the domestication of section *Populus* using the endemic *P. tremuloides* and non-native species *P. tremula*, *P. tremula* var. *davidiana*, *P. grandidentata*, *P. alba*, and *P. ×canescens*.

5 Future

The future growth of the hybrid poplar plantation industry in North America now appears more dependent on its use by the renewable fuels industry than the pulp and paper industry. The United States Department of Energy's recently updated billion ton biomass study lists hybrid poplar as one of the most promising species for woody crop bioenergy development (U. S. DEPARTMENT OF ENERGY 2011). The agronomic and logistical advantages to using hybrid poplars for renewable energy feedstock production including:

1. Poplars are the fastest growing tree species within the temperate zone with biomass growth rates of current varieties approximating 10-15 dry Mg ha⁻¹ yr⁻¹ on four year rotations with some varieties exceeding 16 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ (STANTON et al. 2002, RIEMENSCHNEIDER et al. 2001b).
2. As a woody perennial crop, hybrid poplar biomass can be stored on the stump and regenerated by coppicing minimizing the investment in storage facilities (WRIGHT 1994).
3. The net effect of poplar cropping systems on greenhouse gas emissions compares very favorably to those of other cellulosic crops owing to their less frequent tillage and cutting cycles, with greenhouse gas sinks in excess of 200 g CO₂e-C m⁻² yr⁻¹ (ADLER et al. 2007).
4. Transportation costs are much less for strategically situated plantations in comparison to biomass delivered from forest harvesting and thinning operations.

Poplar biomass consists primarily of glucan (40-48 %), xylan (13-19 %), and lignin (21-28 %) with a very small amount of extractives, i.e. less than 1.2 % (DINUS 2000). Due to the favorable combination of high sugar contents, relatively low lignin contents, and a favorable ratio of syringyl-to guaiacyl monolignols (1.1 to 2.5), hybrid poplar is considered a premier cellulosic crop candidate for bio-chemical conversion processes (LUO et al. 2002). However, genotypes high in lignin that would otherwise inhibit the bio-chemical conversion processes, may be well suited for thermo-chemical processing due to elevated calorific content (WHITE 1987). Therefore, hybrid poplar is also considered a premier cellulosic feedstock candidate for bio-oil production via the thermo-chemical process where it has been tested with good results (SCOTT et al. 2000).

Literature cited

- ADLER, P.R.; DEL GROSSO, S.J. and PARTON, W.J. (2007): Life-cycle assessment of net greenhouse-gas flux for bioenergy cropping systems. *Ecol. Applic.* 17: 675-691
- BISOFFI, S. and GULLBERG, U. (1996): Poplar breeding and selection strategies. In: STETTLER, R.F.; BRADSHAW JR., H.D.; HEILMAN, P.E. and HINCKLEY, T.M. (ED.): *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*. Part I, Chapter 6, NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada. pp. 139-158
- CRAM, W. H. (1960): Performance of seventeen poplar clones in south central Saskatchewan. *For. Chron.* 36: 204-224
- DINUS, R.J. (2000): Genetic modification of short rotation poplar biomass feedstock for efficient conversion to ethanol. Rept. to US DOE, Office of Fuels Development, Activity No. EB 52 03 00 0
- FAO (2004): Synthesis of Country Progress Reports, 22nd Session, International Poplar Commission, Santiago, Chile, November 28 – December 9, 2004. Working Paper IPC/3, Forest Resources Division, FAO (Rome)
- HEIMBURGER, C. (1936): Report on poplar hybridization. *For. Chron.* 12: 285-290
- HUDDY, M. D.; GUSTAFSON, R. D. and STRAND R. F. (1983): Short-rotation hardwood plantations: A fiber supply option for Columbia River Mills. Forestry Research Division, Crown Zellerbach Corporation 30 p.
- JOHNSON, J. D. and JOHNSON, K. R. (2003): Hybrid poplar genotype affects attack incidence by the poplar-and-willow borer (*Cryptorhynchus lapathi*). *West. Jour. Appl. Forestry.* 18: 276-280
- KELLISON, R. C. (2000): A global forestry perspective. In: BLATNER, K. A.; JOHNSON, J. D. and BAUMGARTNER, D. M.: *Hybrid Poplars in the Pacific Northwest: Culture, Commerce, and Capability*, p 9-13 Symposium Proceedings, Washington State University
- LEBOLDUS, J. M.; BLENIS, P. V. and THOMAS, B. R. (2008): Clone by isolate interaction in the hybrid poplar-*Septoria musiva* pathosystem. *Can. J. For. Res.* 38: 1888-1896
- LI, B. and WYCKOFF, G.W. (1991): A breeding strategy to improve aspen hybrids for the University of Minnesota aspen/larch genetics cooperative. In: Proceedings of International Energy Agency 1991 Joint Meeting of the Task V Activity Groups on Exchange of Genetic Material, Pest/Disease Management, and Joint Trials of Alnus, Populus, and Salix. August 22-27, 1991. Iowa State University, Ames, Iowa, USA, 9 pp.
- LUO, C.; BRINK, D. L. and BLANCH, H. W. (2002): Identification of potential fermentation inhibitors in conversion of hybrid poplar hydrolyzate to ethanol. *Biomass and Bioenergy* 22: 125-138
- MARANAN, M. C. and LABORIE, M.-P.G. (2007): Analysis of energy traits of *Populus* spp. clones by near-infrared spectroscopy. *J. Biobased Mat. and Bioenergy.* 1: 1-8
- MARANAN, M. C. and LABORIE, M.-P.G. (2008): Rapid prediction of the chemical traits of hybrid poplar with near infrared spectroscopy. *J. Biobased Mat. and Bioenergy.* 2: 57-63
- NEWCOMBE, G.; CHASTAGNER, G. A.; SCHUETTE, W. and STANTON B. J. (1994): Mortality among hybrid poplar clones in a stool bed following leaf rust caused by *Melampsora medusae* f. sp. *deltoidae*. *Can. J. For. Res.* 24: 1984-1987
- NEWCOMBE, G. and VAN OOSTEN, C. (1997): Variation in resistance to *Venturia populina*, the cause of poplar leaf and shoot blight in the Pacific Northwest. *Can. J. For. Res.* 27: 883-889
- NEWCOMBE, G. and OSTRY, M. (2001): Recessive resistance to *Septoria* stem canker of hybrid poplar. *Phytopath.* 91: 1081-1084
- NETZER, D. A.; TOLSTED, D. N.; OSTRY, M. E.; ISEBRANDS, J. G.; RIEMENSCHNEIDER, D. E. and WARD, K. T. (2002): Growth, yield, and disease resistance of 7- to 12-year-old poplar clones in the north central United States. USDA Gen. Tech. Rep. NC-229. St. Paul, MN: For. Serv. North Cent. Res.Sta. 31p.
- OLSON, J.R.; JOURDAIN, C. J. and ROUSSEAU, R. J. (1985): Selection for cellulose content, specific gravity, and volume in young *Populus deltoides* clones. *Can. J. For. Res.* 15: 393-396

- PLIURA, A.; ZHANG, S. Y.; MACKAY, J. and BOUSQUET, J. (2007): Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. *For. Ecol Mgt.* 238: 92-106
- RIBE, J. H. (1974): Will short-rotation forestry supply future pulpwood needs? *Pulp and Paper.* 48: 72-75
- RIEMENSCHNEIDER, D. E.; STANTON, B. J.; VALLEE, G. and PERINET, P. (2001A): Poplar breeding strategies. In: DICKMANN, D. I.; ISEBRANDS, J. G.; ECKENWALDER, J. E. and RICHARDSON, J.: *Poplar Culture in North America. Part A. Chapter 2.* NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON K1A 0R6, Canada. pp. 43-76
- RIEMENSCHNEIDER, D. E.; BERGUSON, W. E.; DICKMANN, D. I.; HALL, R. B.; ISEBRANDS, J. G.; MOHN, C. A.; STANOSZ, G. R. and TUSKAN, G. A. (2001B): Poplar breeding and testing strategies in the north-central ANDS.: Demonstration of potential yield and consideration of future research needs. *The Forestry Chronicle* 77: 245-253.
- SCOTT, D. S.; PATERSON, L.; PISKORZ, J. and RADLEIN, D. (2000): Pretreatment of poplar wood for fast pyrolysis: rate of cation removal. *J. Anal. and Appl. Pyrolysis* 57: 169-176
- STANTON, B. J. (2001): Clonal variation in basal area growth patterns during stand development in hybrid poplar. *Can. J. For. Res.* 31: 2059-206
- STANTON, B.J.; EATON, J.A.; JOHNSON, J.D.; RICE, D.E.; SCHUETTE, W.R. and MOSER B.W. (2002): Hybrid Poplar in the Pacific Northwest: The Effects of Market-Driven Management. *J. For* 100: 28-33
- STANTON, B. J. (2005): The effect of reciprocal hybridization on reproduction of the intersectoral cross, *Populus* × *genosa*. *For. Gen.* 12: 131-140
- STANTON, B. J.; NEALE, D. B. and LI, S. (2010): *Populus* breeding: from the classical to the genomic approach. In: JANSSON, S.; BHALERAO, R. P. and GROOVER, A. T.: *Genetics and Genomics of Populus*. Springer, New York, pp. 309-348
- STANTURF, J.A.; VAN OOSTEN, C.; NETZER, D.A.; COLEMAN, M.D. and PORTWOOD, C.J. (2001): Ecology and silviculture of poplar plantations. In: DICKMANN, D. I.; ISEBRANDS, J. G.; ECKENWALDER, J. E. and RICHARDSON, J.: *Poplar Culture in North America. Part A, Chapter 5.* NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. pp. 153-206
- STETTLER, R. F.; FENN, R. C.; HEILMAN P. E. and STANTON, B. J. (1988): *Populus trichocarpa* × *Populus deltoides* hybrids for short rotation culture: variation patterns and 4-year field performance. *Can. J. For. Res.* 18: 745-753
- STOUT, A. B. and SCHREINER, E. J. (1933): Results of a project in hybridizing poplars. *J. Hered.* 24: 216-229
- THIELGES, B. A. (1985): Breeding poplars for disease resistance. *FAO Forestry Paper* 56, United Nations, Rome. 66 pp.
- THOMAS, B. R.; MACDONALD, S. E. and DANCIK, B. P. (1997): Variance components, heritabilities, and gain estimates for growth chamber and field performance of *Populus tremuloides*. *Growth performance. Silvae Genet.* 46: 317-326
- THORP, B. (2005): Biorefinery offers industry leaders business model for major change. *Pulp and Paper* 79: 35-39
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2011): ANDS. billion-ton update: biomass supply for a bioenergy and bioproducts industry. R.D. PERLACK and B.J. STOKES (Leads), ORNL/TM-2011/224. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN. 227p.
- VAN OOSTEN, C. (2004): Activities related to poplar and willow cultivation and utilization in Canada. Canadian Report to the 22nd Session of the International Poplar Commission, Santiago, Chile. Poplar Council of Canada. 51 pp.
- WHITE, R. H. (1987): Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood. *Wood and Fiber Sci.* 19: 446-452
- WRIGHT, L. L. (1994): Production technology status of woody and herbaceous crops. *Biomass and Bioenergy* 6: 191-209

ZALESNY, R.S. JR.; RIEMENSCHNEIDER, D.E. and HALL, R.B. (2005): Early rooting of dormant hardwood cuttings of *Populus*: analysis of quantitative genetics and genotype \times environment interactions. *Can. J. For. Res.* 35: 918-929

ZAVITKOVSKI (1978): Biomass farms for energy production: biological considerations. USDA For. Serv. North Central Forest Experiment Station, Rhinelander, WI. 6 pp.

Korrespondierender Autor:

Brian J. Stanton, Ph. D.
Managing Director, Tree Improvement Group
GreenWood Resources, Inc.
1500 SW First Avenue, Suite 940
Portland, Oregon 97201 U. S. A.
E-Mail: brian.stanton@gwrglobal.com
URL: www.greenwoodresources.com

Züchtung von Schwarz- und Balsampappeln für den Kurzumtrieb

Breeding of black- and balsam-poplars for short rotation coppice

Alwin Janßen, Steffen Febrenz, Christina Fey-Wagner und Wolfgang Hüller

Zusammenfassung

Im Rahmen des Verbundvorhabens „FastWOOD“ sind inzwischen rund 150 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. Diese Nachkommenschaften werden in mehreren Schritten auf ihre Eignung zum Anbau auf Kurzumtriebsplantagen selektiert. Selektionskriterien in den Vorprüfungen sind hauptsächlich die Wuchsleistung, die Blattrosttoleranz, das Bewurzelungsvermögen und die Wiederausschlagfähigkeit. Zur frühzeitigen Abschätzung der Resistenzeigenschaften gegen den Erreger des Pappelblattrostes *Melampsora larici-populina* werden an den Neuzüchtungen zusätzlich spezielle In-vitro-Tests durchgeführt.

Die Neuzüchtungen werden im Alter von zwei Jahren nach einer ersten Vorselektion verklont und nach weiteren zwei bis drei Jahren und einer vegetativen Massenvermehrung auf Versuchsflächen ausgebracht, um ihre Eigenschaften im Praxisversuch zu prüfen. Alle verklonten Prüfglieder werden mittels Mikro-

satelliten eindeutig genetisch charakterisiert, um bei möglichen Verwechslungen während der vegetativen Vermehrung die Identität sicherstellen zu können.

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 Standard-Klonen angelegt worden. Die Versuchsflächen werden im dreijährigen Umtrieb bewirtschaftet. Um eine Verzahnung mit dem Verbundvorhaben „ProLoc“ zu gewährleisten, wurde das gleiche Versuchsdesign verwendet. Die drei in ProLoc angebauten Pappelklone wurden als Standardklone verwendet. Im günstigsten Fall kann 6 Jahre nach Anlage der Versuchsflächen – also nach Ende der zweiten Umtriebszeit und somit 10 Jahre nach der Kreuzung – die für den Vertrieb der Pappelsteckhölzer notwendige Zulassung nach dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) erreicht werden.

Stichworte: Züchtung, Pappel, Kurzumtrieb, KUP, Blattrost, genetische Charakterisierung

Abstract

As part of the joint project FastWOOD, about 150 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 preliminary trials were mainly the growth performance, leaf rust tolerance and coppicing capacity. For early estimates of the resistance characteristics to the pathogen poplar leaf rust *Melampsora larici-populina*, additional specific in-vitro tests were conducted on the new crossbreeds.

The new crossbreeds were cloned at aged two years after a first selection, and after a further two to three years and vegetative mass propagation, they were planted in the study sites to test their characteristics in a trial. All clones were genetically characterized by using microsatellite markers in order to assure their identity during vegetative reproduction and to avoid confusions.

In 2010 and 2011 10 trials on 9 ha in total were established in Baden-Württemberg, Bavaria, Brandenburg, Hessen, Lower Saxony, Saxony and Saxony-Anhalt with about 100 000 cuttings and with 46 clones as well as 11 standards. The trials will be harvested in a three year rotation. To ensure the compatibility with the joint project, ProLoc, the same trial design was used.

At best the poplar cuttings could be approved for production sales by the Forest Reproductive Material Act 6 years after establishment of the study sites, that is after the end of the second rotation, and hence 10 years after crossbreeding.

Keywords: Breeding, poplar, short rotation coppice, SRC, leaf rust, genetic characterization

1 Grundsätzliches

1.1 Weltenergiebedarf

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 (s. Abb. 1).

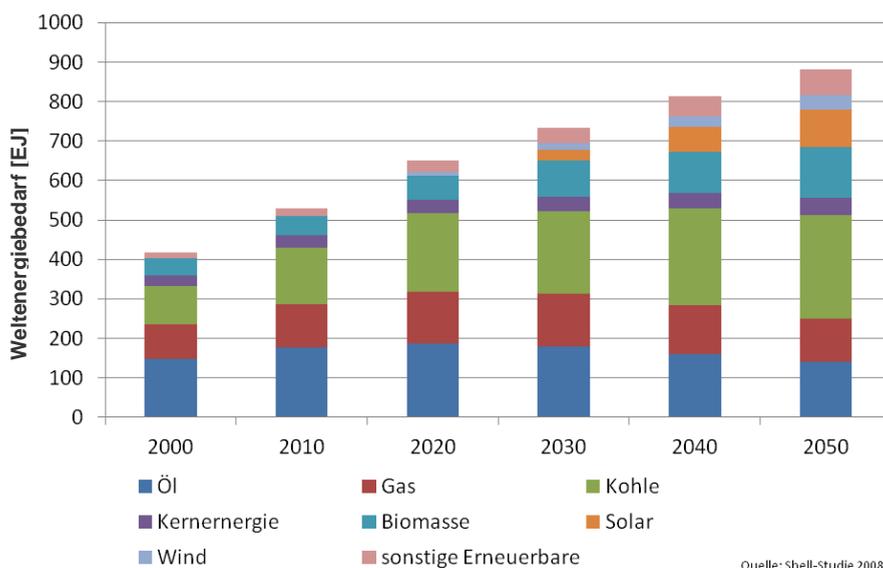


Abbildung 1: Weltenergiebedarf (Primärenergie in EJ) nach einer Shell-Studie (ANONYMUS 2008)

1.2 Klima- und naturschutzrelevante Faktoren

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 Millionen Hektar angebaut werden,

weisen forstlich erzeugte nachwachsende Rohstoffe (Holzbiomasse) auf Kurzumtriebsflächen eine ebenfalls sehr gute Energieumwandlungsrate auf. Die CO₂-Vermeidungskosten von Hackschnitzeln aus Kurzumtriebsflächen sind im Vergleich zu anderen Biomassepfaden, insbesondere gegenüber den Biotreibstoffen, sehr niedrig. Gleichzeitig ist die Vermeidungsleistung von CO₂ die höchste aller Biomassepfade, wie in Abbildung 2 zu sehen ist (ANONYMUS 2007). Je nach Verwendung der Hackschnitzel (Mitverbrennung in Kohlekraftwerken bis Einsatz in Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung) werden je Hektar Anbaufläche zwischen 10 und 18 Tonnen CO₂ eingespart. Die anderen Biomassepfade kommen nur auf eine Einsparung zwischen 2 und 8 Tonnen CO₂ je Hektar.

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).

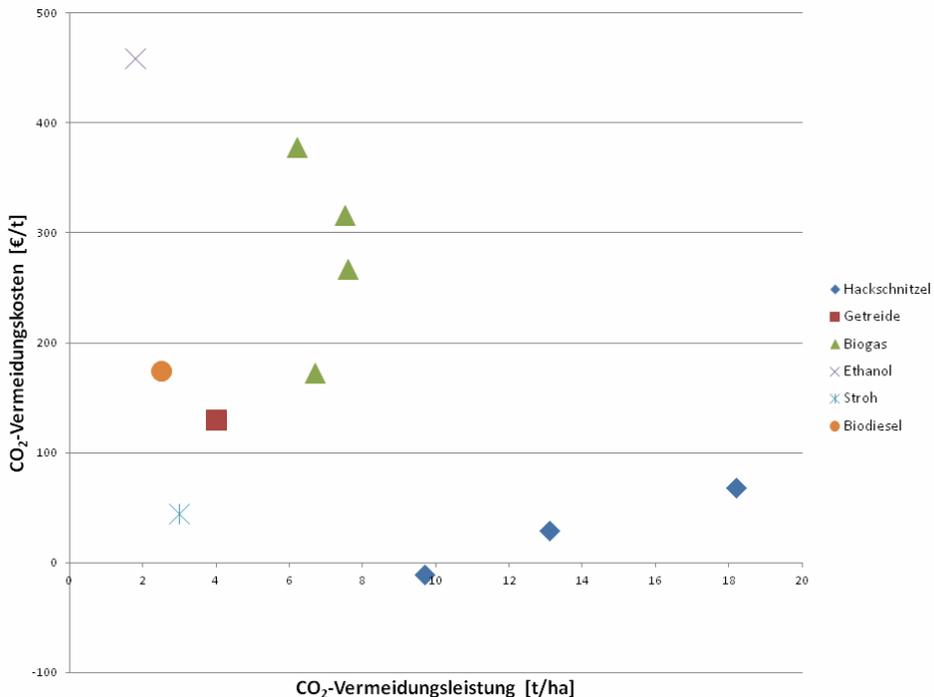


Abbildung 2: Vergleich der CO₂-Vermeidungsleistung mit den CO₂-Vermeidungskosten verschiedener Biomassepfade (nach: ANONYMUS 2007)

1.3 Politische Vorgaben

Der Anbau schnell wachsender Bäume in kurzen Umtriebszeiten stellt eine sinnvolle Alternative bzw. Ergänzung zu den anderen Biomassepfaden dar. Auf ihrer letzten Konferenz im September 2009 in Eisleben (ANONYMUS 2009) haben daher die Agrarminister des Bundes und der Länder unter Tagesordnungspunkt 28, Punkt 5, beschlossen, dass “die nationalen Ziele für die energetische Biomasse-nutzung nur mit einem nennenswerten Anbau von Kurzumtriebsplantagen erreicht werden können. (...) Zudem bitten die Ministerinnen und Minister, Senatorin und Senatoren der Agrarressorts der Länder die Bundesregierung zu prüfen, ob die Förderbedingungen in der GAK¹ verbessert werden können sowie bei Verkauf und Verpachtung bundeseigener Flächen den besonderen Anforderungen von Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsystemen Rechnung getragen werden kann.“

1.4 Rechtliche Vorgaben

Im Jahr 2010 hat der Gesetzgeber beschlossen, Kurzumtriebsplantagen aus dem Waldbegriff des Bundeswaldgesetzes zu nehmen. Damit ist ein erhebliches Hemmnis der Flächenbereitstellung durch die Landwirte abgebaut worden.

Für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen gelten jedoch weiterhin 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.

2 Einleitung

Leider steht bei Pappel, der neben Weide wichtigsten Gattung für den Kurzumtrieb, bisher nur eine sehr begrenzte Anzahl von für den Anbau im Kurzumtrieb verwendeten Klonen zur Verfügung. Momentan werden hauptsächlich die Klone 'Max 1', 'Max 3', 'Max 4', 'Hybride 275', 'Muhle Larsen' und 'Androscoggin' auf Kurzumtriebsflächen angepflanzt. Alle aufgeführten Klone wurden speziell 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. Um eine höhere Wuchsleistung gepaart mit einer besseren Resistenz gegenüber Pathogenen wie dem Pappelblattrost zu erreichen,

¹ GAK = Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“

muss daher die Züchtung von Klonen speziell für den Kurzumtrieb verstärkt betrieben werden.

3 Züchtungsarbeiten in Hann. Münden

Im Jahr 1955 leitete das Hessische Institut für Forstpflanzenzüchtung, später die Hessische Forstliche Versuchsanstalt, ein Züchtungsprogramm mit Pappeln der Sektion *Populus* mit dem Ziel ein, wüchsige und widerstandsfähige Klone für meso- und oligotrophe Waldstandorte zu selektieren (FRÖHLICH u. GROSSCURTH 1973). Ab 1962 wurde das 1947 in Brühl gegründete Institut für Pappelwirtschaft nach Hann. Münden umgesiedelt und in Personalunion mit dem Institut für Forstpflanzenzüchtung betrieben. Das sogenannte „Pappelinstitut“ wurde später in das Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten umbenannt. Seit der Umsiedlung des Pappelinstitutes wurde in Hann. Münden zusätzlich die Züchtung der Schwarz- und Balsampappeln bearbeitet. Auch hier lag der Schwerpunkt in der Züchtung von geeigneten Klonen für die Forstwirtschaft und für den Flurholz-anbau.

Eine Trennung der beiden oben genannten Institute erfolgte Anfang der 1990er Jahre. Seit dieser Zeit wurde keine Pappelzüchtung mehr an der Hessischen Forstlichen Versuchsanstalt betrieben. Das Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten wurde schließlich 2006 geschlossen.

Nach Gründung der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt 2006 ist eine der Aufgaben der Abteilung Waldgenressourcen die Züchtung schnellwachsender Baumarten. Von den zahlreichen Versuchsflächen, die zwischen 1955 und 1990 angelegt worden sind, existieren noch rund 250 ha. Allerdings ist die Mehrzahl dieser Flächen wegen der geringen Anzahl noch existierender Prüfglieder inzwischen aufgegeben. Dennoch können von den dort noch stehenden Bäumen Blüh- und Steckreiser für Züchtungsarbeiten gewonnen werden.

Eine Pappelsortenschau mit etwa 800 Klonen sowie vier Populeten mit rund 280 Pappelklonen und ein Salicetum mit rund 280 Weidenklonen werden weiterhin betreut. Außerdem wird die 1976 angelegte Kurzumtriebsversuchsfläche „Haferfeld“ in zweijährigem Umtrieb bewirtschaftet. Das „Haferfeld“ ist die älteste Kurzumtriebsfläche in Deutschland. In Abbildung 3 sind Stöcke zu sehen, die insgesamt sechzehnmal zurückgeschnitten worden sind. Sie zeigen, dass einige Klone über einen langen Zeitraum in kurzen Umtrieben ohne Verlust ihrer Vitalität und ohne das Auftreten von Krankheiten und Schäden geerntet werden können.

4 Ergebnisse des Teilprojektes 1

4.1 Aufgaben

Die Aufgaben aller Teilprojektpartner des Verbundvorhabens „FastWOOD“ sind bei JANBEN et al. (in diesem Band S. 1 ff.) aufgelistet. Die Abteilung Waldgenressourcen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) bearbeitete innerhalb des Teilprojektes 1 des Verbundvorhabens die Evaluierung, Züchtung, genetische Charakterisierung sowie Sortenprüfung auf Leistung und Resistenz von Schwarz- und Balsampappeln und Weiden. Durch die zeitgleiche Bearbeitung der Weiden in dem Projekt „Weidenzüchtung“ (GEBHARDT, in diesem Band S. 55 ff.; JANBEN et al., in diesem Band S. 1 ff.) wurden in „FastWOOD“ nur die Schwarz- und Balsampappeln bearbeitet.

In den nachfolgenden Abschnitten werden die durchgeführten Arbeiten beschrieben.



Abbildung 3: Stöcke mit zweijährigem Aufwuchs nach 16-maligem Rückschnitt im zweijährigen Umtrieb auf der Kurzumtriebsversuchsfläche „Haferfeld“

4.2 Evaluierungen älterer Versuchsergebnisse

Auf den noch existierenden Versuchsfeldern wurden anhand der alten Aufnahmen 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 Versuchsfeldern zu erhalten. Insgesamt sind 29 Klone für die Versuchsanlage 2010 ausgewählt worden (s. Kap. 4.4.1).

4.3 Kreuzungsarbeiten

4.3.1 Kreuzungen

Die Auswahl der Kreuzungspartner erfolgt jeweils im Januar. Aufgrund der Erfahrungen aus 1980er Jahren wurde innerhalb des „FastWOOD“-Projektes vor allem mit den Arten *Populus nigra*, *P. deltoides*, *P. trichocarpa* und *P. maximowiczii* gekreuzt. Ergänzend wurden einige Kreuzungen mit weiteren Arten der Sektion *Tacamahaca* wie *P. ussuriensis* und *P. cathayana* durchgeführt.

Die weiblichen Blühreiser der für die Kreuzungen ausgewählten Elternbäume werden jeweils im Januar und Februar geworben. Reiser von Schwarz- und Balsampappeln allein im Wasserbad auszutreiben und für die Kreuzungen bis zur Samenreife lebensfähig zu halten ist im Gegensatz zu Aspenreisern nur in seltenen Fällen erfolgreich, weil die Samen kaum über die dafür notwendigen vier bis acht Wochen ausreifen können. Daher wird ein Verfahren der Universität von Minnesota in Duluth (USA), das seit Jahren im dortigen Züchtungsprogramm erfolgreich angewendet wird, benutzt, indem die Blühreiser vor der Aufstellung in den Kreuzungskabinen bewurzelt werden. Dazu werden die Blühreiser in Töpfe mit Pflanzenerde gesteckt und anschließend in ein warmes Wasserbad gestellt. Dieses Wasserbad ist in einer Kühlzelle aufgebaut, so dass die oberirdischen Teile weiterhin auf etwa 4 ° Celsius gekühlt werden und dadurch nicht vorzeitig austreiben. Die Pflanzentöpfe sind durch Styroporplatten von der Kühlzellularumgebung isoliert, um den Temperaturgradienten zwischen Spross und Wurzel aufrecht zu halten und den Energieverbrauch zu minimieren (MCMAHON et al. 2011).

Die männlichen Blühreiser werden kurz vor dem Austrieb von Februar bis April geworben, um sie dann klonweise räumlich getrennt in Wasser anzutreiben. Der Pollen wird von den Kätzchen abgeschüttelt und aufgefangen und anschließend für etwa 24 bis 48 Stunden über Silicagel getrocknet, bis er rieselfähig ist. Dann wird er möglichst frisch für die Kreuzungen verwendet. Nicht für die Kreuzungen verwendeter Pollen wird auf etwa 10 % Wassergehalt getrocknet und bei minus 20 °C eingelagert.

Nach der Bewurzelung, die etwa vier bis sechs Wochen dauert, können die Blühreiser weiterhin unter kühlen Bedingungen gelagert werden, bis genügend

frischer Pollen für die Kreuzungen gesammelt wurde. Die Kreuzungen werden in voneinander isolierten Kreuzungskabinen durchgeführt. Die Zahl der in den Jahren 2007 bis 2011 in Hann. Münden durchgeführten Kreuzungen kann der Tabelle 1 entnommen werden. Jeweils drei bis vier verschiedene weibliche Klone, die alle mit demselben Pollen bestäubt werden sollen, können in eine Kreuzungskabine gebracht werden. Nach erfolgreicher Kreuzung werden die Pflanzen bis zur Kapselreife weiterkultiviert. Nach dem Einsammeln des Saatguts wird die den Samen anhängende Wolle entfernt. Die Samen werden dann auf spezieller Anzuchterde zum Keimen gebracht. Die Keimlinge werden spätestens nach 14 Tagen in Jiffy-Pots pikiert, um sie anschließend unter Gewächshausbedingungen bis zur Auspflanzgröße von 10 cm weiter zu kultivieren. Die Auspflanzung erfolgt spätestens Ende Juli in Freilandbeete mit gedüngter Pflanzenerde. Hier bleiben die Sämlinge bis zur ersten Selektion im übernächsten Herbst stehen.

Bei einigen der oben genannten Kreuzungskombinationen war es nicht möglich, keimfähiges Saatgut zu gewinnen. Hier wurde zum Teil die Technik der In-vitro-Aussaats („embryo rescue“) angewendet. Dazu werden die noch unvollständig entwickelten Embryonen aus den Samen steril präpariert und anschließend auf Kulturmedien etabliert. Danach werden die gekeimten Sprosse *in vitro* vegetativ vermehrt und nach der Bewurzelung im Gewächshaus angezogen (GEBHARDT 1998).

Bei einigen der durchgeführten Kreuzungen kommt es aufgrund von Inkompatibilitäten nicht zur Befruchtung. Daher wurde bei einigen dieser Kreuzungskombinationen in einem parallel laufenden Versuch Mentorpollen bei der Bestäubung verwendet. Der Mentorpollen wird von kreuzungskompatiblen männlichen Klonen gewonnen, die von derselben Art wie die Mutterbäume sind. Der Pollen wird durch mehrmaliges Einfrieren in flüssigem Stickstoff und anschließendem Auftauen so in seiner reproduktiven Fähigkeit deaktiviert, dass dieser zwar einen Keimschlauch ausbilden kann, aber das Durchwandern des generativen Kerns durch den Keimschlauches verhindert wird und somit eine Befruchtung der Eizelle nicht stattfindet. In einem Pollengemisch aus Mentorpollen und inkompatiblen Pollen werden von beiden Typen Pollenschläuche ausgebildet. Der Mentorpollen täuscht einen kompatiblen Partner vor, aber nur der eigentlich inkompatible Pollen trägt das Erbgut. Der „Wunschelter“ nutzt die Öffnung der präzygotischen Reproduktionsbarrieren zu einer Befruchtung (GAGET et al. 1989).

Tabelle 1: Jahr und Anzahl der durchgeführten Kreuzungen, Anzuchten, Selektionen und der Prüfglieder bzw. Standards auf den Versuchsflächen sowie Jahr der voraussichtlichen Auswertung und Zulassung

	Kreuzungen/ freie Ablüten	Familien/ Nach- kommen	Individuen 1. Selektion	Individuen 2. Selektion	Prüfglieder/ Standard- klone	Auswer- tung/ Zulassung
<i>Jahr</i>	1985-1993	1985-1993	2008	2009	2010	2015/2016
Anzahl	ca. 50	50/ca. 5.000	80	80	29/11	
<i>Jahr</i>	2007	2007	2009	2010	2011	2016/2017
Anzahl	35	20/20.000	452	70	21/4	
<i>Jahr</i>	2008	2008	2010	2011	2013	2018/2019
Anzahl	71	18/5.000	150	15		
<i>Jahr</i>	2009	2009	2011	2012	2013	2018/2019
Anzahl	86	40/10.000	303			
<i>Jahr</i>	2010	2010	2012	2013	2015	2020/2021
Anzahl	54	32/2.500				
<i>Jahr</i>	2011	2011	2013	2014	2015	2020/2021
Anzahl	45					

4.3.2 Selektionen/Vorprüfungen

Die erste Selektion wird im Alter von 1,5 Jahren durchgeführt. Dazu werden die Wurzelhalsdurchmesser und die Höhen der Pappelsämlinge gemessen. Der Befall mit Pappelblattrost wird ebenso dokumentiert wie etwaige andere aufgetretene Krankheiten oder Schäden. Aus den selektierten Pappeln werden Steckhölzer geschnitten, die im darauffolgenden Frühjahr in Freilandbeete abgesteckt werden. Nach einer weiteren Aufnahme nach einem Jahr werden wiederum die besten Klone nach Wurzelhalsdurchmesser und Höhe sowie nach Blattrostresistenz ausgewählt und in einem zweiten Zyklus vegetativ vermehrt. An dem Wiederaustrieb wird im folgenden Jahr die Stockausschlagfähigkeit und die Anzahl der Stockausschläge gemessen (s. Posterbeitrag HÜLLER, in diesem Band S. 369).

Die Individuenanzahl wird bei dieser ersten Selektion bereits sehr stark um den Faktor 20 bis 50 verringert (s. Tab. 1). BRIEBACH et al. (Posterbeitrag, in diesem Band S. 364) fanden heraus, dass der Zusammenhang zwischen den Volumen-

werten der Sämlinge mit den Werten nach der vegetativen Vermehrung nicht signifikant ist. Das Bestimmtheitsmaß liegt nur bei 15,28 % (s. Abb. 4). Hieraus wird der Schluss gezogen, dass eine größere Anzahl von Sämlingen selektiert werden muss, um geeignete Kandidaten nicht zu übersehen. Ein weiterer Ansatz könnte die Anwendung prädiagnostischer Selektionskriterien sein, wie sie durch die Messung von Blattflächen, aber auch die Analyse der Effizienz der Photosysteme durch Chlorophyll-Fluoreszenz möglich sind. Erste Ansätze, die die züchterische Effektivität durch Vermindern langer Feldprüfungszeiten steigern, werden zurzeit in der NW-FVA geprüft (FEHRENZ u. WEBER, in diesem Band S. 315 ff.).

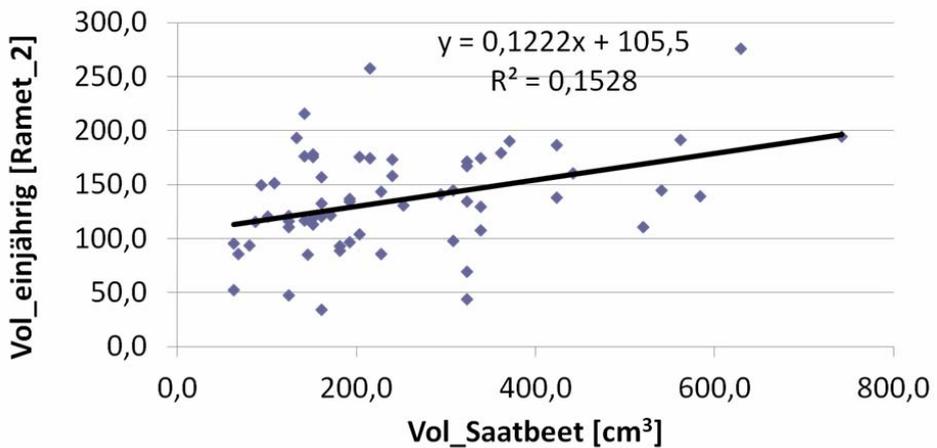


Abbildung 4: Zusammenhang des Volumens von Sämlingen und Steckhölzern (BRIEBACH et al., Posterbeitrag, in diesem Band S. 364)

4.4 Versuchsflächen

4.4.1 Anlage 2010

Nach der vegetativen Vermehrung im Zuge der Vorprüfungen sind mit rund 1.000 Stück pro Klon genügend Steckhölzer vorhanden, um Versuchsflächen anlegen zu können. Im Jahr 2010 konnten insgesamt sechs Versuchsflächen mit Schwarz- und Balsampappeln begründet werden (s. Abb. 5). Drei dieser Versuchsflächen wurden vom Teilprojekt 1 angelegt. Die Anlage von drei weiteren Flächen erfolgte in Kooperation mit Teilprojekt 3 (Staatsbetrieb Sachsenforst), Teilprojekt 4 (Bayrisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht) und der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA-BW), einem Unterauftragnehmer des Teilprojektes 4. Sechs Standorte wurden für die erste Serie der Sortenprüfung im Herbst 2009 ausgewählt. Die Standorte sollten dabei den Bereich potenzieller Standorte für Kurzumtriebsplantagen möglichst repräsentativ ab-

decken. Deshalb wurden die Flächen auf das gesamte Bundesgebiet verteilt. Es handelt sich um zwei trockene Standorte mit kontinentalgeprägtem Klima im Bereich der Dahlemer Heidehochfläche (Thammenhain II, Sachsen) und Wallstawe (Sachsen-Anhalt), um einen Mittelgebirgsstandort mit rauherem 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 Leimbach in Bayern mit häufiger Frühjahrstrockenheit und feuchten Sommern sowie eine weitere in Emmendingen (Baden-Württemberg) im feucht-warmen Klima des Oberrheingrabens angelegt.

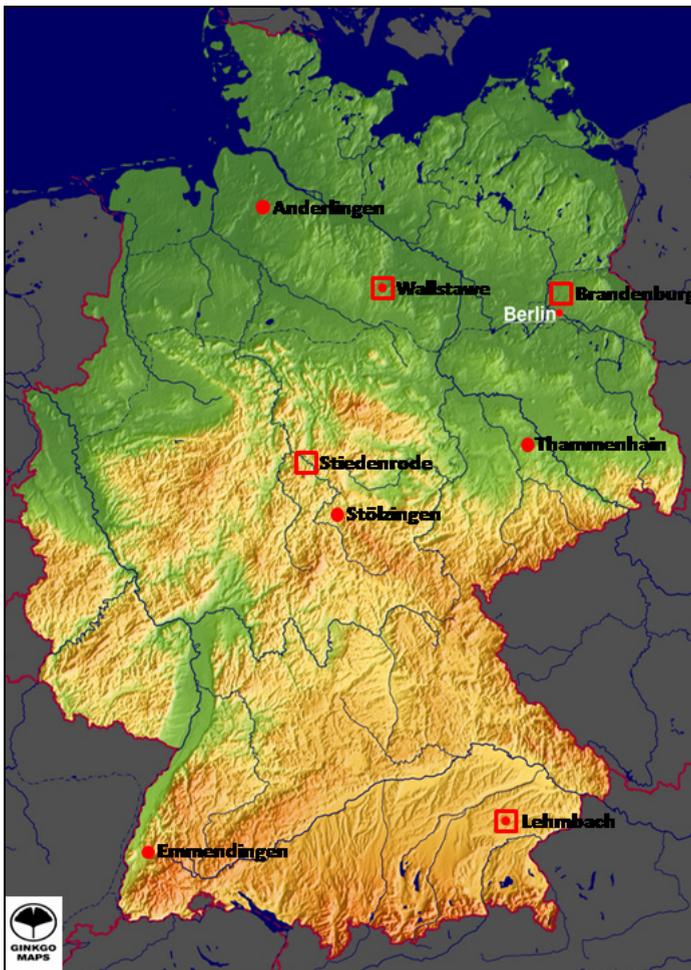


Abbildung 5: Geographische Lage der 2010 [Kreis] und 2011 [Quadrat] durch das Teilprojekt 1 mit Schwarz- und Balsampappeln angelegten Versuchsflächen

Zwischen Oktober 2010 und März 2011 wurden die sechs neu angelegten Versuchsflächen aufgenommen. Es wurde eine Höhenmessung sowie eine Ausfallaufnahme durchgeführt. Bei dieser Aufnahme erfolgte gleichzeitig eine Blattrostbonitur. Erwartungsgemäß war die mittlere Wuchsleistung der Flächen sehr unterschiedlich. Während im milden Klima von Baden Württemberg mittlere Höhen von knapp 2,30 m erreicht wurden, sind die Pappeln in Sachsen unter kontinentalen und gleichzeitig trockenen Bedingungen nur etwas über 50 cm hoch gewachsen. Auf dieser Fläche ist auch fast die Hälfte der Steckhölzer ausgefallen. Eine Übersicht ist in Tabelle 2 zu sehen. Die Daten der Ausfallaufnahme dienen zur Planung der Nachbesserung, die im März 2011 erfolgte.

Tabelle 2: *Höhe und mittlerer Ausfall der Versuchsflächen aus dem Jahr 2010 nach einem Jahr*

Ort	Bundesland	mittlere Höhe [m]	mittlerer Ausfall [%]
Anderlingen	Niedersachsen	1,20	8
Wallstawe	Sachsen-Anhalt	1,20	31
Stölzingen	Hessen	1,70	10
Thammenhain	Sachsen	0,55	45
Lehmbach	Bayern	1,52	11
Emmendingen	Baden-Württemberg	2,29	19

Alle Versuchsflächen wurden nach einheitlichem Muster gestaltet. Dieses orientiert sich am Parzellendesign des „ProLoc“-Verbundprojekts (HOFMANN et al., in diesem Band S. 9 ff.), um auch mit diesen Flächen gesicherte Beziehungen herstellen zu können. Jede der 2010 zur Prüfung der Kurzumtriebseignung der neu gezüchteten Klone angelegten Versuchsflächen wurde mit jeweils insgesamt maximal 11.520 Stekhölzern (plus ca. 250 Reservehölzer) begründet. Jede Fläche setzt sich aus 40 randomisierten Einzelparzellen (s. Abb. 6) in sechsfacher Wiederholung (29 Neusorten und 11 Vergleichsklone) zusammen. Die Einzelparzellen besitzen eine Größe von 7,2 m x 6,5 m. Sie werden jeweils durch eine Leerreihe von der Nachbarparzelle getrennt. Entsprechend umfasst eine Versuchsfläche 11.232 m². Je Parzelle wurden 48 Stekhölzer (20 cm lang) in einem Verband von 1,8 m x 0,5 m ausgebracht (s. Tab. 3). Zum Schutz vor Wildschäden wurden die Flächen eingezäunt.

Diese Flächen werden im Winter 2012/2013 das erste Mal nach dreijährigem Umtrieb geerntet. Nach dem zweiten Umtrieb im Winter 2015/2016 werden verlässliche Zahlen über die zu erwartende Wuchsleistung vorliegen. Eine Zulassung von geeigneten Klonen kann danach erfolgen (s. Tab. 1).

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36
37	38	39	40
41	42	43	44
45	46	47	48

Abbildung 6: Parzellenaufbau der neu angelegten Versuchsflächen. Helle Felder markieren die Pflanzplätze der zur Datenerhebung verwendeten Pflanzen (Kernparzelle), graue Felder bezeichnen die Randpflanzen.

4.4.2 Anlage 2011

Die vier Flächen für die zweite Sortenprüfung wurden im April 2011 angelegt. Neben der Erweiterung der 2010 angelegten ersten Sortenprüfungen in Leimbach (Bayern; Teilprojektpartner 4) und Wallstawe (Sachsen-Anhalt; TP 1) wurde für eine der neuen Sortenprüfungen ein 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 ebenfalls in Abbildung 5 zu sehen.

Die jeweils rund 0,8 ha großen Flächen wurden mit je 25 verschiedenen Prüfgliedern (21 Neusorten und 4 Vergleichsklonen) mit insgesamt 1.152 Steckhölzern pro Klon bestückt. Das Versuchsflächendesign für die Anlage der neuen Schwarz- und Balsampappel-Versuchsflächen wurde wie auch 2010 im Anhalt an das Versuchsdesign der „ProLoc“-Flächen durch TP 1, 3 und 4 abgestimmt und 2011 etwas modifiziert (s. Tab. 3).

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 wieder aufgegeben werden.

Tabella 3: Grunddaten der während der ersten Förderperiode vom Teilprojekt 1 in den Jahren 2010/2011 angelegten Versuchsflächen (inklusive einer Leerreihe zwischen den Parzellen)

Abstand in der Reihe [m]	Reihenabstand [m]	Anzahl Standardklone
0,5	1,8	11/4
Anzahl Reihen/Parzelle	Anzahl Pflanzen/Reihe	Anzahl Pflanzen/Parzelle
4	12	48
Anzahl der Wiederholungen	Anzahl Prüfglieder/Fläche	Anzahl Flächen
6	40/25	6/4
ha/Fläche	Stück/Klon/Fläche	Stück/Fläche
1,12/0,78	280	10.368/7.200
Stück/Klon	Stück/gesamt	ha/gesamt
1.728/1.152	62.208/28.800	6,74/3,12

Die in 2011 angelegten Flächen werden erstmals im Winter 2013/2014 geerntet. Frühestens nach der zweiten Ernte im Winter 2016/2017 kann eine Zulassung geeigneter Klone erfolgen.

4.5 Genetische Untersuchungen

Wegen der Verwechslungsmöglichkeiten bei vegetativer Vermehrung ist eine zweifelsfreie Identifikation der Pappelklone unerlässlich. So konnten bei dem nach dem Forstvermehrungsgutgesetz vorgeschriebenen Standardklon 'Rochester' in früheren Untersuchungen aus Einsendungen verschiedener in- und ausländischer Institutionen unterschiedliche Genotypen nachgewiesen werden (JANBEN u. FEY-WAGNER 2011). Auch bei den 'Max'-Klonen wurden Verwechslungen in verschiedenen Sammlungen konstatiert (GEBHARDT et al. 2007).

Mit genetischen Fingerabdrücken durch die Mikrosatelliten-Technik ist eine sichere Identifizierung möglich. So wurden inzwischen alle Pappelklone, die für die Kreuzungen verwendet wurden, genetisch analysiert und in einer Datenbank dokumentiert. Alle Nachkommen aus den gelenkten Kreuzungen, die selektiert und

vegetativ vermehrt worden sind, wurden ebenso genetisch charakterisiert wie die Selektionen aus älteren Versuchen.

Durch die Etablierung von Multiplex-PCR²-Systemen konnten sowohl die Kosten als auch der Arbeitsaufwand bei hohem Probendurchsatz gesenkt werden. Der für die genetischen Analysen verwendete Plattensequencer „LiCor“ bietet zur Detektion der PCR-Produkte ein Zweifarbsystem mit den Fluoreszenzen IRD-700 und IRD-800 an. Bei der Zusammenstellung der Multiplex-PCR dürfen sich die Fragmente mit der Farbmarkierung derselben Wellenlänge nicht überlappen. Da jeder Primer entsprechend seiner Sequenz eine individuelle Temperatur für die Hybridisierung (Annealing) mit der „Ausgangs-DNA“ (Template) hat, muss diese Temperatur auch im Temperaturprofil der PCR angesteuert werden. In einer herkömmlichen Multiplex-PCR werden nur Primer einer ähnlichen Hybridisierungs-Temperatur in ein Set integriert. Es wurde erfolgreich ein Touch-down Temperatur-Profil verwendet, in dem alle benötigten Temperaturen im Verlauf von der höchsten bis zur niedrigsten nacheinander angesteuert werden. Um die Schärfe des Bandenmusters zu erhöhen, wurde die Annealing-Zeit auf zehn Sekunden reduziert. Der dabei auftretende Effekt der Verringerung der Menge der Amplifikationsprodukte konnte durch das Weglassen des üblichen Verdünnungsschrittes vor dem Auftragen der PCR-Produkte auf den Sequenzer kompensiert werden. In Abbildung 7 ist ein Gellauf mit insgesamt sechs Genorten bei der Wellenlänge 700 nm dargestellt (FEHRENZ u. HAVEL 2010).

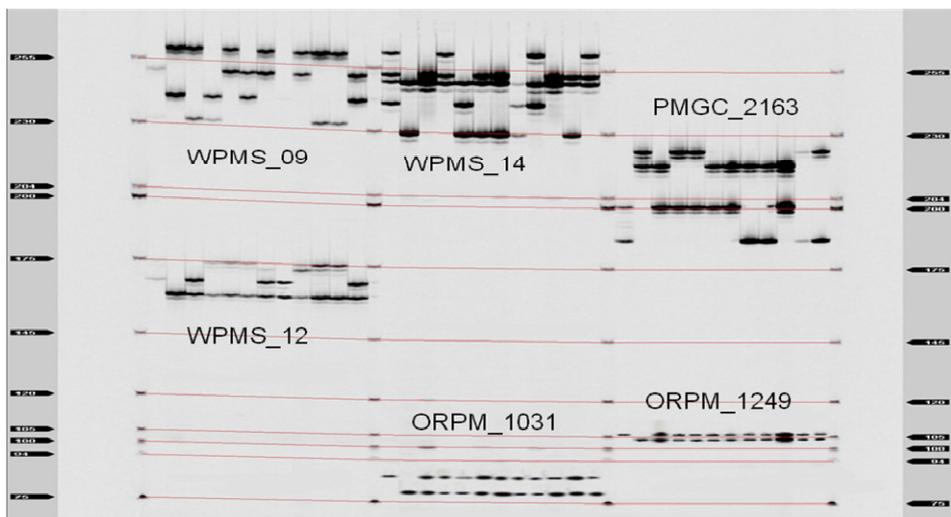


Abbildung 7: Gellauf von drei Multiplex-Primer-Sets der Wellenlänge 700 nm (aus FEHRENZ u. HAVEL 2010)

² PCR = poly-chain-reaction

Durch die genannten Modifikationen ist es möglich, zwölf Proben an zwölf Genorten in nur einem Lauf zu untersuchen. Der Probendurchsatz konnte somit für das Zweifarbsystem des verwendeten Plattensequenzers um das Vierfache gesteigert werden.

Im Rahmen der laufenden Arbeiten zur Genotypisierung von Pappeln konnte ein Datensatz, bestehend aus 54 verschiedenen Klonen der Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca* sowie einem Klon der Sektion *Leucoides* (*P. lasiocarpa*) an 29 Mikrosatelliten-Genorten zum Nachweis der systematischen Zuordnung, eingeschlossen ihrer hybriden Herkunft, für eine phylogenetische Analyse genutzt werden. Mit der Genepop-Software wurde zur Berechnung der genetischen Abstände das Distanzmaß „F-st“ berechnet. Die Prozessierung und graphische Darstellung einer Hauptkoordinaten-Analyse erfolgte über die frei zugängliche Statistiksoftware „R“. In Abbildung 8 ist eine Gruppierung der Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca* deutlich erkennbar. Zusätzlich lassen sich aber auch die amerikanischen Arten der jeweiligen Sektionen deutlich von den asiatischen trennen. Die glaziale Trennung der im Tertiär verbundenen Kontinente Amerika und Eurasien drängt nach einer Zuordnung in die bisher noch nicht bestehenden Sektionen *Aigeiros* (Nord-Amerika), *Aigeiros* (Eurasien), *Tacamahaca* (Nord-Amerika) und *Tacamahaca* (Asien). In der Hauptkoordinaten-Analyse wird sichtbar, dass die Sektionen *Tacamahaca* (Asien) und *Aigeiros* (Eurasien) innerhalb Eurasiens sich genetisch ähnlich sind und wahrscheinlich länger als die Sektionen *Tacamahaca* und *Aigeiros* in Nord-Amerika in reproduktivem Kontakt standen. Alle intra- und intersektionellen Bastarde (*P. x canadensis*, *P. trichocarpa* x *P. maximowiczii* und *P. deltoides* x *P. trichocarpa*) nehmen eine den morphologischen und geographischen Sektionen zuordenbare intermediäre Stellung zu ihren jeweiligen Elternarten ein (FEHRENZ u. HAVEL, Posterbeitrag, in diesem Band S. 419).

Abgleich der Bewertungsmaßstäbe von den Teilprojektpartnern 3 und 4 sowie der Forstlichen Versuchsanstalt in Freiburg selbstständig durchgeführt.

Insgesamt konnten 1.350 Parzellen bewertet und mehr als 5.500 einzelne Blätter bonitiert werden. 2.500 mit *Melampsora larici-populina* befallene Blätter wurden geerntet. Diese Blätter sind zusätzlich zur morphologischen Untersuchung vorgesehen (s. Kap. 4.7) und werden auch zur Probengewinnung für die geplante Pathotypenbestimmung verwendet. Für das Jahr 2010 ergab sich ein eher schwacher Befall mit Blattrost. Detaillierte Ergebnisse finden sich bei FEY-WAGNER et. al (in diesem Band S. 219 ff.).

4.7 Morphologische Untersuchungen

Bei Pappelhybriden kann die Ausprägung der phänotypischen Merkmale der Elternarten in unterschiedlichstem Maße ausfallen. Außerdem ist für den Sortenschutz, der für neu gezüchtete Klone beantragt werden könnte, eine morphologische Charakterisierung notwendig. Daher gehört es zu den Aufgaben des TP 1, die für die Kreuzungen verwendeten Elternbäume und die Kreuzungsnachkommen nicht nur genetisch, sondern auch morphologisch zu charakterisieren. So wurden im letzten Jahr rund 3.000 Blattproben von den neu angelegten Sortenprüffeldern und Kreuzungsnachkommenschaften gesammelt. Diese wurden dem bisherigen morphologischen Datenbestand aus 500 einzelnen Blattproben von insgesamt neun reinen Arten und 18 unterschiedlichen Hybriden hinzugefügt und ebenfalls anhand von zwölf unterschiedlichen Kriterien morphologisch untersucht. Zu diesen Kriterien gehören „Blattflächenindex“, „Blattflächen/Blattstielverhältnis“, „Zuspitzung“, „Zahnung“, „Form Blattgrund“, „größte Blattbreite“ und „Farbe Blattunterseite“. Aufgrund der geringen Stichprobengröße je Art bzw. Hybride ist eine gesicherte statistische Auswertung noch nicht möglich. Daher muss die Sammlung von Blattmaterial in der kommenden Vegetationsperiode weiter ausgedehnt werden.

5 Ausblick

Im Folgenden werden mögliche Schwerpunkte in der weiteren Züchtungsarbeit mit Schwarz- und Balsampappeln benannt. Sie gelten sinngemäß auch für Pappeln der Sektion *Populus* und für Weiden.

Die Steigerung der Wuchsleistungen ist und bleibt ein herausragendes Züchtungsziel. Im Vergleich mit den Züchtungen anderer schnellwachsender Baumarten/-gattungen wie *Pinus radiata* oder *Eucalyptus* muss das Ziel sein, bei den gezüchteten Klonen eine Wuchsleistung von 15 t_{trot} pro Jahr und Hektar zu erzielen.

Eine nicht unerhebliche Bedeutung kommt der Pathogentoleranz zu, gerade auch dann, wenn die mit Kurzumtrieb bepflanzte Fläche von derzeit rund 5.000 Hektar deutlich erweitert werden sollte. Zunächst sollte das für kurze Umtriebszeiten bedeutende Pathogen, der Pappelblattrost verursacht durch *Melampsora larici-populina*, weiterhin im Fokus bleiben. Es müssen zukünftig aber auch andere Pathogene wie *Dothichiza populea*, *Marssonina brunnea*, *Pollaccia elegans* und *Xanthomonas populi* vor allem auch bei längeren Umtriebszeiten in der Züchtungsarbeit berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang ist auch eine eventuell vorhandene klonspezifische Toleranz gegenüber einem Befall durch Pappelbockkäfer der Gattung *Saperda* zu überprüfen.

Bei den Klimaszenarien geht man davon aus, dass im Sommer weniger Niederschläge fallen werden. Für den Anbau bei Niederschlägen unter 250 mm in der Vegetationszeit und bei Jahresniederschlägen unter 600 mm muss untersucht werden, ob unter diesen Bedingungen ein Kurzumtrieb mit Pappeln sinnvoll ist und ob gegebenenfalls geeignete Klone selektiert werden können. Da die Jahresextreme wie starker Dauerfrost zwar seltener werden, aber trotzdem weiterhin auftreten werden, muss auch hier mit entsprechend selektierten Klonen gearbeitet werden.

Die Polyploidiezüchtung bietet einerseits einen Leistungsgewinn, da einige polypleide Klone besseres Wachstum zeigen. Andererseits sind diese als Elternbäume für weitere Kreuzungen von Bedeutung. Triploide Sorten haben den Vorteil, dass sie in der Regel steril sind und daher keine Introgression in heimische Arten verursachen können (s. EWALD et al., in diesem Band S. 181 ff.).

Die Züchtung auf Inhaltsstoffe wie etwa das Lignin-/Zelluloseverhältnis, der Salicylsäuregehalt oder der Anteil bestimmter Plattformchemikalien sollte in Zusammenarbeit mit der chemischen Industrie erforscht werden. Die mögliche Verwendung von Pappelholz als chemischer Grundstoff ist bisher wenig untersucht.

Die markergestützte Selektion würde eine schnellere effektivere Selektion zulassen, wenn von dem Vorhandensein bestimmter Genvarianten direkt auf die Leistungsfähigkeit geschlossen werden kann (s. PFENNIG u. v. WÜHLISCH, Posterbeitrag, in diesem Band S. 398). Zeitgleich müssen die bei der Selektion verwendeten Kriterien überprüft werden. Hier bietet beispielsweise die Verwendung der Chlorophyllfluoreszenzmessung einen Ansatz, Aussagen zur Wuchsleistung schon im Sämlingsstadium machen zu können (s. FEHRENZ u. WEBER, in diesem Band S. 315 ff. und WEBER u. FEHRENZ, Posterbeitrag, in diesem Band S. 372).

Die Protoplastenfusion bietet schließlich die Möglichkeit, bisher auf konventionellem Weg schwer miteinander kreuzbare Arten wie beispielsweise Aspen und Schwarzpappeln auf somatischem Weg zu fusionieren. Diese könnten entweder direkt oder als Kreuzungseltern verwendet werden (s. LÜHRS et al., Posterbeitrag, in diesem Band S. 388).

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 (2009): Ergebnisniederschrift der Agrarministerkonferenz am 18. September 2009 in der Lutherstadt Eisleben.
(http://www.agrarministerkonferenz.de/uploads/AMK_Ergebnisprotokoll_a75.pdf)
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (2010): Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen: Auswirkungen von Kurzumtriebsplantagen auf Naturhaushalt, Landschaftsbild und biologische Vielfalt. Anbauempfehlungen und Empfehlungen des Bundesmats für Naturschutz, Leipzig, 18 S.
(http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/bfn_energieholzanbau_landwirtschaftliche_flaechen.pdf)
- FEHRENTZ, S. u. HAVEL, S. (2010): Wenig Einsatz – Hoher Durchsatz: Optimierung von Multiplex PCR-Systemen für genetische Fingerabdrücke in der Gattung *Populus*. Posterbeitrag, Agrarholz 2010, Berlin
- FRÖHLICH, H. J. u. GROSSCURTH, W. (1973): Züchtung, Anbau und Leistung der Pappeln. Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, Band 10, 267 S.
- GAGET, M., VILLAR, M. u. DUMAS, C. (1989): The mentor pollen phenomenon in poplars: a new concept. Theor. Appl. Genet. 78, 129-135
- GEBHARDT, K. (1998): Sicherung genetischer Vielfalt der Schwarzpappel mit Hilfe von In-vitro-Techniken. In: WEISGERBER, H. u. JANBEN, A.: Die Schwarzpappel – Probleme und Möglichkeiten bei der Erhaltung einer gefährdeten Baumart. Forschungsberichte der Hessischen Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie, Band 24, Hann. Münden, 160
- GEBHARDT, K.; KONNERT, M.; WYPUKOL, H. u. RATHMACHER, G. (2007): Herkunft und Identifikation der Max-Klone. Posterbeitrag zur Fachtagung: „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen“, 2.-4.7.07, Univ. Freiburg Tagungsband, 102-103
- JANBEN, A. u. FEY-WAGNER, C. (2011): Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion von Biomasse auf Kurzumtriebsplantagen. In: MAURER, W.; HAASE, B. (Hrsg.): Holzproduktion auf forstgenetischer Grundlage im Hinblick auf Klimawandel und Rohstoffverknappung. Mitteilungen aus der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Band 69, Trippstadt, 107-115
- MCMAHON, B.; BERGUSON, W. E.; BUCHMAN, D. J.; LEVAR, T. E.; MALY, C. C.; O'BRIEN, T. C. u. RIEMENSCHNEIDER, D. E. (2011): *Populus* breeding and hybrid poplar development in Minnesota: 16-year update. (<http://www.poplar.ca/pdf/edmonton11mcmahon.pdf>)
- NATURSCHUTZBUND DEUTSCHLAND E. V. (NABU) (2008): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft – Chancen und Risiken aus Sicht des Naturschutzes. Studie des Naturschutzbundes Deutschland, 70 S. (www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/biomasse/nabustudie_energieholz.pdf)



Karten-Lizenz:
Diese Landkarte ist lizenziert 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: GSHS und politische Ländergrenzen aus GNT (gmt.soest.hawaii.edu);
Rasterdaten: 30sec DTM-Kombination von GTOPO30, ICMA0, TOPO6.2 und SRTM30plus hergestellert von Geoware (<http://www.geoware.com>)

Korrespondierender Autor:

Dr. Alwin Janßen
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Straße 6
34346 Hann. Münden
E-Mail: alwin.janssen@nw-fva.de
URL: www.nw-fva.de, www.fastwood.de

Steffen Fehrenz
Christina Fey- Wagner
Wolfgang Hüller
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Neuzüchtung, Erprobung und mögliche Verwendung bisher nicht registrierter Weidensorten

Breeding, testing and potential uses of unregistered
willow varieties

Karl Gebhardt

Zusammenfassung

Es wird ausgehend von der Artenvielfalt und den Besonderheiten der Gattung *Salix* der Stand der Züchtung von Weiden als Energiepflanzen geschildert. Es folgt eine Darstellung der Grundlagen, Verfahren und der Ergebnisse eines FNR-Projektes zur Neuzüchtung. Dabei werden Erkenntnisse über das genetische System berücksichtigt und die gewonnenen Erfahrungen und Produkte der Kreuzungsarbeiten geschildert. Es konnten Pflanzen durch die Technik des „Embryo rescues“ als auch Ploidievarianten erzeugt werden. Ein Verfahren der Mikrovermehrung kann genutzt werden um neue Sorten schnell zu klonieren. Die erprobten Verfahren der genetischen Analyse erlauben die Art- und Sortenidentifizierung sowie die Abstammungsanalyse. Diskutiert werden Züchtungsstrategien und die Berücksichtigung funktionaler Genomik. Mit der stofflichen Nutzung von Lignocellulose aus verholzter Biomasse ergeben sich neue Aspekte der Züchtung und Forschung mit Salicaceen.

Stichworte: *Salix ssp.*, intra- und interspezifische Hybriden, Abstammungsrekonstruktion, Mikrovermehrung, Embryo rescue, Ploidiemutanten

Abstract

Here achievements in breeding willows for energy crops are outlined in relation to the biodiversity and characteristics of the genus *Salix*. The principles, methods and results of the FNR willow breeding project are presented. Insights into the genetic system are presented, and the experience gained and products from cross-breeding trials are described. Seedlings and ploidy mutants were raised by embryo rescue techniques. A micropropagation method can be used for fast propagation of new clone varieties. The proven genetic analysis techniques permit the identification of species and clones as well as the analysis of lineage. Breeding strategies and functional genomics are discussed. The use of lignocellulose from woody biomass enhances prospects for breeding and research opportunities for the Salicaceae family in future.

Keywords: *Salix ssp.*, intra- und interspecific hybrids, phylogenesis, micropropagation, embryo rescue, ploidy mutants

1 Einleitung

Salix (Weide) ist in Deutschland mit mehr als 40 Arten die wohl artenreichste einheimische Gehölzgattung und Charakterart unserer Flußauen. Die Gattung *Salix* umfasst weltweit 330 bis 500 Arten mit einem Genzentrum in China (ZHENFU et al. 1999) weiter Verbreitung in ganz Asien, Nordamerika, Europa und der früheren Sowjetunion (DICKMANN u. KUZOVKINA 2008). Die für die Biomasseproduktion weltweit interessanten Weidenarten (ca. 33) werden nach DICKMANN u. KUZOVKINA (2008) fünfzehn verschiedenen Sektionen zugeordnet. Das Verbreitungsgebiet der Gattung erstreckt sich über eine gewaltige ökologische Amplitude von der arktischen Tundra über die gemäßigte Zone bis in die Tropen und von der Meeresküste bis in hochalpine Lagen. Die natürliche Verbreitung der Arten korreliert mit der artspezifischen Standortstoleranz. An den Boden stellen die meisten Weidenarten kaum spezifische Ansprüche (LAUTENSCHLAGER 1989). Raschwüchsigkeit, hohe Frostresistenz sowie Überschwemmungstoleranz verschaffen Weiden an vielen Standorten Konkurrenzvorteile gegenüber anderen Baum- und Straucharten. ZANDER et al. (1995) weisen darauf hin, dass die Gattung *Salix* in Deutschland nicht nur reine Arten aufweist, vielmehr existieren neben Artbastarden auch Mehrfachbastarde und hybridogene Formenschwärme, die voll lebens- und konkurrenzfähig sind. Die ausgeprägte phänotypische Variabilität innerhalb der Arten erschwert die Artbestimmung. Die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten der Weiden einschließlich der Korbflechterei haben zu einer welt-

weiten Verbreitung einzelner Klone beigetragen. Korbweiden sind so gezüchtet, dass sie relativ dünne, unverzweigte und gut schälbare Ruten ausbilden.

2 Weiden-Zuchtsorten als Energiepflanzen

Einige Zuchtsorten der Weide zählen neben Pappeln zu den Energiepflanzen der zweiten Generation. Wie die großflächigen Energieholzplantagen in Schweden (siebzehntausend Hektar KUP im Jahr 2005, Quelle: http://www.biomasseconsulting.de/pdf/sortenliste_2010.pdf) beweisen, können mit gezüchteten Weiden hohe Biomasserträge in kühleren, niederschlagsreicheren Klimazonen, die nicht für das Wachstum der C4-Gräser wie *Miscanthus* optimal sind, erwartet werden. Darüber hinaus haben die jüngsten Diskussionen über die Landnutzung im Hinblick auf den Wettbewerb zwischen Energie- und Nahrungspflanzen Interesse an solchen Energiepflanzen geweckt, die auch unter weniger günstigen Wachstumsbedingungen hohe Erträge versprechen. Weiden zeigen gute vegetative Vermehrbarkeit, garantieren durch ihre schnelle Adventivwurzelbildung ein hohes Anwuchsprozent und blühen schon am einjährigen Holz. Mit Weidensorten entstehen somit auch im Kurzumtrieb (2-6 Jahre) blühende Felder hoher Produktivität und ökologischer Wertigkeit.

Bisher wurden europaweit fast ausschließlich die Züchtungsprodukte der 1987 in Schweden gegründeten Fa. Svalöf Weibull AB (heute Lantmännen Agroenergi AB) genutzt. Deren Sorten der neunziger Jahre wie Orm und Rap wurden mittlerweile abgelöst durch die in Resistenzeigenschaften und Ertrag deutlich verbesserten Sorten Tora, Sven, Olof, Tordis und Inger (zweite Generation). In Großbritannien begannen züchterische Aktivitäten im Jahr 1996 durch eine europäische Partnerschaft an der sich die Long Ashton Research Station (LARS, UK), Svalöf Weibull AB (Schweden) und Murray Carter (UK) beteiligten. Erste Ergebnisse des FNR-Projektes „ProLoc“ (AMTHAUER GALLARDO et al., in diesem Band S. 91 ff.) zeigen, dass die schwedischen Weidensorten Inger und Tordis ähnlich wie die Pappelsorten Max 1 und Hybride 275 alters- und standortabhängigen Höhenzuwachs sowie eine vergleichbare Biomasseleistung zeigen. Nach RUMPF (Posterbeitrag, in diesem Band S. 354) konnten mit Weiden-Zuchtsorten auf einer KUP-Fläche in Soltau (Niedersachsen) nach der ersten Rotation 9-14 t_(atro) je Hektar und Jahr erzielt werden.

Die derzeit marktbeherrschende Stellung schwedischer Weidensorten, die in ganz Europa vermarktet werden, kann aber längerfristig den Ansprüchen einer Weidenwirtschaft mit zahlreichen Produktlinien und vielfältigsten ökologischen Bedingungen südlich von Schweden nicht gerecht werden. Das Risiko des Anbaues weniger Hochleistungssorten wird durch einen Bericht von CAMERON et al. (2010) verdeutlicht. Die Autoren beschreiben, dass ein Schadinsekt (potato leaf hopper) auf amerikanischen Flächen bevorzugt schwedische und englische Zuchtsorten befallen und hohe Ausfälle verursacht hat. Eine auffällige Anfälligkeit

gegenüber dem Weidenblattkäfer, wie sie z. B. an der flußbegleitenden, heimischen Weidenart *S. fragilis* beobachtet wird, schränkt deren Zuchtwert ein.

Zwölf Jahre nach Beendigung des von LINDEGAARD u. BARKER (1997) beschriebenen European-Willow-Breeding-Programmes begann auch in Deutschland erstmalig ein Weidenzüchtungsprojekt, das vom Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Projektträger: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V.) mit dem Titel „Neuzüchtung und Erprobung bisher nicht registrierter Weidenklone und -sorten“ bis 30.9.2011 (FKZ: 22012409, <http://www.weidenzuechtung.de>) gefördert wurde. An dieser Stelle werden Grundlagen, Voraussetzungen und Züchtungsstrategien diskutiert sowie Ergebnisse des Projektes beschrieben.

3 Grundlagen, Verfahren und Ergebnisse der Neuzüchtung

3.1 Genetisches System

Das genetische System der Weiden erlaubt die Entstehung neuer Phänotypen und Arthybriden. Damit ist sowohl die Erhaltung der Anpassungsfähigkeit als auch die Anpassung an wechselnde Umweltbedingungen sichergestellt. Die Zweihäusigkeit der Gattung fördert das Auskreuzen. Die im Vergleich zu Pappeln relativ großen Pollen der Weiden werden hauptsächlich von Honigbienen, Hummeln und anderen Insekten übertragen, die ihrerseits von artspezifischen Düften angelockt und mit Nektar belohnt werden. Begünstigende Wetterlagen können aber auch eine Windbestäubung ermöglichen. Der plastische und effiziente Bestäubungsmodus (Insekten- und fakultative Windbestäubung), kombiniert mit Windausbreitung, bewirkt einen hohen Genfluss innerhalb und zwischen Populationen und rasche Änderungen im Gen-Pool. Obgleich Weidenarten als leicht hybridisierbar gelten, weisen CHMELAR u. MEUSEL (1979) sowie NEUMANN (1981) mit Recht daraufhin, dass eine natürliche Hybridisierung von Weidenarten keineswegs so häufig anzutreffen ist, wie allgemein angenommen wird. Morphologische Unterschiede der Blüten- und Insektenorgane, unterschiedliche Blühzeiten, Arealunterschiede, Standortpräferenzen und die daraus resultierenden unterschiedlichen innerartlichen Vergesellschaftungen, geringe Pollenproduktion, die Blütenstetigkeit von Insekten, die geringe Lebensfähigkeit des Pollens und die geringe Neigung zur Windbestäubung schränken eine natürliche Hybridisierung potenziell kompatibler Partner ein. Treffen Gameten verschiedener Arten trotz aller genannten Hindernisse aufeinander und verschmelzen dennoch nicht zu einer Zygote, sprechen die Botaniker (SPRINGER 2007) von einer gametischen Isolation. Auf der Plasmamembran der Samenzellen beziehungsweise auf der Eihülle befinden sich artspezifische Makromoleküle, die bei artgleicher Paarung wie Schloss und Schlüssel zueinander passen. Trifft nun artfremder Pollen zeitgleich mit arteigenem auf die Narbe, muss der

Pollenschlauch der fremden Art schneller wachsen als der des arteigenen Pollens, um zur Befruchtung zu führen. Schon die Versuche von WICHURA (1865) und HERIBERT-NILSSON (1918) zeigen, dass zwischen den von RECHINGER (1958) beschriebenen Untergattungen Amerina und Caprisalix eine unvollständige genetische Inkompatibilität ausgebildet ist. Auch die Entstehung von Untergattungshybriden wie *Salix* × *hippophaefolia* (*triandra* × *viminalis*) wird beschrieben.

Unterschiedliche Ploidieverhältnisse der Eltern können sowohl eine fehlende Gametenproduktion als auch eine höhere Bastardsterblichkeit bewirken.

Für zahlreiche im o. g. Projekt verwendete Zuchtsorten sind Ploidieverhältnisse von 2n bis 6n beschrieben (FEHRENZ u. GEBHARDT, Posterbeitrag, in diesem Band S. 381).

Wie bei allen Salicaceae ist die Ausbildung eines Endosperms auch bei Weiden unterentwickelt. Die Keimung ist zwar generell lichtbedürftig, kann jedoch auch schon vorzeitig in der geschlossenen Samenkapsel erfolgen (GEBHARDT 1992). Mit der Technik des „embryo rescues“ kann eine mangelnde Nährstoffversorgung des Embryos kompensiert werden (FRÜHWACHT-WILMS et al., Posterbeitrag, in diesem Band S. 386).

3.2 Kreuzungsarbeiten

Aus diesen Gegebenheiten wurden praktische Maßnahmen abgeleitet, die sich als Voraussetzung für den Kreuzungserfolg bestätigt haben:

- Antherenentwicklung kontrollieren, Pollen frühzeitig gewinnen,
- trocken und kühl (4 °C) lagern,
- jedes männliche Kätzchen nutzen (Pollenmenge optimieren),
- Triebe mit weiblichen Blüten bewurzeln,
- wiederholte, isolierte Kreuzungen im Gewächshaus durchführen,
- alternativ freie Abblüten sammeln (vor dem Platzen der Kapseln).

Für die Kreuzungsarbeiten standen die im Salicetum und in weiteren Klonsammlungen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Abt. C in Hann. Münden vorhandenen 350 Klone von 40 Weidenarten, siehe GEBHARDT (1992), zur Verfügung. Bevorzugt wurden jedoch baum- und strauchartig wachsende Weidenklone mit hohem Potenzial für Biomasseproduktion verwendet (s. Abb. 2).

Dazu zählen nach unseren Beobachtungen sowie Angaben aus der Literatur (WEGER et al. 2005, WEGER u. HAVLÍČKOVÁ 2009, BOELCKE 2006, SCHWARZE u. RÖHRICHT 2006, HÖRANDL et al. 2002) Klone der Arten *S. viminalis*, *S. alba*, *S. cinerea*, *S. caprea*, *S. triandra*, *S. daphnoides*, *S. purpurea*, *S. sachalinensis* sowie *S. × smithiana*, *S. × rubens*, *S. × helix*, *S. × alopecuroides* und dreifache Hybriden wie *S. × dasyclados* und *S. × aquatica*.

4 Ergebnisse der Neuzüchtung

Da die meisten Weidenarten an einjährigen Aufwüchsen auf mehrjähriger Wurzel ausreichend Blütenknospen ansetzen, konnte auf die Nutzung mehrjähriger Aufwüchse zur Blütenproduktion meist verzichtet werden. Bei zwei Klonen wurde die Bildung hermaphroditer Blütenstände beobachtet. Wie erwartet zeigten intraspezifische Kreuzungen die beste Fertilität und produzierten zahlreiche keimfähige Samen. Im o. g. Projekt wurde versucht alle im Kreuzungsschema (s. Abb. 1) dargestellten Hybriden zu erzeugen.

Überraschenderweise überlebte Saatgut ohne jede Vorbehandlung sowohl die Lagerung bei -20 °C oder -40 °C als auch das einmalige Einfrieren und Auftauen in Flüssigstickstoff. Eine Optimierung der Keimungsbedingungen wurde durch die Verwendung von Seesand in Glasgefäßen erreicht. Die Gefäße wurden bis zum Auflaufen der Keimlinge im Klimaschrank bei 23 °C und einem 16 h-Tag unter weißem Kunstlicht (ca. 1000 Lux) platziert.

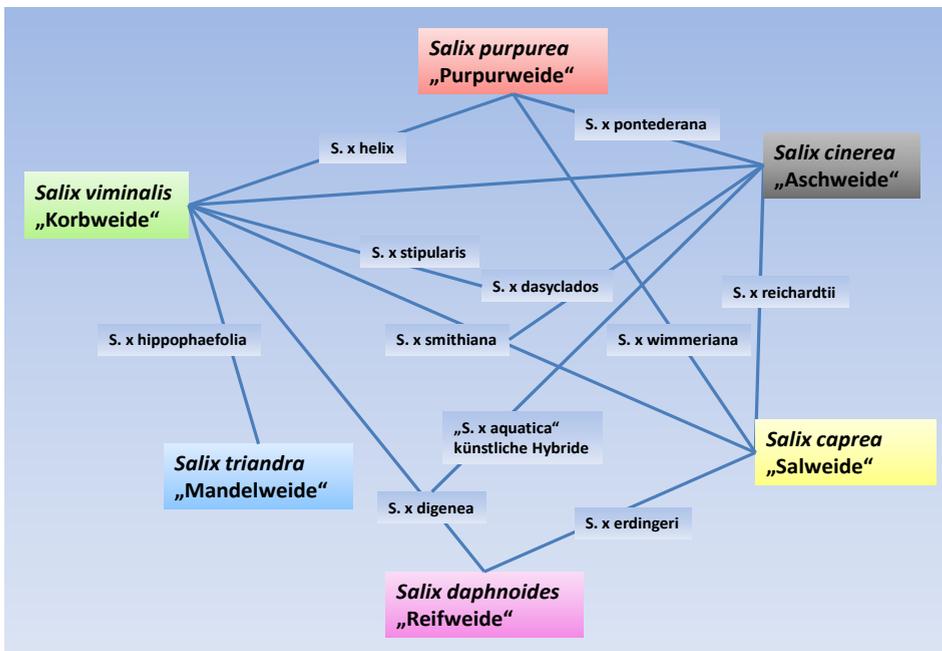


Abbildung 1: Kreuzungsschema des Jahres 2010, siehe FEHRENZ u. GEBHARDT (Posterbeitrag, in diesem Band S. 381)

Das Pikieren der Keimlinge erfolgte nach 4 bis 6 Wochen in schwach gedüngte Erde in 4 cm Jiffy-Pot-Platten. Zur Förderung der weiteren Entwicklung wurden die pikierten Sämlinge ca. 2-4 Wochen unter Sprühnebel kultiviert und nach wenigstens einmonatiger Kultivierung bei Temperaturen von $23-26\text{ °C}$ in 10 cm Biocon-

tainer getopft. Bis zum Ende der Vegetationsperiode wurden in den Jahren 2009, 2010 und 2011 jeweils mehr als 3500 getopfte Sämlinge produziert.

Eine weitere Verbesserung der Keimung kann bei weiten Kreuzungen oder nach Colchizinierung der Kreuzungspartner durch die Technik des „embryo rescues“ erfolgen (FRÜHWACHT-WILMS et al., Posterbeitrag, in diesem Band S. 386). Dabei werden befruchtete Eianlagen oder unreife Samen aus den Kapseln steril explantiert und auf künstlichen Nährböden kultiviert.

Einige intraspezifische Kreuzungen der Art *S. viminalis* sind unter Verwendung der Sorten „Zieverich, Gelbe Englische, Blaue Fränkische und Graue Freiburger Hanfweide“ im o. g. Züchtungsprojekt entstanden. Sie bestätigen schon auf der Sämlingswurzel im zweiten Vegetationsjahr die arttypische Raschwüchsigkeit.

Nachkommen der Kreuzungen von *S. × pontederana* (vmtl. Hybrid aus *S. cinerea* und *S. purpurea*) mit *S. caprea* sowie *S. × helix* und *S. × dasyclados* zeichnen sich durch relativ große Blätter aus.

Unter den Nachkommen aus freier Abblüte von Hanfweidenklonen des Salicetums Vaake konnten in Zusammenarbeit mit der AG von Frau Prof. Dr. Ziegenhagen (LS Naturschutzbiologie, Univ. Marburg) sowohl interessante interspezifische als auch intraspezifische Kreuzungen identifiziert werden. Einige zeigen neben Vorwüchsigkeit auch eine starke basale Verzweigung.

Mitosehemmende Stoffe wie Kolchizin und Oryzalin wurden, wie von FRÜHWACHT-WILMS et al. (Posterbeitrag, in diesem Band S. 382) beschrieben, zur Erzeugung von Ploidiemutanten eingesetzt. Es gelang so neben einigen Mixoploidien auch eine tetraploide *S. viminalis* zu erzeugen die in Zukunft für die Produktion triploider Sorten genutzt werden könnte. Es bleibt jedoch noch abzuwarten ob sich diese Linie nach mehrfacher Subkultivierung als stabiler tetraploider Homohistont erweist.

Einige triploide Sorten (Kreuzungsprodukte der Art *S. viminalis* mit *S. caprea* oder *S. cinerea*) entstanden spontan und sollten in Feldprüfungen weiter beobachtet werden. Der Genfluss triploider Pflanzen ist in der Regel stark eingeschränkt. Triploidie ist gleichzeitig eine natürliche Kreuzungsbarriere.

Besonders interessant und damit für Feldprüfungen empfohlen erscheinen die in Tabelle 1 beschriebenen Hybriden. Aus freien Abblüten und gelenkten Kreuzungen des Jahres 2011 stehen insgesamt 81 Nachkommenschaften zur Verfügung darunter einige Nachkommenschaften von Kreuzungspartnern, die mit Oryzalin behandelt wurden.

Tabelle 1: Selektierte Nachkommenschaften gelenkter Kreuzungen des Jahres 2010

Kreuzung Nr.	Mutter			Vater		
	Eingang- Nr.	Art	Klon	Eingang- Nr.	Art	Klon
10_100	82_55	viminalis	Mullatin	22_75	x smithiana	HJ14
10_101	722_51	viminalis	Zieverich	22_75	x smithiana	HJ14
10_72	42_69	viminalis	42_69	S_399	caprea	S_399
10_78	722_51	viminalis	Zieverich	HT_05	cinerea	HT_05
10_79	722_51	viminalis	Zieverich	35_91	daphnoides	Leuka
10_82	722_51	viminalis	Zieverich	11_75	dasyclados	HJ3
10_83	82_55	viminalis	Mullatin	11_75	dasyclados	HJ3
10_84	722_51	viminalis	Zieverich	J_01	purpurea	J_01
10_85	722_51	viminalis	Zieverich	3_92	sachalinensis	Sekka
10_87	722_51	viminalis	Zieverich	21_91	triandra	Continua
10_91	722_51	viminalis	Zieverich	NW 9-1009	viminalis	Björn
10_92	82_55	viminalis	Mullatin	NW 9-1003	viminalis	Ulv
10_93	722_51	viminalis	Zieverich	NW 9-1003	viminalis	Ulv
10_94	82_55	viminalis	Mullatin	55_90	x aquatica	Regensburg
10_95	722_51	viminalis	Zieverich	55_90	x aquatica	Regensburg
10_97	722_51	viminalis	Zieverich	57_57	x aquatica	Gigantea
10_107	81_55	x helix	Ulbrichweide	35_91	daphnoides	Leuka
10_110	81_55	x helix	Ulbrichweide	21_91	triandra	Continua
10_111	81_55	x helix	Ulbrichweide	57_57	x aquatica	Gigantea
10_114	38_69	x pontede- rana	38_69	S_399	caprea	S_399
10_116	38_69	x pontede- rana	38_69	55_90	x aquatica	Regensburg
10_121	82_64	x smithiana	Weserufer	11_75	dasyclados	HJ3
10_129	82_64	x smithiana	Weserufer	55_90	x aquatica	Regensburg
10_135	50_75	x smithiana	H1	56_90	x smithiana	Regensburg

Zur Prüfung noch nicht registrierter Sorten wurde auf der Fläche „Ballertasche“ bei Hann. Münden eine Feldprüfung in Form eines gezäunten Blockversuches mit 34 Sorten in drei Wiederholungen (N = 2448) zuzüglich Randreihen angelegt. Die schwedischen Sorten Tordis und Inger sowie die Sorte *Salix. viminalis* cv. „Zieverich“ dienen als Referenzen. Der Versuch besteht seit April 2009. Ein erster

Rückschnitt ist im Winter 2011/2012 geplant. Wichtige Parameter des Wachstums der Sorten wurden von FEHRENZ u. WEBER (in diesem Band S. 315 ff) beschrieben. Die Abbildungen 2 (Gruppe: Alba) und 3 (Gruppe: Viminalis) zeigen die Höhenwuchsleistungen der Klone nach zwei Vegetationsperioden:

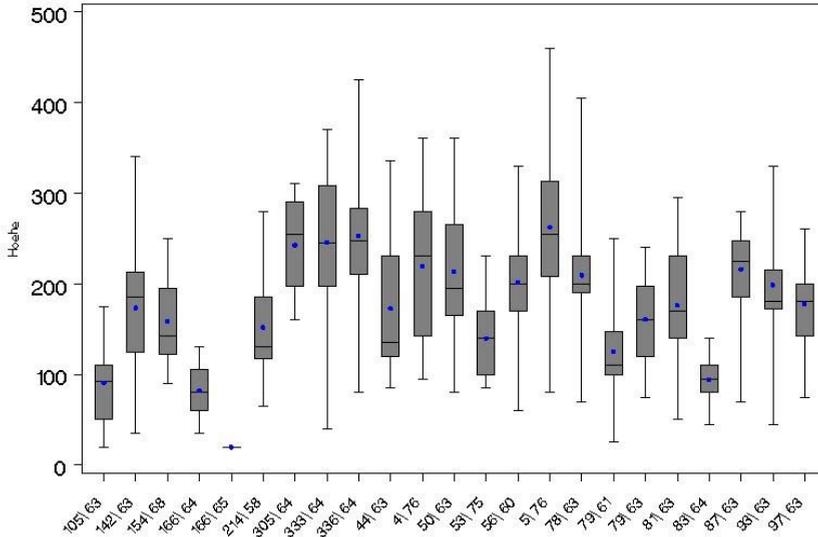


Abbildung 2: Variation des Höhenwachstums [cm] von „Alba-naben“ Klonen des Sortenversuches auf der Fläche „Ballertasche“ bei Hann. Münden nach 2 Vegetationsperioden

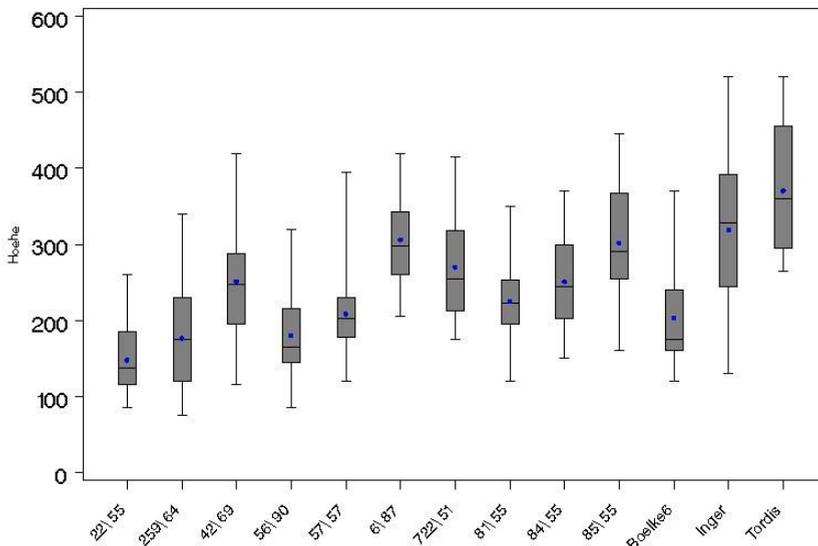


Abbildung 3: Variation des Höhenwachstums [cm] von „Viminalis-naben“ Klonen des Sortenversuches auf der Fläche „Ballertasche“ bei Hann. Münden nach 2 Vegetationsperioden

Geeignete Methoden der In-vitro-Vermehrung von Weidenklonen wurden von GEBHARDT (1992) sowie NAUJOKS u. LIESEBACH (2005) beschrieben. Für erfolgversprechende Weidensorten wurden unter Beteiligung eines kommerziellen Labors (Fa. Biotek, Baumschulen Oberdorla GmbH) Methoden der Massenvermehrung *in vitro* weiterentwickelt, um möglichst schnell die für bundesweite Feldprüfungen gewünschten Stecklingsmengen produzieren zu können. Wie FRÜHWACHT-WILMS et al. (Posterbeitrag, in diesem Band S. 382) berichten, gelingt die Mikrovermehrung mit sortenabhängig sehr unterschiedlichen Vermehrungsraten bei 25 Zuchtsorten. Ausgehend von 5 etablierten Sprossen pro Klon konnte die Fa. Baumschulen Oberdorla GmbH innerhalb eines Jahres von 8 Klonen jeweils mindestens 200 bewurzelte Pflanzen bereitstellen.

Nach Sichtung und Bewertung von bereits durchgeführten Versuchen anderer Versuchsansteller mit Weidenklonen aus Hann. Münden (BOELCKE 2006) wird für einzelne Klone mithilfe des geschützten Markenzeichens nwplus® (JANBEN et al. 2011) ein Warenschutz angestrebt.

Um ggf. die lizenzierte Vermehrung kontrollieren zu können, wurden in Zusammenarbeit mit der Universität Marburg (Arbeitsgruppe von Frau Prof. Dr. Ziegenhagen) DNA-basierte Methoden des Fingerprintings entwickelt, siehe EUSEMANN et. al. (Posterbeitrag, in diesem Band S. 374). Mit dieser Technik ist es möglich Duplikate zu identifizieren, falsche Etikettierungen aufzudecken und zu berichtigen, die vorhandene genetische Variation abzuschätzen, den Verwandtschaftsgrad zu bestimmen und bei freien Abblüten die mögliche Elternschaft zu verifizieren.

5 Züchtungsstrategien und funktionale Genomik

Wie bei den meisten Züchtungsobjekten müssen auch bei Weiden mehrere Eigenschaften gleichzeitig berücksichtigt und verbessert werden, also Ertrag, Krankheits- und Schädlingsresistenz, Wuchseigenschaften und Holzqualität (Rindenanteil, Ligningehalt etc.). Der Versuch, so unterschiedliche Eigenschaften allein mit dem Züchterauge also phänotypisch zu erfassen, ist fehlerbehaftet. Züchtungsziel muss es sein, den möglichen genetischen Gewinn auszuschöpfen und dabei den zeitlichen Aufwand zu minimieren. Gängige Selektionsverfahren sind die Mindestleistungsselektion und die Beurteilung des ökonomischen Gesamtwertes nach einem Sortenwertindex (SVAB 1976).

Nach dem Aufbau einer Basiskollektion mit Sämlingen, der mindestens zwei Jahre beansprucht, können erstmals Stechhölzer gewonnen werden. Wesentliche Merkmale, wie Bewurzelungsvermögen, Stockausschlag sowie Anzahl und Masse der Austriebe sind erst bei Verwendung von Stechhölzern aussagekräftig. Unterschiede in der Blattmasse und verschiedene Resistenzen (Mehltau, Rost etc.)

zeichnen sich oftmals schon im Sämlingsstadium oder den ersten beiden Entwicklungsjahren ab, müssen jedoch unter Feldbedingungen verifiziert werden.

Eine bewährte Strategie des Züchters ist es, wie oben beschrieben, die Eigenschaften unterschiedlicher Arten zu kombinieren und damit auch die Heterozygotie zu maximieren. Das wird ermöglicht durch interspezifische Kreuzungen oder durch Rückkreuzung. Auch die genetische Information von vier Arten lässt sich kombinieren, wenn man unterschiedliche F1-Hybriden kreuzt. Hybridwachstum setzt aber nur dann ein, wenn entsprechend der Kopplungshypothese unterschiedliche dominante, fördernde Gene aus eingekreuzten Arten/Linien mit den rezessiven Allelen im Hybriden einen heterozygoten Zustand herausbilden (KUCKUCK et al. 1985). Damit steht fest, dass dieser ideale Zustand nicht erreicht werden kann, wenn die Kreuzungspartner abnorme Chromosomensätze haben, wie das bei Weidenhybriden häufig nachgewiesen wurde (BÜCHLER 1992). Auch chromosomale Strukturveränderungen können zu Schleifenbildungen führen, sodass keine Paarung homologer Chromosomen möglich ist. Der Züchter muss daraus schließen, dass durch die Hybridisierung relativ schnell ein Zustand erreicht wird, in dem sich das Keimplasma nicht mehr verbessern lässt. Deshalb haben die Züchter immer daran gedacht, in einer langfristigen Strategie die Zuchtpopulationen auch innerartlich zu verbessern.

Dies geschieht zum einen durch Erhaltung der noch ungenutzten genetischen Diversität und zum anderen durch rekurrente Selektion indem solche Eltern für weitere Züchtungsschritte verwendet werden, deren Nachkommen die gewünschten Eigenschaften zeigen (STETTLER et al. 1996, BISOFFI u. GULLBERG 1996). Die dafür nötige Information gewinnt man über die in Abb. 4 beschriebenen Zuchtwege (GEBHARDT 1992).

Ein von TAYLOR et al. (2003) beschriebener Vergleich züchterisch relevanter Eigenschaften von schnell- und langsamwachsenden Weidenklonen bestätigte die Bedeutung sylleptischer Zweige und der Blattfläche. Die photosynthetische Aktivität und die sog. „Water use efficiency“ unterschieden sich hingegen nicht signifikant.

Inwieweit die Blattfläche in Verbindung mit der Photosyntheseaktivität, die mit Hilfe von Fluoreszenzmessungen detektiert wird, ein zuverlässiges Maß der Biomasseleistung darstellt kann nur durch entsprechende Versuchsreihen geklärt werden (WEBER u. FEHRENZ, Posterbeitrag, in diesem Band S. 372)

Amerikanische Züchter (SMART et al. 2005) setzen auf die Überlegenheit einzelner Klone aus Kreuzungsnachkommenschaften wenn sie im Vergleich zum Familienmittel der Wuchshöhen am Ende der ersten Rotationsperiode überlegen sind. Da nach THARAKAN et al. (2005) bereits ein Zuwachsgewinn von 20 % die Bereitstellungskosten um 13 % verringert, beeinflusst die züchterische Verbesserung unmittelbar den ökonomischen Erfolg.

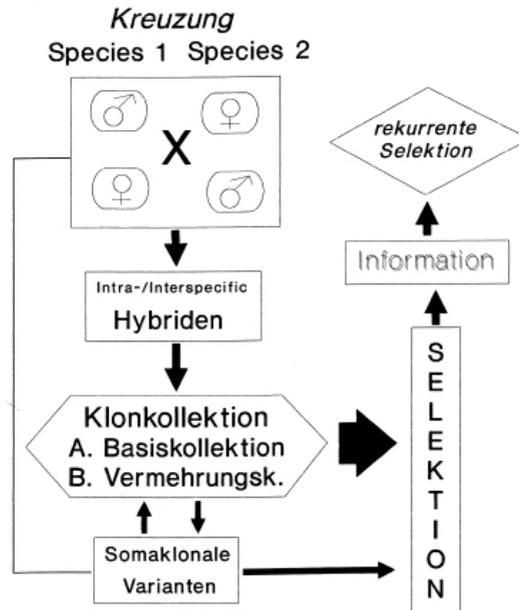


Abbildung 4: Züchtungswege zur Verbesserung der Eigenschaften von Weiden (GEBHARDT 1992)

In den Jahren 2002 - 2006 wurden bei Salicaceae QTLs identifiziert, die erhebliche Auswirkungen auf das Wachstum (TSAROUHAS et al. 2002), die Frosttoleranz und Phänologie (TSAROUHAS et al. 2004), auf Wasserhaushalt und Trockentoleranz (RÖNNBERG-WÄSTLJUNG et al. 2005, WEIH et al. 2006) haben. Die Voraussetzungen für eine Verbesserung von adaptiven Eigenschaften und Ertragsmerkmalen sind also gegeben.

Ein Kandidatengen-Ansatz wird im Rahmen des FNR-Projektes SNP-Diagnose (FKZ: 22013709) bei Pappeln und Weiden verfolgt, siehe auch PFENNIG et al. (Posterbeitrag, in diesem Band S. 379). Mit den heute entwickelten RNA- und DNA-basierten Techniken funktionaler und struktureller Genomik gelingt es die Sequenzvariabilität anpassungs- und ertragsrelevanter Gene zu bestimmen. Nukleotid-Polymorphismen, sog. SNP's (single nucleotide polymorphisms) treten mit unterschiedlicher Dichte im Genom aller Lebewesen auf und haben dann entsprechend ihrer Position in regulatorischen Einheiten oder in Exon-Regionen der Gene unterschiedliche Wirkungen auf Proteinstrukturen und den Phänotyp von Individuen oder Arten (FLADUNG 2006). Bei zahlreichen landwirtschaftlichen Kulturen (Weizen, Reis, Mais, Gerste) sind Projekte, die auf SNP-Detektion abzielen in Arbeit oder wurden bereits mit Erfolg durchgeführt (FLADUNG u. GEBHARDT 2010).

6 Neue Möglichkeiten der stofflichen Nutzung

Einzelne baumartige Weiden, die im *Salicetum Vaake* seit über 40 Jahren in 3-jährigem Turnus zurückgeschnitten wurden entwickelten dort auf sandigem Lösslehm bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,5 °C und durchschnittlich 750 mm Niederschlag (345 mm in der Vegetationszeit) in den letzten 5 Vegetationsperioden (2005 - 2010) Aufwüchse von über 10 m Höhe bei einem BHD von >14 cm, siehe Abb. 3. Dies entspricht den Wuchseleistungen wie sie auch von LATTKE (1967) für Kreuzungsnachkommen und selektierte Klone von *S. alba* L. beschrieben wurden.

Da Stammholz von Weiden ähnliche Eigenschaften wie Pappelholz aufweist sind auch die Verwertungsmöglichkeiten ähnlich vielfältig. Die Industrie wird die Verwertung allerdings erproben müssen und dann vom Rohholzangebot abhängig machen.

Für neue Techniken der verlustarmen Verwertung von Stammholz könnte sich das Stammholz von Weiden als besonders geeignet erweisen. So wurde am Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und baukonstruktives Entwerfen der TU Dresden (Prof. Dr. P. Haller) ein Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe Holz verdichtet und verformt wird. Dies erlaubt die Konstruktion von Röhren, die bei geringem Gewicht höchsten Belastungen standhalten. Im Verbund mit Carbonfasern als Hülle wird Holz so zum Hochleistungswerkstoff.

Wie ein Positionspapier der deutschen chemischen Industrie (DECHEMA, GDCh, DGMK und VCI) hervorhebt, befindet sich deren Rohstoffbasis im Wandel (GEBHARDT 2010). Biomasse als Quelle für nachwachsende Rohstoffe gewinnt zunehmend Bedeutung. Holz als „feste Biomasse“ kann in Bioraffinerien in die Bestandteile Lignin, Hemicellulose, Cellulose und Extrakte (Terpene, Fette/Öle) zerlegt werden. Hieraus werden mit chemischen oder enzymatischen Aufschlussverfahren Zucker, Fette/Öle und Veredelungsprodukte des Lignins erzeugt. Aus diesen Zwischenstufen können dann durch Fermentation sog. Plattformchemikalien wie Ethanol, Methanol, Vanillin oder Milchsäure sowie polymere Materialien wie Polyhydroxybutyrate gewonnen werden. Verbleibende Reststoffe können thermisch sowie nach Vergasung und Fischer-Tropsch-Synthese als Biodiesel oder nach Vergärung zu Biogas verwertet werden.

Am Beispiel des Ethanolts konnten BRERETON et al. (2010) zeigen, dass im Prozess der Ethanolproduktion die Biomasse der Weiden-Zuchtsorte „Bowles Hybride“ im Vergleich zu anderen Sorten einen sehr hohen Zuckergehalt erreicht. In der Flächenproduktivität erwies sich allerdings die schwedische Weide *S. viminalis* cv. Jorr (ca. 1100 l Ethanol/ha/a) als sehr viel besser.

Der in der Weidenrinde sortenabhängig hohe Gehalt von Salicin (GEBHARDT u. WEISGERBER 1996) hat als pharmazeutischer Wirkstoff Bedeutung. Salicylsäure, die aus Salicin gewonnen werden kann, erfreut sich zudem vielfältigster Verwendung als Konservierungsstoff sowie als Zusatz zu Farben und Kosmetica. Die

Nutzung der Pflanze als grüne Fabrik könnte vermutlich die nicht ungefährliche Synthese der Salicylsäure aus hochgiftigen Erdölprodukten überflüssig machen.

Bei der Vielzahl wertgebender Inhaltsstoffe und den bestehenden vielfältigen Möglichkeiten der Konversion von verholzter Biomasse ergibt sich für die Zukunft ein sehr hoher Optimierungs- und Forschungsbedarf.

Literatur

- BISOFFI, S. u. GULLBERG, U. (1996): Poplar Breeding and Selection Strategies. In: STETTLER, R.F.; BRADSHAW, H.-D. JR.; HEILMAN, P.E.; u. HINCKLEY, T.M (EDS.): Biology of *Populus* and its Implications for Management and Conservation. Ed.. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. pp. 139-158
- BOELCKE, B. (2006): Ertragspotenzial und Ertragsaufbau von Weiden spec. in Kurzumtriebsplantagen. Vortrag zur 1. Fachtagung der BMBF-Projekte DENDROM, AGROWOOD und AGROFORST (2006) „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen“, 6.-7.11.06 in Tharandt
http://www.dendrom.de/daten/downloads/06_Boelcke_Weide%20in%20KUP2.pdf
 (10.10.11)
- BRERETON N.J.B.; PITRE, F.E.; HANLEY S.J.; RAY, M.J.; KARP, A. u. MURPHY, R.J. (2010): QTL Mapping of Enzymatic Saccharification in Short Rotation Coppice Willow and Its Independence from Biomass Yield. *Bioenerg. Res.* (2010) 3:251–261
- BÜCHLER, W. (1992): A preliminary account of chromosome numbers in the *Salix*-section *Retusae*. In: Willow - Proceed. of the Royal Society of Edinburgh ed. by R. Watling and J.A. Raven; p. 235
- CAMERON, K.; ABRAHAMSON, L.; VOLK, T. u. SMART, L. (2010): Selection of pest and disease resistant, high-yielding shrub willows (*Salix* spp.) for biomass production from novel species hybrid pedigrees. Proceedings of the 8th Biennial Short Rotation Woody Crops Operations Working Group at SUNY-ESF, 18.-19. Oct. 2010, Syracuse, New York, USA
http://www.esf.edu/outreach/pd/2010/srwc/documents/CameronSelectPest_SRWCmeeting2010.pdf (10.10.11)
- CHMELAR, J. u. MEUSEL, W. (1979): Die Weiden Europas. Die neue Brehm Bücherei – Ziemsen Verlag, Wittenberg, Lutherstadt. 143 S.
- DICKMANN, D.I. u. KUZOVKINA, J. (2008): Poplars and Willows of the World, with Emphasis on Silviculturally Important Species, <http://www.fao.org/forestry/16385-0-0.pdf> (6.4.10)
- FLADUNG, M. (2006): Entwicklung von SNP-Markern in putativ anpassungsrelevanten Genen. Vorträge für Pflanzenzüchtung, Band 70, Seiten 139-146
- FLADUNG, M. u. GEBHARDT, K. (2010): Mit Smart-Breeding-Methoden neue Wege in der Forstpflanzenzüchtung gehen! *Forst und Holz* 65) (1), 37-40
- GEBHARDT, K. (1992): Grundlagen und Methoden der Züchtung pharmazeutisch wertvoller Weiden. *Die Holzzucht* 46(1-4):9-15
- GEBHARDT, K. (2010): Chemische Industrie entwickelt neue Nutzungsmöglichkeiten für Holz. *Forst und Holz* 65(3):8-9
- GEBHARDT, K. u. WEISGERBER, H. (1996): Salicin - a new objective in willow breeding. In: Proceedings of the 20th Session of the Int. Poplar Commission, Budapest, 1-4th Oct. 1996, ed. István Bach. Vol. II, 579-587
- HERBERT-NILSSON, N. (1918): Experimentelle Studien über Variabilität, Spaltung, Artbildung und Evolution in der Gattung *Salix*. *Lunds Universitets Arsskrift N.F. Avd. 2 Bd. XIV* (28): 1-145

- HÖRANDL, E.; FLORINETH, F. u. HADACEK, F. (2002): Weiden in Österreich und angrenzenden Gebieten. Eigenverlag des Arbeitsbereiches Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie, Universität für Bodenkultur Wien
- JANBEN, A.; ARNDT, H.J.; GEBHARDT, K. u. MEIER-DINKEL, A. (2011): Forstvermehrungsgut mit Mehrwert – nwplus® . AFZ-Der Wald Heft 5/2011, 6-8
- KUCKUCK, H., KOBABE, G. u. WENZEL, G. (1985) Grundzüge der Pflanzenzüchtung. Verlag Walter de Gruyter, Berlin, New York pp. 52
- LATTKE, H. (1967): Ergebnisse und Probleme züchterischer Arbeiten an Baumweiden. TAG Vol. 37:352-358
- LAUTENSCHLAGER, E. (1989): Die Weiden der Schweiz: Bestimmungsschlüssel und Artbeschreibung für die Gattung *Salix* L.. Birkhäuser Verlag Basel
- LINDEGAARD, K.N. u. BARKER, J.H.A. (1997): Breeding Willows for Biomass. In BULLARD M. J.; ELLIS, R.G.; HEATH, M.C.; KNIGHT, J.D.; LAINSBURY, M.A. u. PARKER S.R. (eds.): Aspects of Applied Biology 49, Biomass and Energy Crops. The Association of Applied Biologists. pp. 155-162
- NAUJOKS, G. u. LIESEBACH, M. (2005): Vegetative propagation of difficult-to-root *Salix caprea* L. clones for pathogenicity tests. Poster at the Workshop: ALTERNATIVE PLANTS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE. 7-9 September 2005, Poznań, Poland
- NEUMANN, A. (1981): Die Mitteleuropäischen *Salix*-Arten. Mitt. der forstl. Bundes-Versuchsanstalt Wien, 134. Österreichischer Agrarverlag Wien, 152 S.
- RECHINGER, K.H. (1958): *Salix*. In: HEGI, G. (1958): Illustrierte Flora von Mitteleuropa. Bd. 3 (1). München: 44-135
- RÖNNBERG-WÄSTLJUNG, A.C.; GLYNN, C.; WEIH, M. (2005): QTL analyses of drought tolerance and growth for *S. dasyclados* × *S. viminalis* hybrid in contrasting water regimes. Theoretical and Applied Genetics 110: 537-549
- SCHWARZE, H. u. RÖHRICHT, C. (2006): Untersuchungen zum Pappel- und Weidenanbau im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen. Vortrag zur 1. Fachtagung der BMBF-Projekte DENDROM, AGROWOOD und AGROFORST (2006) „Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen“ 6.-7.11.06 in Tharandt
http://dendrom.de/daten/downloads/19_Roehricht_Untersuchungen_zu_KUP.pdf (10.10.11)
- SMART, L.B.; VOLK, T.A.; LIN, J.; KOPP, R.F.; PHILLIPS, I.S.; CAMERON, K.D.; WHITE, E.H.; ABRAHAMSON, L.P. (2005): Genetic improvement of shrub willow (*Salix* spp.) crops for bio-energy and environmental applications in the United States. Unasylva 221, Vol. 56:51-55
- SPRINGER, S. (2007): Kreuzungsexperimente mit *Salix caprea* und *Salix cinerea*. Zulassungsarbeit im Fach Biologie an der Univ. Bayreuth.
http://www.obg.uni-bayreuth.de/de/Forschung/Stud_Abschlussarbeiten/Abschlussarbeiten/ZA_2007_Springer_Salix_Kreuzung.pdf#pdf (10.10.11)
- STETTLER, R..F.; ZSUFFA, L. u. WU, R.. (1996): The Role of Hybridisation in the Genetic Manipulation of *Populus*. In: STETTLER, R. F.; BRADSHAW, H.-D. JR.; HEILMAN, P. E. and HINCKLEY, T. M (Eds.): Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation Ed NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. pp. 139-158
- SVAB, J. (1976): Sortenwertindex. Tagungsband der Arbeitstagung der Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtler, in Gumpenstein, 153-156
- TAYLOR, G.; ROBINSON, K. u. KARP, A. (2003): Identifying physiological traits for yield in biomass willow. Research Report FES B/W6/00599/REP/2 DTI/Pub URN 03/1301 Univ. Southampton, 25 pages
- THARAKAN, P.J., VOLK, T.A., LINDSEY, C.A., ABRAHAMSON, L.P. u. WHITE, E.H. (2005): Evaluating the impact of three incentive programs on cofiring willow biomass with coal in New York State. Energy Policy, 33: 337–347
- TSAROUHAS, V.; GULLBERG, U. u. LAGERCRANTZ, U. (2002): An AFLP and RFLP linkage map and QTL mapping of growth related traits in *Salix*. Theor. Appl. Genet. 105:277-288

- TSAROUHAS, V.; GULLBERG, U. u. LAGERCRANTZ, U. (2004): Mapping of Quantitative Trait Loci (QTL) affecting autumn freezing resistance and related traits in *Salix*. *Theor. Appl. Genet.* 108: 1335-1342
- WEIH, M.; RÖNNBERG-WÄSTLJUNG, AC. u. GLYNN, C. (2006): Growth analysis and QTL patterns coincide in hybrid willow (*Salix dasyclados* × *S. viminalis*) grown under two water regimes. *New Phytologist* 170: 467-477.
- WEGER, J.; VLASÁK, P.; ZÁNOVÁ, I. u. HAVLÍČKOVÁ, K. (2005): The results of the evaluation of selected willow and poplar clones for short rotation coppice (SRC) in second harvesting period in conditions of the Czech Republic. 14th European Conference & Exhibition Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Paris, ETA Florence and WIP-Munich, pp. 465-468
- WEGER, J. u. HAVLÍČKOVÁ, K. (2009): The evaluation of selected willow and poplar clones for short rotation coppice (SRC) after three harvests. *Proceed. 17th European Biomass Conference & Exhibition, CCH-Congress Center Hamburg, 29.06-03.07.09* (pers. communication from weger@vukoz.cz)
- WICHURA, M. (1865): Bastardbefruchtung im Pflanzenreich erläutert an den Bastarden der Weiden. Breslau
- ZANDER, M.; ENDTMANN, K. J. u. SCHRÖTER, B. (1995): *Salix*: Untersuchungen an ausgewählten Sippen des NO-deutschen Tieflandes - Taxonomie, Soziologie, Verbreitung und Isoenzymanalysen. In: KLEINSCHMIT, J., BEGEMANN, F.; HAMMER, K (Hrsg.): Tagungsband zum Symposium „Erhaltung pflanzengenetischer Ressourcen in der Land- und Forstwirtschaft“, Band 1 Waldbäume und Sträucher. Witztenhausen, 9.-11.11.1994, S. 168-183
- ZHENFU, F.; SHIDONG, Z. u. SKVORTSOV, A.K. (1999): Saliceae. In: ZHENGJI, W.u. RAVEN, P.H. (eds.): *Flora of China*. St. Louis, USA: Missouri Botanical Garden Press. p. 139-274.

Korrespondierender Autor:

Dr. Karl Gebhardt

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Abteilung Waldgenressourcen

Prof.-Oelkers-Straße 6

34346 Hann. Münden

E-Mail: karl.gebhardt@nw-fva.de

URL: www.nw-fva.de, www.weidenzuechtung.de

Züchtung von Aspen für den Kurzumtrieb

Aspen improvement for short rotation coppice

Mirko Liesebach, Volker Schneck und Heino Wolf

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 kommen sie mit Stresssituationen besser zu recht und sind weniger anfällig gegenüber Krankheiten. Außerdem tolerieren sie eine größere Standortbreite, d. h. sie gedeihen auch noch auf sandigen nährstoffarmen Böden in den subkontinentalen Klimabereichen Deutschlands.

Bereits in den 1930er Jahren setzten erste züchterische Arbeiten nach dem Auffinden triploider Aspen ein. Die Aspenzüchtung stützte sich dabei auf die Selektion von Plusbäumen, ihre gelenkte Kreuzung und anschließende Nachkommenschaftsprüfungen. Auf die Anlage systematischer Herkunftsversuche wurde bislang verzichtet. Seit den 1980er Jahren begann man die Aspen auch hinsichtlich ihrer Eignung im Kurzumtrieb zu prüfen. Während es früher um die Verbesserung der Wüchsigkeit, der Stammform und um Resistenz gegenüber Stammkrankheiten ging, verschoben sich die Zuchtziele für den Anbau im

Kurzumtrieb hin zu Resistenz gegenüber Blattkrankheiten, gutem Regenerationsvermögen und weiterhin hoher Biomasseproduktion.

In entsprechenden Versuchen produzierte die Aspen im 10-jährigen Umtrieb um 10 t_{atro}/Jahr und Hektar an oberirdischer Holzbiomasse. Dabei schnitten die Hybridaspen aus Europäischer und Amerikanischer Aspe meist besser ab als die Nachkommenschaften der rein Europäischen Aspen. Unter den Nachkommenschaften der reinen Europäischen Aspen sind die mit Müttern aus Sachsen im Wuchs den interspezifischen Hybriden vergleichbar. Durch die Erhöhung der Umtriebszeit auf landwirtschaftlichen Flächen von 10 auf 20 Jahre lässt sich der Holzbiomassertrag noch steigern.

Derzeit gibt es in Deutschland 21 Klone, 7 Klonmischungen und 6 Familieneltern der Sektion *Populus*, die als geprüftes Vermehrungsgut nach dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) zugelassen sind. Bislang war jedoch nur wenig Vermehrungsgut am Markt verfügbar, da die Familieneltern nicht blühten oder die Klone mangels Nachfrage nicht vermehrt wurden.

In der endenden ersten Förderperiode von FastWOOD wurden die zwischenzeitlich zurückgefahrenen Kreuzungsprogramme wieder aufgenommen und mit den noch vorhandenen Elternbäumen neue Kreuzungskombinationen durchgeführt. Mit den erzeugten Nachkommenschaften sind neue Prüferien im Feld angelegt worden. In der folgenden Förderperiode werden die Kreuzungen fortgeführt. Dabei sollen zusätzlich zu den in Sammlungen stehenden Elternbäumen auch in Versuchen bewährte Bäume als Kreuzungspartner Berücksichtigung finden.

Stichworte: Hybridaspe, *Populus*, Kreuzungsprogramm, Holzbiomasse, FoVG, KUP

Abstract

Aspen or trembling aspens (*Populus tremula*, *P. tremuloides*), like silver poplar (*P. alba*) and other Asian and North American species, belong to the section *Populus* (white and trembling poplars). The growth pattern of poplars in this section diverges from black poplar and balsam poplar in that the growth parameters culminate somewhat later. Thus they cope better with stress events and are less susceptible to disease. Furthermore they tolerate a broader site spectrum; i.e. they can also grow on sandy nutrient-poor soils in the subcontinental climatic regions in Germany.

The first genetic improvement studies began in the 1930s after the discovery of triploid aspen. Aspen breeding trials were based on the selection of plus trees, the controlled crossbreeding of those trees and finally progeny trials. So far systematic provenance trials have not been established. Since the 1980s, tests of aspen as a potential short rotation coppice species have been conducted. Whereas, earlier genetic improvement trials focussed on improvement of vigour, stem form and

resistance to stem diseases, now the goals are directed more towards production potential as short rotation coppice, resistance to leaf diseases, good regeneration capacity as well as high biomass productivity.

In corresponding trials aspen produces about 10 dry Mg ha⁻¹ year⁻¹ of above-ground biomass in a 10-year rotation period. In these trials, hybrid aspen from European and American aspen were more productive than progenies of pure European aspen. Of the pure European aspen progenies, the growth of those with mother trees from Saxony is comparable to the inter-species hybrids. By increasing rotation period on agricultural land from 10 to 20 years, the wood biomass yield can be increased.

In Germany to date, there are 21 clones, 7 clone mixtures and 6 parent trees from the section *Populus* whose reproductive material has been approved under the Forest Reproductive Material Act. So far, however, only limited reproductive material has been available commercially because either the parent trees do not flower or limited demand has curbed clone reproduction activity.

Towards the end of the development phase of FastWOOD, the crossbreeding programme that, in the meantime, had been wound down, was resumed, and new crossbreeding combinations were carried out with the parent trees. With the resulting progeny, new trial series were set up in the field. In the subsequent phase, crossbreeding was continued whereby, in addition to the collection of parent tree stock, those trees identified in trials as having potential from crossbreeding should also be included.

Keywords: Hybrid aspen, *Populus*, breeding program, biomass, FRM Act, SRC

1 Einleitung

Die weltweit gestiegene Nachfrage nach Energie und Rohstoffen führte in den vergangenen Jahren zu dem vermehrten Anbau von schnellwachsenden Baumarten. Für die Landwirtschaft gilt der Anbau von schnellwachsenden Baumarten als eine Produktionsalternative, die aus Sicht des Umweltschutzes allgemein positiv bewertet wird, da sie eine extensive Landnutzungsform darstellt (LIESEBACH 2006; BIELEFELDT et al. 2008).

Im Vergleich zu Schwarz- und Balsam-Pappeln stellen Zitter-Pappeln die geringsten Ansprüche an Klima und Boden und sind nicht so anfällig gegenüber Krankheiten. Daher eignen sich Zitter-Pappeln auch für eine Bewirtschaftung im Kurzumtrieb auf leichten, nährstoffärmeren Standorten. Als Pionierbaumart zeichnen sich Zitter-Pappeln durch rasches Jugendwachstum aus. Außerdem besitzen sie ein hohes Stockausschlagvermögen und bilden Wurzelbrut. Zugelassenes, geeignetes Vermehrungsgut ist jedoch kaum verfügbar.

2 Die Arten der Sektion *Populus* (Weiß- und Zitter-Pappeln)

Aspen, Espen 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 im Vergleich zu den Sektionen *Aigeiros* (Schwarz-Pappeln) und *Tacamahaca* (Balsam-Pappeln) die größte Standortamplitude und einen abweichenden Wuchsrhythmus, so kulminieren die Wachstumsparameter der Zitter-Pappeln etwas später. Dafür kommen sie mit Stresssituationen besser zu recht und sind weniger anfällig gegenüber Krankheiten. Außerdem tolerieren sie eine größere Standortbreite, d. h. sie gedeihen auch noch auf sandigen nährstoffarmen Böden im subkontinentalen Klima Deutschlands.

2.1 *Populus tremula* L.

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Europäischen Aspe (*P. tremula*) erstreckt sich über fast ganz Europa, Sibirien, Kleinasien, die Mongolei und China sowie Nordafrika. Die Art bildet im Norden die Waldgrenze und wächst im Süden in Steppen, Halbwüsten und auf sumpfigen Standorten (TAMM 2001). Um entsprechende Massenleistung zu bringen, sind für den Anbau von *P. tremula* frische, wenigstens mittelgründige, nährstoffreiche und lockere, lehmige Sandstandorte oder sandige Lehmböden erforderlich (MARCET 1964; TAMM 2001). *P. tremula* kommt auch auf Standorten mit bewegtem Grundwasser und sogar auf sehr feuchten oder gar zeitweise überschwemmten Standorten zurecht. Anmoorige Standorte oder solche mit stagnierendem, hoch anstehendem Grundwasser sind ungeeignet. Die Wurzeln sind gegen schlechte Bodenbelüftung empfindlich. Die Europäische Aspe wächst auch auf nährstoffärmeren, trockenen Sand- und Kiesböden, dichten Lehmböden und Extremstandorten (z. B. Industriebrachen).

2.2 *Populus tremuloides* Michx.

Die Amerikanische Aspe verfügt über das größte Areal aller nordamerikanischen Baumarten. Im Norden reicht das natürliche Verbreitungsgebiet in Kanada von Neufundland und Labrador über den südlichen Rand der Neufundlandbucht bis nach Alaska, wo der 68. Breitengrad die Verbreitungsgrenze bildet. Im Osten der USA bilden die Staaten der Großen Seen die südliche Verbreitungsgrenze. Im Westen der USA erstreckt sich das Verbreitungsgebiet auf die Rocky Mountains bis nach New-Mexiko (GEBUREK 1994). Die Ansprüche an die klimatischen Gegebenheiten der Amerikanischen Aspe sind sehr gering (WEISGERBER 1975). Auch hinsichtlich des Bodensubstrats ist sie sehr genügsam. Beste Wuchsergebnisse werden auf verhältnismäßig tiefgründigen Böden mit hohem Lehmanteil und guter Wasserverfügbarkeit erzielt. *P. tremuloides* wächst aber auch auf flachgründigen Substrat, nährstoffärmeren Sanden und schweren tonhaltigen, staunassen Böden.

Auf Standorten mit ungünstiger Wasserversorgung reagiert die Amerikanische Aspe durch langsames Wachstum. Die besten Wuchsleistungen beobachtete WEISGERBER (1975) in den kontinental beeinflussten Präriestaaten.

2.3 *Populus grandidentata* Michx.

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Großzahnigen Pappel deckt sich weitgehend mit dem östlichen Vorkommen von *P. tremuloides*, wobei *P. grandidentata* nicht so weit nach Norden vordringt (LAIDLAY 1990). Beide Zitter-Pappeln sind häufig auf gleichen Standorten vergesellschaftet, hybridisieren durch unterschiedliche Blühtermine jedoch selten. *P. grandidentata* bevorzugt gut durchlüftete, verhältnismäßig leichte Böden mit großem Porenvolumen (WEISGERBER 1975). Dicht gelagerte Böden werden gemieden. Erheblich geringere Wuchsleistungen sind auf nährstoffarmen, schlecht wasserversorgten Böden anzutreffen.

2.4 *Populus sieboldii* Miq.

P. sieboldii kommt in Japan und Korea natürlich vor (ECKENWALDER 1996). Sie wird von SCHENCK (1939) als eine Art beschrieben, für die keine Erfahrungen zum Anbau in Deutschland vorliegen. Diese Art könnte als Kreuzungspartner durchaus geeignet sein.

2.5 *Populus gamblei* Haines, *Populus adenopoda* Maxim.

P. adenopoda und *P. gamblei* sind zwei Zitter-Pappelarten, die auf dem asiatischen Kontinent ihr natürliches Verbreitungsgebiet haben. *P. adenopoda* kommt im mittleren China in Höhen von 300 bis 2500 m ü. NN vor (SHU 1999), während *P. gamblei* im Himalaya-Gebiet anzutreffen ist (ECKENWALDER 1996). *P. adenopoda* könnte künftig als Kreuzungspartner geeignet sein.

2.6 *Populus guzmananantlensis* Vásques & Cuevas, *P. monticola* Bradegee, *P. simaroa* Rzed.

Diese drei Arten der Sektion *Populus* kommen in Mexiko natürlich vor (ECKENWALDER 1996). Alle drei Arten dürften wegen der Klimabedingungen im Verbreitungsgebiet bei uns Probleme haben und scheiden daher als Kreuzungspartner aus.

2.7 *Populus alba* L.

Die Silber-Pappel ist eine Art, die überwiegend im mediterranen Süd-Eurasien verbreitet ist (DIMITRI u. HALUPA 2001). Sie wächst im Flachland und kommt bis in Höhenlagen von 300 ü. NN vor. Im Habitus und im Wuchsverhalten weist sie eine hohe intraspezifische Varianz auf. Es ist eine raschwüchsige Art, die Trocken-

heit sowie kalte Winter und heiße Sommer verträgt. Die Silber-Pappel stellt relativ hohe Ansprüche an die Nährstoffversorgung, während die an den Wassergehalt des Bodens geringer sind. Sie toleriert stärkere Schwankungen in der Wasserversorgung (DIMITRI u. HALUPA 2001). Gute Leistung erbringt sie auf gut mit Wasser und Nährstoffen versorgten Standorten.

2.8 Arthybriden der Sektion *Populus*

Zu den bekanntesten natürlichen Arthybriden innerhalb der Sektion *Populus* zählt die Grau-Pappel ($P. \times canescens = P. alba \times P. tremula$). Wesentlich seltener sind natürliche Hybriden zwischen den beiden in Nordamerika vorkommenden Arten *P. grandidentata* und *P. tremuloides*, die auch als $P. \times smithii$ bezeichnet werden. $P. \times tomentosa$ ist die in Asien auftretende Hybride aus *P. alba* und *P. adenopoda* (BÖHLMANN 2009). In Abbildung 1 sind die Arthybriden innerhalb der Sektion *Populus* zusammengestellt (GEBUREK 1994, WEISGERBER et al. 1995, ECKENWALDER 1996, DICKMANN 2001). Die in der Abbildung 1 als $P. \times wettsteinii$ bezeichnete Hybride zwischen *P. tremula* und *P. tremuloides* wird in Schweden auch als „Hybridaspes“ bezeichnet (JOHNSON 1976). In BÖHLMANN (2009) wird die Hybride aus *P. alba* und *P. grandidentata* als $P. \times rouleaniana$ bezeichnet. Die natürlich vorkommende Hybride aus *P. tremula* (in China u. a. zur Abgrenzung von eingeführten Europäischen Aspen auch als *P. davidiana* bezeichnet) und $P. \times tomentosa$ wird in der Flora of China (SHU 1999) als $P. \times hopeiensis$ bezeichnet.

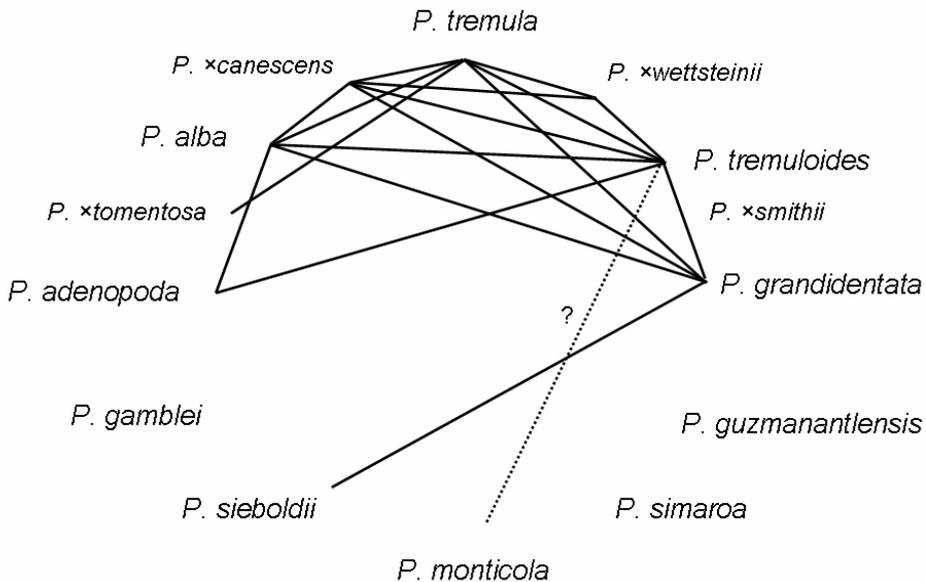


Abbildung 1: Arten der Sektion *Populus* und deren Hybridisierung

3 Geschichtlicher Abriss der Aspenzüchtung

Bereits in den 1930er Jahren setzten erste züchterische Selektionen nach dem Auffinden triploider Aspen ein. Vor dem 2. Weltkrieg kreuzte VON WETTSTEIN erfolgreich Arten der Sektion *Populus* in Müncheberg. Er erzeugte raschwüchsige Hybriden aus *P. tremula* und *P. alba* sowie *P. tremula* und den amerikanischen Aspen *P. tremuloides* bzw. *P. grandidentata* (WETTSTEIN-WESTERSHEIM 1933, SCHÖNBACH 1957). Auch in Schweden wurden sog. „Hybrid Aspen“ durch Kreuzen von *P. tremula* mit *P. tremuloides* erzeugt, die zum Teil mehr als den 10-fachen Volumenzuwachs als die reinen *P. tremula* hatten. Unter den klimatischen Bedingungen im südlichen Ontario ergaben Kreuzungen zwischen *P. tremuloides* und männlicher *P. tremula* dagegen keine wüchsigen Nachkommenschaften (HEIBERG 1953).

Am häufigsten wurde die Kombination von *P. alba* und *P. tremula* bzw. reziproke Kreuzung durchgeführt. VON WETTSTEIN berichtet, dass diese Hybriden im Vergleich mit den Elternarten etwa 30 % Mehrleistung erbrachten (WETTSTEIN-WESTERSHEIM 1933, SCHÖNBACH 1957). Die Nachkommenschaften dieser Kombinationen hatten jedoch einen hohen Anteil verzweigter Pflanzen (SCHÖNBACH 1957, 1960). In den Niederlanden und in Kanada erzielte man auch gute Erfolge mit Hybriden aus *P. alba* und *P. tremuloides* bzw. *P. grandidentata*.

Über reine *P. tremula*-Kreuzungen wurde bis dato wenig berichtet. Seit 1950 wurden daher Kreuzungen innerhalb von *P. tremula* in Graupa und Waldsiedersdorf vermehrt durchgeführt. Die Kreuzungspartner stammten dabei überwiegend aus ostdeutschen Vorkommen mit einem Schwerpunkt im sächsischen Hügel- und Bergland (SCHÖNBACH u. SCHOLZ 1972, SCHNECK 1985, WOLF u. BRANDT 1995). Das Einkreuzen von osteuropäischen Herkünften erschien wünschenswert, jedoch bereitete die Beschaffung von Ausgangsmaterial Schwierigkeiten. Aspen skandinavischer Herkunft erwiesen sich als Kreuzungspartner weniger erfolgversprechend (SCHÖNBACH 1957). Ziel der Züchtungsarbeiten war die Erhöhung des Holzertrags bei gleichzeitiger Verbesserung der Holzeigenschaften. Besonderer Wert wurde auf Vitalität und Widerstandsfähigkeit sowie Stammformigenschaften und geringe Astigkeit der Nachkommenschaften gelegt (z. B. SCHÖNBACH 1960, SCHMIEDEL 1982). Eine besondere Rolle spielte die Prüfung der Aspenvorkommen auf ihre Eignung für die Vorwaldbegründung auf von SO₂ geschädigten Waldflächen (SCHMIEDEL 1985).

In Großhansdorf beschäftigte man sich seit 1948 mit der Züchtung von verschiedenen Pappelarten und konzentrierte die Pappelforschung Mitte der 1970er Jahre auf die Aspen (z. B. MELCHIOR u. SEITZ 1966, MOHRDIEK 1979, GALLO 1991, s. auch Zusammenstellungen in MUHS 1998 und WÜHLISCH 2006). In der zweiten Hälfte der 1980er Jahre wurden zwei Hybrid Aspen-Nachkommenschaften und eine Klonmischung des Instituts als geprüftes Vermehrungsgut für den Handel zugelassen. Die Zulassung der Klonmischung war vorläufig und ist erloschen. In den 1990er Jahren wurden Aspen in Deutschland gentechnisch

verändert und 1996 der erste Freisetzungsversuch Deutschlands angelegt (FLADUNG u. MUHS 1999).

Die umfangreichste Pappelzüchtung erfolgte zeitgleich in Hann. Münden (z. B. WEISGERBER 1976). Hier wurden der triploide Klon *Austria* und 14 weitere Klone sowie 4 Klonmischungen mit reiner *P. tremula* bzw. mit „Hybridaspens“ für den Handel zugelassen.

Anders als in Deutschland erfolgte in Schweden und Dänemark bereits in den 1950er Jahren eine kommerzielle Umsetzung der Ergebnisse mit der Hybridaspensproduktion (JOACHIM 1991, 2007).

4 Züchtungskonzept in der Sektion *Populus*

Die Aspenzüchtung stützt sich auf die Selektion von Plusbäumen, ihre gelenkte Kreuzung und anschließende Nachkommenschaftsprüfungen. Auf die Anlage systematischer Herkunftsversuche wurde bislang verzichtet. Das im Rahmen des Projektes FastWOOD weiterentwickelte Konzept zur Kreuzungszüchtung für Pappeln der Sektion *Populus* ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Das Ausgangsmaterial wird im Schema als Wildbestände bezeichnet. Hierunter sind neben Wildpopulationen auch die alten Versuchsflächen und die Sammlungen zu verstehen.

Bei der Züchtung von Pappeln für den Anbau im Wald bzw. generell zur Produktion von Stammholz stehen als Prüfungskriterien Wuchsleistung, Geradschaftigkeit, Resistenz gegen Stammkrankheiten, geringe Astigkeit und gute Holzqualität im Vordergrund. Bei Pappeln für den Kurzumtrieb kommen weitere Zuchtziele hinzu. Diese sind Regenerationsvermögen, d. h. Stockausschlagfähigkeit bzw. Wurzelbrut, Dichtstandstoleranz, Lebensdauer der Wurzelstöcke und Resistenz gegenüber Blattkrankheiten. Auf der anderen Seite sind qualitative Merkmale wie Astigkeit und Geradschaftigkeit sowie Holzeigenschaften nicht mehr so wichtig (WOLF et al. 2010). Weiterhin ist Standortstoleranz (Trockenheitstoleranz) von zunehmender Bedeutung, insbesondere wenn ein Anbau auf Grenzertragsstandorten in subkontinentalen Klimabereichen Deutschlands angestrebt wird.

Da sich die Aspe aber auch sehr gut für mittelfristigen Umtrieb, verbunden mit einer stofflichen Nutzung, eignet und die Zuchtprogramme der Vergangenheit bei dieser Baumart gerade diesen Verwendungszweck zum Ziel hatten, kann die Qualität (Stammform, Kronenaufbau, Holzeigenschaften) nicht gänzlich vernachlässigt werden.

Nachkommenschaften lassen sich mittels Kreuzungszüchtung herstellen. Wenn Elternbäume selektiert sind, kann, eine Blüte vorausgesetzt, im ausklingenden Winter sofort gekreuzt werden. Mit einjährigen Pflanzen der erzeugten Nachkommenschaften lassen sich Versuche zur Nachkommenschaftsprüfung anlegen und nach 10 Jahren kann im Idealfall ein Zulassungsantrag als geprüftes Vermeh-

rungsgut gestellt werden. Die zugelassene Nachkommenschaft kann direkt angebaut werden oder, wenn keine Unverträglichkeiten vorliegen, auch in Mischung mit weiteren Nachkommenschaften. Letzteres erhöht die Vielfalt und lässt ein besseres Anpassungsvermögen erwarten (GROSSKURTH 1972). Zwischen der Zulassung und der Bereitstellung von Vermehrungsgut am Markt können durchaus weitere 15 Jahre vergehen. Denn nach erfolgreicher Zulassung sind die Elternbäume zu vermehren, mit denen entweder eine Samenplantage angelegt wird, oder die so aufgepflanzt werden, dass bei einer Blüte über einen längeren Zeitraum Reiser geschnitten werden können, die im Gewächshaus künstlich bestäubt werden. Um Zeit zu sparen, können bereits bei der Anlage der Vollgeschwister-Nachkommenschaftsprüfung die Elternbäume verklont werden. Von Nachteil bei diesem Vorgehen ist, dass die Pflanzen zu verwerfen sind, wenn das Ergebnis zu keiner Zulassung führt.

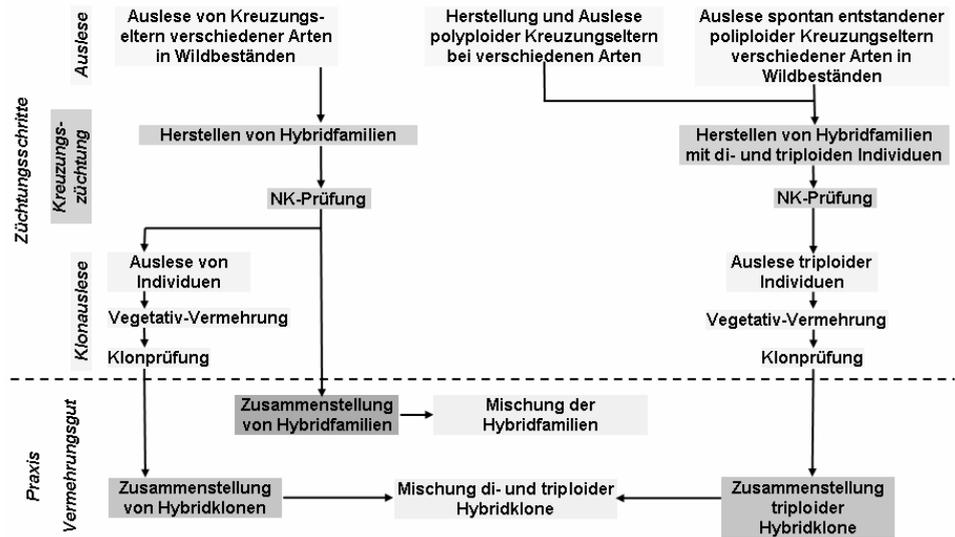


Abbildung 2: Züchtungskonzept Sektion Populus

In der Folge können in den Nachkommenschaften auch die besten Individuen ausgewählt und verklont werden. Hierbei ist Voraussetzung, dass sich die selektierten Phänotypen vegetativ vermehren lassen, was bei Pappeln der Sektion *Populus* nicht immer gegeben ist. Entsprechende Verfahren der vegetativen Vermehrung von Aspen mittels Gewebekulturtechniken wurden bereits vor mehr als 20 Jahren entwickelt (AHUJA 1984, NAUJOKS et al. 1987). Wie bei den Vollgeschwistern ist auch bei den Klonen vor deren Vermarktung eine Prüfung erforderlich. Eine Klonprüfung dauert ebenfalls 10 Jahre. Nach erfolgreicher Klonprüfung können nach etwa 5 Jahren Pflanzen für den Markt bereitstehen. Diese Klone können einzeln oder besser, um das Risiko durch biotischen und abiotischen Schädigungen zu

minimieren, als Mischung zur Anlage einer Kurzumtriebsplantage genutzt werden. Ergebnisse von Untersuchungen zur abiotischen Resistenz stellen SCHILDBACH et al. in diesem Band (S. 237 ff.) vor.

Eine weitere Möglichkeit, wüchsige Aspen zu erzeugen, ist die Herstellung triploider Individuen. Hier besteht die Möglichkeit, Mutanten in Wildbeständen, in Nachkommenschaften, in Versuchsflächen oder Sammlungen zu selektieren oder durch gelenkte Kreuzungen herzustellen. In den Nachkommenschaften dieser gelenkten Kreuzungen können die wüchsigsten Individuen selektiert, verklont und geprüft werden. Diese Verfahren sind bei EWALD et al. (in diesem Band S. 181 ff.) erläutert.

5 Ergebnisse von Nachkommenschaftsprüfungen im Kurzumtrieb

Die ältesten für die Bewirtschaftung im Kurzumtrieb angelegten Nachkommenschaftsprüfungen mit Aspen wurden am Abbachhof/Bayern und wenige Jahre später in Canstein/Hessen etabliert (LIESEBACH et al. 1999a, b). Die Versuchsplantage am Abbachhof wurde auf einer Teilfläche im 5-jährigen Umtrieb bewirtschaftet. Von hier liegen einmalig von 3 Rotationen Biomasserträge vor. Ein weiterer Teil des Versuchs wurde erstmals nach 10 Jahren beerntet, wie auch die Fläche Canstein. Auf dem Flächenteil im Abbachhof erfolgte zusätzlich eine 2. Beerntung nach 5 Jahren.

Im 10-jährigen Umtrieb waren die Hybridaspen den reinen Arten von *P. tremula* bzw. *P. tremuloides* in der Biomasseproduktion im Mittel überlegen (s. Tab. 1). Auf der Fläche Abbachhof wurden in je drei Pflanzverbänden 6 Nachkommenschaften getestet: 3 *P. tremula* × *P. tremuloides*-Nachkommenschaften, 1 *P. tremuloides* × *P. tremula* und je 1 reine *P. tremula*-Nachkommenschaft bzw. *P. tremuloides*-Nachkommenschaften. Auf der KUP Canstein wurden 14 Nachkommenschaften in einem Pflanzverband geprüft: 4 reine *P. tremula*-Nachkommenschaften, 8 *P. tremula* × *P. tremuloides*-Nachkommenschaft sowie je 1 *P. tremuloides* × *P. tremula*-Nachkommenschaft bzw. *P. tremuloides*-Nachkommenschaft. Auf der Fläche Canstein erreichten im Alter von 10 Jahren die reinen *P. tremula*-Nachkommenschaften eine mittlere Höhe 11,7 m (mittlerer BHD 7,7 cm), die *P. tremula* × *P. tremuloides*-Nachkommenschaften 12,6 m (BHD: 9,1 cm), die *P. tremuloides* × *P. tremula*-Nachkommenschaft 13,9 m (BHD: 9,0 cm) und die *P. tremuloides*-Nachkommenschaft 12,4 m (BHD: 8,1 cm). Bei der Anlage der Fläche Methau II in Sachsen wurde auf am Markt vorhandenes Pflanzenmaterial zurückgegriffen. Daher waren hier lediglich zwei Nachkommenschaften im Weitverband (1.670 Pfl./ha) angebaut.

Tabelle 1: Biomasseerträge [$t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] der Nachkommenschaften nach 10 Jahren (Mittel bzw. Min. .. Mittel .. Max.) und Ausgangspflanzenzahl auf den KUP Abbachhof und Canstein (LIESEBACH et al. 2000) sowie Methau II

KUP	Abbachhof		Canstein	Methau II
Pflanzen/ha	5.555	4.167	4.167	1.670
P. ta x P. ta	2,9	1,7	2,9 .. 4,9 .. 6,4	5,9
P. ta x P. ts	9,5 .. 10,3 .. 11,2	6,0 .. 6,8 .. 7,6	7,3 .. 8,2 .. 9,5	6,3
P. ts x P. ta	7,8	5,9	7,9	-
P. ts x P. ts	4,3	2,9	6,1	-

Von der Fläche Abbachhof liegen erstmals Biomasseerträge über drei 5-jährige Rotationen vor. Es zeigte sich, dass die 6 geprüften Nachkommenschaften alle über ein gutes Regenerationsvermögen (Stockausschläge und Wurzelbrut) verfügen. Der Biomasseertrag für die einzelnen Kreuzungskombinationen ist von der 1. bis zur 3. Rotation angestiegen (s. Tab. 2). Da die Fläche anschließend wieder in Ackerland umgewandelt wurde, liegen keine Angaben über die Lebensfähigkeit der Wurzelstöcke bzw. des Wurzelsystems vor.

Tabelle 2: Biomasseerträge [$t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$] der Nachkommenschaften (Zähler: Minimum-Maximum; Nenner: Mittel) auf den KUP Abbachhof (8.333 Pflanzen/ha) in drei 5-jährigen Umtrieben und von der Fläche Dägeling (4.132 Pflanzen/ha) nach 5 Jahren (1. Umtrieb) und 2 Jahren (2. Umtrieb) sowie die Ausgangspflanzenzahl (LIESEBACH et al. 2000, BÜTOW 2009, LIESEBACH u. BÜTOW, Posterbeitrag, in diesem Band S. 345)

KUP	Abbachhof		Dägeling	
	1. / 2. / 3. Umtrieb [$t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$]	NK [Anzahl]	1. / 2. Umtrieb [$t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$]	NK [Anzahl]
P. ta x P. ta	1,4 / 3,6 / 7,2	1	<u>0,8-3,3 / 2,6-5,4</u> 1,7 / 3,9	12
P. ta x P. ts	<u>4,4-6,6 / 6,0-8,2 / 7,4-16,6</u> 5,2 / 7,0 / 11,8	3	<u>1,3-7,0 / 5,3-9,0</u> 4,0 / 6,6	15
P. ts x P. ta	3,2 / 5,4 / 7,4	1	-	-
P. ts x P. ts	3,4 / 4,0 / 6,4	1	-	-

Im Rahmen des FastWOOD-Projektes wurde die Nachkommenschaftsprüfung Dägeling mit Aspe vorzeitig geerntet, um Biomasseertragsdaten und Informationen zum Regenerationsvermögen weiterer Nachkommenschaften zu erhalten. Nach 5 Standjahren übertraf die Biomasseleistung der Aspenhybriden die der reinen *P. tremula*-NK im Mittel um 158 % (s. Tab. 2). Im Gegensatz zu den

Pappeln der Sektionen *Aigeiros* und *Tacamabaca* bilden die Pappeln der Sektion *Populus* Wurzelbrut. Dieses ist bei der zweiten und folgenden Beerntungen zu beachten, da der Reihenverband nicht mehr gegeben ist. Da hierfür andere Ernte-technik eingesetzt werden kann, wurde eine Wiederholung nach weiteren zwei Jahren geerntet (LIESEBACH u. BÜTOW, in diesem Band S. 345). Die Biomasserträge sind in Tabelle 2 enthalten. Eine weitere Wiederholung soll nach drei Jahren und die dritte nach fünf Jahren geerntet werden.

Im Projekt FastWOOD (Laufzeit: 01.10.2008 - 30.09.2011) wurde ein neues Kreuzungsprogramm mit Aspe aufgelegt und mit den noch vorhandenen Elternbäumen neue Kreuzungskombinationen ausgeführt. Dabei wurden am vTI drei Kreuzungsserien realisiert.

Die Kreuzungspartner wurden in den noch bestehenden Sammlungen, älteren Versuchen und Wildbeständen ausgewählt. Teilweise konnte auf bereits vorhandene Erkenntnisse über die Kombinationseignung zurückgegriffen werden. Inwieweit diese Bäume in das Kreuzungsprogramm einbezogen werden konnten, richtete sich nach der Blüte im jeweiligen Jahr. Zum Bestäuben wurde zusätzlich eingelagerter Pollen eingesetzt. In den drei Jahren sind je Jahr zwischen 8 und 13 Klone als weiblicher Eltern an den in die Prüfungen eingegangenen Nachkommen-schaften beteiligt gewesen (s. Tab. 3). Der Pollen stammt von 10 bis 15 Klonen (s. Tab. 3).

Tabelle 3: Zusammenstellung der weiblichen / männlichen Eltern in den Kreuzungsserien der Jahre 2009-2011 am vTI

Art	1. Serie 2009	2. Serie 2010	3. Serie 2011
<i>P. tremula</i>	9 / 4	4 / 5	5 / 3
<i>P. tremuloides</i>	1 / 5	1 / 3	- / 4
<i>P. tremula</i> × <i>P. tremuloides</i>	- / -	7 / 5	3 / 3
<i>P. ×canescens</i>	- / -	1 / 2	- / 2
<i>P. ×tomentosa</i>	- / 1	- / -	- / -
<i>P. ×canescens</i> × <i>P. tremuloides</i>	- / -	- / 4	- / -
Summe	10 / 10	13 / 19	8 / 12

Vom Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS) wurden zwei weitere Kreuzungsserien in den Jahren 2010 und 2011 aufgelegt. Hierbei wurden ausschließlich ausgelesene Plusbäume der Europäischen Zitter-Pappel verwandt (s. Tab. 4), die bereits in früheren Kreuzungsversuchen ihre gute Kombinationseignung gezeigt hatten. In der 1. Kreuzungsserie konnten 8 Kreuzungen erfolgreich durchgeführt werden. Im

folgenden Jahr wurden 30 weitere Kombinationen realisiert. Dabei konnten die Reiser eines weiblichen Baumes mit allen 9 Polleneltern bestäubt werden.

Im Vergleich zum Kreuzungsjahr 2010 variierte im Jahr 2011 die Samengröße zwischen den Kombinationen erheblich. Das Tausendkorngewicht lag zwischen 0,04 und 0,13 g. Die Keimfähigkeit, die im Kreuzungsjahr 2010 noch einheitlich 99 % betrug, variierte 2011 von 72 % bei den kleinen Samen bis 99 % bei den großen Samen.

Tabelle 4: Zusammenstellung der weiblichen / männlichen Eltern in den Kreuzungsserien der Jahre 2010 und 2011 im Staatsbetrieb Sachsenforst

Art	1. Serie 2010	2. Serie 2011
<i>P. tremula</i>	4 / 8	7 / 9

Von der 1. Kreuzungsserie (2009) des vTI standen von 33 Nachkommenschaften ausreichend Pflanzen für die Prüfung im Feldversuch zur Verfügung. Aus der 2. Kreuzungsserie (2010) kamen 42 und aus der 3. Kreuzungsserie (2011) 37 Nachkommenschaften. Zusammen wurden 112 Nachkommenschaften für den Anbau in Prüfversuchen erzeugt. Mit den Nachkommenschaften der 1. und 2. Kreuzungsserie wurden Flächen bei Altlandsberg (Brandenburg), Thammenhain (Sachsen) und Trenthorst (Schleswig-Holstein) angelegt (s. Tab. 5). Die Nachkommenschaften der 3. Kreuzungsserie sollen im Frühjahr 2012 ausgepflanzt werden. Da der offizielle Standard (Wedesbüttel = Tapiau) nicht verfügbar war, sind auf den Flächen zusätzlich bekannte Nachkommenschaften zum Vergleich angepflanzt.

Tabelle 5: Anzahl der Nachkommenschaften der 1. und 2. Kreuzungsserie des vTI sowie der 1. Kreuzungsserie vom Staatsbetrieb Sachsenforst (SBS), die auf den Prüfflächen Altlandsberg, Thammenhain und Trenthorst angebaut sind

Nachkommenschaftsprüfung	Anlage 2010 (1. Serie vTI)	Anlage 2011 (2. Serie vTI)	Anlage 2011 (1. Serie SBS)
Altlandsberg	30	39	-
Thammenhain	24	43	8
Trenthorst	28	30	-

In der folgenden Förderperiode werden mit den Nachkommenschaften der 3. Kreuzungsserie des vTI und der 2. Kreuzungsserie vom SBS Feldversuche angelegt. Außerdem werden die Kreuzungen fortgeführt. Dabei sollen zusätzlich zu den in Sammlungen stehenden Elternbäumen auch in Versuchen bewährte Bäume als Kreuzungspartner Berücksichtigung finden.

6 Ausblick

6.1 Züchtung

Eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Züchtung von Baumarten ist die Anwendung von Prinzipien der Nachhaltigkeit in Hinsicht auf die verwendeten genetischen Ressourcen. Hierzu gehören die Erhaltung und sukzessive Verjüngung der verwendeten Kreuzungspartner. Nur so kann sichergestellt werden, dass nach Abschluss der Prüfungen das erforderliche Ausgangsmaterial für die Erzeugung der jetzt geprüften Kreuzungskombinationen zur Verfügung steht. Des Weiteren ist eine zunehmende Erweiterung der genetischen Basis durch die Selektion von zusätzlichen *P. tremula*-, *P. tremuloides*- und *P. ×canescens*-Elternbäumen erforderlich. Diese Auslesearbeiten können in natürlichen Beständen oder älteren Nachkommenschaftsprüfungen erfolgen. Insbesondere für *P. tremuloides* kann es sinnvoll sein, in Deutschland Herkunftsversuche anzulegen und in diesen später geeignete Bäume für die Nutzung für gelenkte Kreuzungen zu selektieren. Dieses Vorgehen verbessert die Materialbasis für diese Baumart deutlich. Außerdem hätte bereits eine Anpassung an die hier herrschenden Bedingungen stattgefunden, was bei der direkten Nutzung von *P. tremuloides*-Elternbäumen aus Nordamerika nicht der Fall ist. Auch für *P. tremula* ist ein solches Vorgehen denkbar, allerdings nicht zwingend notwendig, da es noch ausreichend natürliche Vorkommen dieser einheimischen Baumart in Deutschland gibt.

Damit es künftig nicht zu Engpässen bei der Versorgung mit geeignetem Vermehrungsgut kommt, sind kontinuierlich neue Nachkommenschaften zu produzieren und zu prüfen. Die besten Nachkommenschaften müssen umgehend als geprüftes Vermehrungsgut zugelassen werden und am Markt verfügbar sein. Besonders aussichtsreich erscheint nach derzeitigem Stand die Züchtung weiterer Hybridaspens sowie die konsequente Weiterzüchtung bereits existierender Aspen-nachkommenschaften mit dem Ziel, eine größtmögliche Breite von geprüfem Vermehrungsgut für alle Standortsverhältnisse zu erhalten.

Wichtiges Ziel der Züchtung ist es, die Wachstumseigenschaften zu verbessern. Hierzu gibt es bei der Aspe weitere Möglichkeiten, die zukünftig verstärkt geprüft werden sollten:

- Zum einen sind Rückkreuzungen mit Hybridaspens und Grau-Pappeln denkbar. Hiermit wurde in FastWOOD bereits begonnen. Die ersten Pflanzen stehen in den Institutsbaumschulen und lassen ein positives Ergebnis erwarten.
- Eine weitere Möglichkeit ist die Erzeugung von F2-Hybriden. Aus den hergestellten Nachkommenschaften können dann auch die dem Zuchtzielen am besten entsprechenden Individuen ausgelesen und geprüft werden.

- Eine dritte Möglichkeit ist die Selektion von Einzelbäumen und deren anschließende Verklonung. So können auch die nicht-additiven (Dominanz-)Effekte genutzt werden und es ist relativ schnell ein deutlicher züchterischer Gewinn erzielbar. Dieses setzt effektive und kostengünstige Verfahren zur vegetativen Vermehrung entsprechender Bäume voraus. Es existieren zwar Verfahren zur Gewebekultur der Aspe; allerdings müssen die Kosten noch deutlich gesenkt werden. Das verklonte Material ist in Vergleichsprüfungen zu testen.

Auch sind die Verbesserungsmöglichkeiten durch das Einkreuzen weiterer Arten ist noch nicht vollständig ausgeschöpft. So werden Kreuzungen von *P. alba* mit *P. tremula* widersprüchlich bewertet. Aussicht auf Erfolg können aber auch Kreuzungen von der Europäischen Aspe mit den asiatischen Pappelarten *P. sibirica* und *P. adenopoda* sowie der Hybride *P. ×tomentosa* haben.

Keinesfalls vernachlässigt werden darf der Aspekt der Resistenz gegenüber abiotischen und biotischen Faktoren.

6.2 Neuzulassungen

Derzeit gibt es in Deutschland 21 Klone, 7 Klonmischungen und 6 Familieneltern der Sektion *Populus* (s. Tab. 6), die als geprüftes Vermehrungsgut nach dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) zugelassen sind. Jedoch ist nur wenig Vermehrungsgut am Markt verfügbar, da die Familieneltern nicht blühten oder die Klone mangels Nachfrage nicht vermehrt werden. Bei den Klonmischungen kommt erschwerend hinzu, dass sich einige Klone nur schwer vegetativ vermehren lassen und das geforderte Mischungsverhältnis nicht erreicht wird. Unter den 21 Klonen der Kategorie „geprüft“ befinden sich 6 Klone der Grau-Pappel, deren Eignung für den Kurzumtrieb bislang nicht geprüft wurde.

Ein Arbeitspaket im Projekt FastWOOD hatte die Auswertung existierender Feldversuche zum Ziel. Im Jahr 1976 legte das Institut für Forstgenetik der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (heute vTI) mit F1-Hybriden aus Kreuzungen der Arten *P. tremula*, *P. tremuloides* und *P. grandidentata* eine Versuchsserie mit 7 Flächen an. Durch kontrolliertes Bestäuben waren 30 Nachkommenschaften erzeugt worden. Die Auswertung konzentrierte sich auf die Messungen und Erhebungen bis zum Alter 10, dem Altersbereich, der für den Kurzumtrieb von besonderem Interesse ist. In der Entwicklung der Pflanzenanzahl sowie im Höhen- und Durchmesserwachstum ergab die Auswertung Unterschiede zwischen den Standorten (EICHEL 2011). Die beiden nordamerikanischen reinen *P. grandidentata*- und *P. tremuloides*-Nachkommenschaften hatten höhere Ausfälle als die der artreinen Europäischen Zitter-Pappel. Die Hybriden zwischen verschiedenen Arten waren wüchsiger als ihre Elternarten (EICHEL 2011; LIESEBACH et al., Posterbeitrag, in diesem Band S. 347). Drei *P. tremula* × *P. tremuloides*-Nachkommenschaften, darunter die als geprüft zugelassene Kombination Brauna11 × Turesson141 (Holsatia), erzielten das beste Höhen- bzw. Dicken-

wachstum. Zwei dieser Nachkommenschaften sind auch in Prüfungen im Kurzumtrieb enthalten gewesen und haben ihre Regenerationskraft bewiesen.

Tabelle 6: Für den Vertrieb in der Kategorie „geprüft“ zugelassene Klone, Klonmischungen und Familieneltern der Sektion *Populus* und deren Verfügbarkeit am Markt (Quelle: BLE 2011)

Art	Klon / Klonmischung / Familieneltern	Verfügbarkeit
<i>P. ×canescens</i>	cv. Schleswig 1 cv. Rudolf Schmidts Graupappel cv. Schylp Marsch cv. Enniger cv. Ingolstadt 3a cv. Honthorpa	unbekannt, KUP-Eignung nicht geprüft
<i>P. tremula</i> × <i>P. tremuloides</i> (3n)	cv. Austria	(ja)
<i>P. tremula</i>	cv. Tapiau 1 bis 8 (Mischung)	nein
<i>P. tremula</i> × <i>P. tremula</i>	cv. Ahle 1 bis 20 (Mischung) cv. Mölmke 1 bis 20 (Mischung) cv. Olbe 1 bis 20 (Mischung) 7 Klone: NW 7-1 bis 7-7	nein nein nein nein
<i>P. tremula</i> × <i>P. tremuloides</i>	cv. Beberbeck 1 bis 20 (Mischung) cv. Münden 1 bis 20 (Mischung) cv. Vaake 1 bis 20 (Mischung) 7 Klone: NW 7-8 bis 7-14	nein nein nein nein
<i>P. tremula</i> × <i>P. tremuloides</i>	Vorwerksbusch (Familieneltern)	nein
<i>P. tremula</i> × <i>P. tremuloides</i>	Holsatia (Familieneltern)	voraussichtlich ab 2011/12
<i>P. tremula</i> × <i>P. tremula</i>	Bärenstein I (Familieneltern) Bärenstein II (Familieneltern) Graupa I (Familieneltern) Graupa II (Familieneltern)	können bei entsprechender Blüte bereit- gestellt werden

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Auswertung dieser Versuchsserie (EICHEL 2011, LIESEBACH et al., Posterbeitrag, in diesem Band S. 347) und den Prüfungen im Kurzumtrieb (LIESEBACH et al. 2000, BÜTOW 2009, LIESEBACH u. BÜTOW, Posterbeitrag, in diesem Band S. 345) soll ein Antrag auf Zulassung von Familieneltern weiterer „Hybridrasen“-Nachkommenschaften gestellt werden.

6.3 Bewirtschaftung

Die Wachstumsparameter der Zitter-Pappeln kulminieren etwas später als die der Pappeln der Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca*. Daher sollte die erste Ernte frühestens 5 Jahre nach der Anlage einer Plantage erfolgen, wobei nur Holz für die energetische Nutzung anfällt. Hier sind sowohl eine Einphasenernte mit einem Mähhäcksler als auch eine Zweiphasenernte möglich.

Effektiver ist es, wenn die erste Beerntung nach 10 bis 15 Jahren durchgeführt wird. Dafür kann gegebenenfalls mit der Anzahl der Pflanzen bei der Begründung etwas zurückgegangen werden. Von der anfallenden Holzbiomasse können die Stammstücke stofflich und der Rest der energetischen Nutzung zugeführt werden. Für die Ernte steht Forsttechnik zur Verfügung.

Bei der Beerntung der Plantage Methau II im Alter von 10 Jahren hat sich gezeigt, dass sich in der groben Rinde von Pappelklonen auf Grund von Winderosion von benachbarten landwirtschaftlichen Flächen große Mengen von Feinstaub angesammelt hatten. Dies führte bei dem Einschlag zu einem sehr hohen Verschleiß der eingesetzten Aggregate mit Kettensägen. Im Vergleich zur glattrindigen Aspe auf der gleichen Fläche musste bei den grobborkigen Pappelklonen die Sägekette viermal häufiger gewechselt werden mit den entsprechenden Stillstandszeiten (BECKER u. WOLF 2009).

Nach einer Beerntung treiben die Zitter-Pappeln aus dem Stock und als Wurzelbrut aus, d. h. der Reihenverband löst sich auf und es treten flächig Pflanzen auf. Es besteht nun die Möglichkeit, in die Fläche Schneisen zu mulchen und so den Aufwuchs wieder in Streifen (Reihen) zu konzentrieren. Es kann dann erneut stärkeres Holz zur stofflichen Nutzung produziert werden. Auf der Versuchsfläche Abbachhof wurden auf der Teilfläche, die im 5-jährigen Umtreib bewirtschaftet wurde, in der 2. Rotationsphase 2 Varianten ausprobiert: Auf der Hälfte der Fläche wurden alle Aufwüchse belassen und auf der anderen Hälfte wurde bis auf einen Streifen von etwa einem halben Meter (der ehemaligen Pflanzreihe) der Aufwuchs zu Beginn des 2. Jahres gemäht. Zwischen beiden Varianten gab es bei der Beerntung keine statistisch gesicherten Unterschiede. Alternativ ist auch eine Beerntung im 3-jährigen Turnus zur Erzeugung von Holzbiomasse für die energetische Nutzung möglich. Für die Ernte bietet sich hier die neuere Technik des BioBalers an. Dabei wird der Aufwuchs abgeschlegelt bzw. gemäht und anschließend in Großballen gepresst. Das Verfahren müsste bei Aspe ausprobiert werden. Erfahrungsgemäß schadet das Schlegeln bzw. Mähen der Aspe nicht, im Gegenteil regt es die Wurzelbrut sogar an. Für letztere Variante spricht beispielsweise die Entwicklung der Aufwüchse (s. Abb. 3) und die der Biomasserträge (s. Tab. 2) auf den Versuchsflächen Abbachhof und Dägeling.

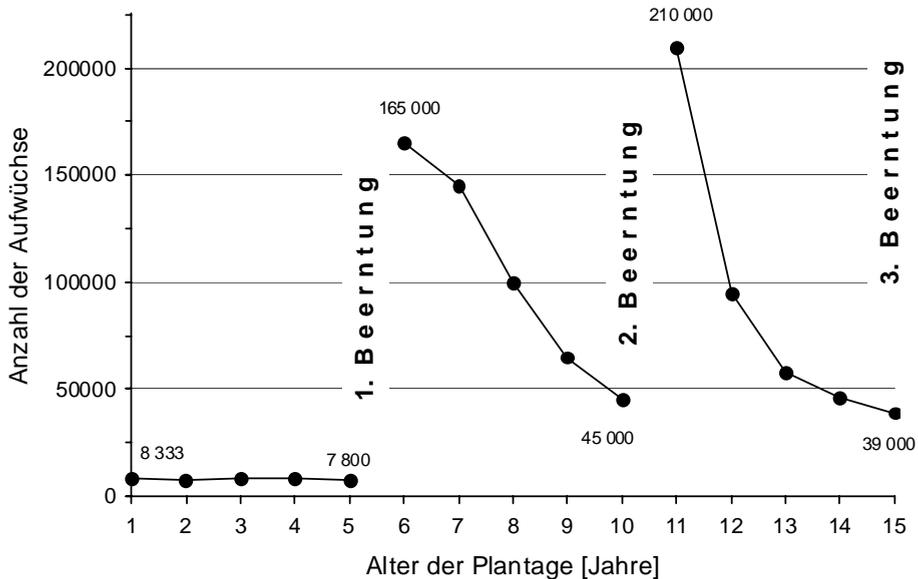


Abbildung 3: Entwicklung der Anzahl der Aufwüchse auf der im 5-jährigen Umtrieb bewirtschafteten KUP Abbachhof in 3 Rotationen

Literatur

- AHUJA, M. R. (1984): A commercially feasible micropropagation method for aspen. *Silvae Genetica* 33, 174-176
- BECKER, R. u. WOLF, H. (2009): Acker, Plantage, Acker – eine wechselseitige Nutzung. *AFZ-Der Wald* 64, 530-531
- BIELEFELDT, J.; BOLTE, A.; BUSCH, G.; DOHRENBUSCH, A.; KROIHER, F.; LAMERSDORF, N.; SCHULZ, U. u. STOLL, B. (2008): Energieholzproduktion in der Landwirtschaft. Chancen und Risiken aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. NABU, Berlin, 68 S.
- BÖHLMANN, D. (2009): Hybriden bei Bäumen und Sträuchern. Wiley-VCH, Weinheim, 326 S.
- BÜTOW, U. (2009): Wachstum und Entwicklung unterschiedlicher Aspennachkommensschaften für die Nutzung als nachwachsender Rohstoff. Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenbau und Grünland, Bachelorarbeit. 46 S.
- DICKMANN, D.I. (2001): An overview of the genus *Populus*. 1-42. In: Dickmann, D.I.; Isebrands, J.G.; Eckenwalder, J. E. u. J. Richardson (eds.): *Poplar Culture in North America*. NRC Press Research Press, Ottawa, Ontario, Canada
- DIMITRI, L. u. HALUPA, L. (2001): *Populus alba* Linné, 1753. In: WEISGERBER, H.; ROLOFF, A.; LANG, U. u. STIMM, B. (Hrsg.): *Enzyklopädie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie*. Landsberg. Ecomed Verlagsgesellschaft. 24. Erg.Lfg. 6/01. 10 S.
- ECKENWALDER, J.E. (1996): Systematics and evolution of *Populus*. 7-32. In: STETTLER, R.F.; BRADSHAW JR., H.D.; HEILMAN, P.E. u. HINCKLEY, T.M. (eds.): *Biology of Populus and its Implication for Management and Conservation*. NRC Research Press Ottawa, Ontario, Canada
- EICHEL, P. (2011): Vergleich der Entwicklung und des Wachstums von *Populus*-Nachkommensschaften an sieben Versuchsorten. Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Bachelor-Arbeit, 90 S.

- FLADUNG, M. u. MUHS, H.-J. (1999): Freisetzungsversuch mit *Populus tremula* (rolC-Gen) in Großhansdorf. Umweltbundesamt Berlin, Texte 99, 45-50
- GALLO, L.A. (1991): Genetische Analyse metrischer und isoenzymatischer Merkmale bei *Populus tremula*, *Populus tremuloides* und ihren Hybriden. Georg-August-Universität Göttingen, Forstwissenschaftlicher Fachbereich, Dissertation, 247 S.
- GEBUREK, T. (1994): *Populus tremuloides* Michaux. In: WEISGERBER, H.; ROLOFF, A.; LANG, U. u. STIMM, B. (Hrsg.): Enzyklopädie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie. Landsberg. Ecomed Verlagsgesellschaft. 16 S.
- GROSSKURTH, W. (1972): Standortansprüche und Sortenwahl von Pappeln der Sektion Aigeiros, Leuce und Tacamahaca. Die Holzzucht 26 (3/4), 21-30
- HEIBERG, H.H.H. (1953): Litt om amerikansk foredlingsarbeid med osp. T. Skogsbruk 61 (1), 7-10
- JOACHIM, H.-F. (1991): Hybrid Aspen – schnellwüchsige, leistungsfähige und vielseitig einsetzbare Baumarten. IFE-Berichte aus Forschung und Entwicklung, Eberswalde, 22, 47 S.
- JOACHIM, H.-F. (2007): Zur Pappel- und Weidenforschung und zum Anbau dieser schnellwüchsigen Baumarten. 107-126. In: Umweltschutz in der DDR: Analysen und Zeitzeugenberichte. Band 2: Mediale und sektorale Aspekte. oekom-Vlg. München.
- JOHANSSON, H. (1976): Das Produktionspotential der Hybridaspe (*Populus tremula* × *tremuloides*) in Schweden. Die Holzzucht 30 (2-4), 19-22
- LAILY, P.R. (1990): *Populus grandidentata* Michx. S. 544-550. In: BURNS, R.M. u. HONKALA, B.H. (eds.): Silvics of North America. Vol. 2. Hardwoods. Forest Service. Agriculture Handbook 654
- LIESEBACH, M.; WÜHLISCH, G. VON u. MUHS, H.-J. (1999A): Aspen for short-rotation coppice plantations on agricultural sites in Germany: Effects of spacing and rotation time on growth and biomass production of aspen progenies. Forest Ecology and Management 121, 25-39
- LIESEBACH, M.; WÜHLISCH, G. VON u. MUHS, H.-J. (1999B): Eignung der Baumart Aspe und Prüfung von Aspenhybriden für die Biomasseerzeugung in Kurzumtriebsplantagen. 240-313. In: Modellvorhaben „Schnellwachsende Baumarten“. Landwirtschaftsvlg. Münster (= Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ 13)
- LIESEBACH, M.; WÜHLISCH, G. VON u. MUHS, H.-J. (2000): Überlegenheit von Aspen-Arthybriden bei der Biomasseproduktion im Kurzumtrieb. Die Holzzucht (1), 11-18
- LIESEBACH, M. (2006): Aspekte der biologischen Vielfalt in Kurzumtriebsplantagen. 3-16. In: BEMMANN, A. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. 1. Fachtagung Tharandt, 6. und 7. November 2006. Tagungsband. TU Dresden
- MARCET, E. (1964): Die Aspe und ihr Anbau. Die Holzzucht 18 (1/2), 1-7
- MELCHIOR, G.H. u. SEITZ, F.W. (1966): Einige Ergebnisse bei Testanbauten mit Aspenhybriden. Silvae Genetica 15 (4), 127-133
- MOHRDIEK, O. (1979): Progeny Tests with Leuce Poplars in Germany: Crossings within and between Species, and Backcrossings. Kommissionsverlag M. Wiedebusch, Hamburg, 70 S.
- MUHS, H.-J. (1998): 50 Jahre Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung im Arboretum „Tannenhöft“. 117-140. In: LIESEBACH, M. u. STEPHAN, B.R.: Tannenhöft - 90 Jahre Arboretum - 50 Jahre Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg
- NAUJOKS, G.; EWALD, D. u. MATSCHKE, J. (1987): In-vitro-Kultivierung von *Populus* spec. Beiträge f. d. Forstwirt. 21, 102-106
- SCHMIEDEL, H. 1982: Aspenanbau in Holzzuchtplantagen. Soz. Forstwirtschaft, 32, 338-340
- SCHMIEDEL, H. 1985: Erfolgsaussichten der durch Züchtungsmaßnahmen in Wuchsleistung, Stammform und Widerstandsfähigkeit gegen abiotische Schadeinflüsse verbesserten Aspen im Mittelgebirge. Soz. Forstwirtschaft 35, 203-205
- SCHENCK, C.A. (1939): Fremdländische Wald- und Parkbäume. Dritte Band. Vlg. P. Parey, Berlin
- SCHNECK, H. (1985): Neuzüchtung zur Ertragsteigerung des Aspenanbaus auf mittleren Standorten im Pleistozän der DDR. Beitr. f. d. Forstwirt. 19 (2), 74-77

- SCHÖNBACH, H. (1957): Die bisherigen Ergebnisse der Züchtungsarbeiten mit verschiedenen Pappelarten der Sektion *Leuce*. (Beiträge zur Pappelforschung II) Akademie Vlg. Wissenschaftliche Abhandlungen 27, 149-178
- SCHÖNBACH, H. (1960): Einige Ergebnisse achtjähriger Züchtungsversuche mit Pappelarten der Sektion *Leuce*. (Beiträge zur Pappelforschung IV) Akademie Vlg. Wissenschaftliche Abhandlungen 44, 7-21
- SCHÖNBACH, H. u. SCHOLZ, E. (1972): Vorschlag für die Anerkennung einer Hochzuchtsorte der Aspe. Unveröffentl. Bericht, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde, 41 S.
- SHU, Y. (1999): *Populus* Linnaeus. S. 139-162. In: Flora of China 4. www.efloras.org (Aufruf vom 15.09.2011)
- TAMM, Ü. (2001): *Populus tremula* L., 1753. In: WEISGERBER, H.; ROLOFF, A.; LANG, U. u. STIMM, B. (Hrsg.): Enzyklopädie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie. Landsberg. Ecomed Verlagsgesellschaft. 23. Erg.Lfg. 3/01. 10 S.
- WEISGERBER, H. (1975): Das waldbauliche Verhalten nordamerikanischer Pappelarten und ihre Eignung für den Anbau in Deutschland. *Der Forst- und Holzwirt* 30 (13), 239-244
- WEISGERBER, H. (1976): Untersuchungen über das Wuchsverhalten von Aspenhybriden auf ungünstigen Waldstandorten in Deutschland. *Die Holzzucht* 30 (2-4), 48-53
- WEISGERBER, H.; KOWNATZKI, D. u. MUSSONG, M. (1995): Natural Poplar Resources in China and Their Significance for Breeding and Afforestation. *Silvae Genetica* 44 (5-6), 298-303
- WETTSTEIN-WESTERSHEIM, W. VON (1933): Die Kreuzungsmethode und die Beschreibung von F1-Bastarden bei *Populus*. *Zeitschrift f. Pflanzenzüchtung A* 18, 597-626
- WOLF, H. u. BRANDT, R. (1995): Growth and Quality of Intra-Specific Aspen (*Populus tremula* L.) Progenies. *Silvae Genetica* 44 (5-6), 319-325
- WOLF, H.; SCHILDBACH, M. u. HARTMANN, K.-U. (2010): Plantagenbaumarten und deren Züchtung. 30-43. In: BEMMANN, A. u. KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD - Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Weißenseevlg. Berlin
- WÜHLISCH, G. VON (2006): Ergebnisse der Züchtung von Pappeln und Aspen in Großhansdorf – Perspektiven für die Energie- und Rohstoffherzeugung. *Vort. Pflanzenzüchtung* 70, 157-172

Korrespondierender Autor:

Dr. Mirko Liesebach
Johann Heinrich von Thünen- Institut (vTI)
Institut für Forstgenetik
Sieker Landstr. 2
22927 Großhansdorf
E-Mail: mirko.liesebach@vti.bund.de
URL: www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html

Volker Schneck
Johann Heinrich von Thünen- Institut (vTI)
Institut für Forstgenetik, Waldsieversdorf

Dr. Heino Wolf
Staatsbetrieb Sachsenforst

Standortbasierte Ertragsmodellierung von Pappel- und Weidenhybriden

Site-based yield modelling of poplar and willow hybrids

Daniel Amthauer Gallardo, Martin Hofmann und Heinz Röbke

Zusammenfassung

Der Anbau von schnellwachsenden Baumarten in kurzen Umtriebszeiten kann einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Energiesicherung leisten. Unter günstigen Bedingungen reichen deren Naturalerträge bis zu 20 $t_{(atro)}$ je ha und Jahr. Sichere Ertragsersparungen in Abhängigkeit von bodenkundlichen und klimatischen Standortbedingungen sind jedoch auf derzeitiger Informationsgrundlage nicht möglich. Die Entwicklung von standortbasierten Ertragsmodellen ist das Hauptziel des Verbundvorhabens ProLoc (HOFMANN et al., in diesem Band S. 9 ff.).

Für diesen Beitrag wurden Modelle für jeweils einen Pappelklon (Max 1) und einen Weidenklon (Tordis) erarbeitet. Als abhängige Variable wurde der durchschnittliche Gesamtwuchs (dGZ) in $t_{(atro)}$ je ha und Jahr am Ende der ersten dreijährigen Rotation verwendet. Die gewählte Methode war die der schrittweisen multiplen Regression mit vorgeschalteter Korrelationsanalyse zur Reduzierung von Prädiktoren.

Die Modellierung über alle Standorte (N = 27) brachte nur mäßige Ergebnisse. Das Modell bei Max 1 verwendete als unabhängige Variablen die nutzbare Feldkapazität (nFK) und die Bodenzustandsstufe. Das korrigierte Bestimmtheitsmaß

($R^2_{\text{kor}})$ betrug 0,50. Bei der Weide bestand das Modell ausschließlich aus der Kenngröße nFK und zeigte ein R^2_{kor} von 0,26. Durch das Clustern der Standorte nach der Hauptbodenart konnten die Bestimmtheitsmaße der Modelle deutlich verbessert werden.

Hauptbodenart Sand: Bei dieser Hauptbodenart waren die Bodenzahl, die Ackerzahl, der mittlere prozentuale Schluffgehalt (U %), die nFK, der Quotient zwischen nFK und Luftkapazität (LK) sowie die Niederschlagssumme (N 4,7) und die Trockenheitsindexsumme der Monate April bis Juli (TI 4,7) mit dem dGZ mäßig bis hoch korreliert. Mit dem dGZ invers korreliert waren der prozentuale Sandgehalt (S %) und die Temperatursumme der Monate Juli und August (T 7,8). Das bei der Weide ermittelte Modell beinhaltete die Variablen S %, T 7,8 sowie nFK/LK. Das R^2_{kor} des Tordis-Modells beträgt 0,96. Das Max 1-Modell verwendete die Variablen nFK/LK und T 7,8, das R^2_{kor} betrug 0,94.

Weitere Bodenarten – Lehme, Schluffe, Tone: Anders als bei den Sandböden waren hier die klimatischen Bedingungen kaum bis gar nicht mit dem dGZ korreliert. Vielmehr waren bodenphysikalische Kennwerte die ertragsbestimmenden Variablen. Die entwickelten Modelle beider Prüfglieder bestanden demnach nur aus der Kenngröße nFK. Eine lineare Anpassung erbrachte ein R^2_{kor} von 0,54 bei Max 1 bzw. von 0,82 bei Tordis. Eine Optimierung durch nichtlineare Funktionsanpassung führte zu einer Verbesserung der Modelle. Bei Max 1 stieg das R^2_{kor} durch sigmoidale Anpassung auf 0,77. Bei Tordis wurden die besten Ergebnisse durch eine logarithmische Anpassung erzielt. Das Bestimmtheitsmaß erhöhte sich auf 0,85.

Stichworte: Pappel, Weide, Ertragsmodellierung, Multiple Regression, Bodenphysik, KUP

Abstract

The planting of fast-growing tree species in short rotation periods can contribute to climate protection and to a reliable energy supply. Under favourable conditions their natural yields reach up to 20 dry Mg ha⁻¹ year⁻¹. However, reliable yield predictions in relation to the prevailing soil and climatic site conditions cannot be made given the current data availability. The development of site-based yield models is the primary aim of ProLoc (HOFMANN et al. 2012, p. 9 ff.).

To this end, models for one poplar clone (Max 1) and one willow clone (Tordis) are being developed. As dependent variable, the mean annual increment (MAI) in dry Mg ha⁻¹ year⁻¹ at the end of the first three-year rotation was used. The method selected involved a step-wise multiple regression method preceded by correlation analysis to reduce the predictors.

The modelling of all sites (N=27) produced only mediocre results. The model for Max 1 used the independent variables available water storage capacity (AWSC)

and soil status class. The corrected coefficient of determination (R^2_{korrr}) was 0.50. For willow, the model consisted entirely of the parameter AWSC and produced an R^2_{korrr} value of 0.26. By clustering the sites according to soil type, the coefficient of determination for the model improved markedly.

Main soil type sand: For this main soil type the german soil quality indices (Ackerzahl and Bodenzahl) the mean percentage silt content (U %), the AWSC, the quotient between AWSC and soil air capacity (AC) as well as total precipitation (N 4.7) and the sum drought index for the months from April to July (TI 4.7) correlated moderately to highly with the mean annual increment. The percentage sand content (S %) and the summer temperature of the months July and August (T 7.8) were inversely correlated with the MAI. The model developed for willow comprised the variables S%, T 7.8 and AWSC/AC. The R^2_{korrr} of the Tordis model was 0.96. The Max 1 model used the variables AWSC/AC and T 7.8, while the R^2_{korrr} value was 0.94.

Other soil types – loam, silt, clay: In contrast to the sandy soils, the climatic conditions here correlated barely or not at all with the MAI. Rather, soil physical parameters represented the variables that determined yield. The model developed of both test variants consisted only of the parameter AWSC. A linear fit resulted in an R^2_{korrr} of 0.54 for Max 1 and of 0.82 for Tordis. An optimisation by fitting a non-linear function improved the model. For Max 1 the R^2_{korrr} increased by fitting a sigmoidal curve to 0.77. For Tordis, the best results were obtained by a logarithmic fit. The coefficient for determination increased to 0.85.

Keywords: poplar, willow, yield modelling, multiple regression, soil physics, short rotation coppice

1 Einführung

Die derzeit politisch-gesellschaftlich getragene Diskussion zur Neustrukturierung der Energieversorgung in Deutschland befördert den verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien. Dabei spielt die Bioenergie, welche nach Definition aus Biomasse gewonnen wird, eine sehr wichtige Rolle. Ein besonders hohes Potenzial hat dieser Sektor der erneuerbaren Energien in der Bereitstellung von Wärmeenergie durch Holzbiomasse.

Der zukünftig zu erwartende Bedarf an Holzbiomasse für Wärmeerzeugung lässt sich nach Studien von MANTAU (2008) nicht durch eine verstärkte Mobilisierung von Waldholz decken. Hier kann die Anlage von energieeffizienten Kurzumtriebsplantagen (KUP) einen wichtigen Beitrag zur Energiebereitstellung leisten. Da diese Energie dezentral gewonnen wird, tragen KUPs zur Unabhängigkeit von Energieimporten bei und gleichzeitig werden Struktur und Wertschöpfung im ländlichen Raum gestärkt.

Trotz der genannten Vorteile kann auf derzeitiger Informationsgrundlage das standortbasierte Ertragspotenzial von Kurzumtriebsplantagen überregional nicht genau abgeschätzt werden. Ziel des ProLoc-Projekts ist die Entwicklung eines Ertragsmodells auf statistisch-empirischer Grundlage zur Abschätzung des Ertragspotenzials ausgesuchter Pappel- und Weidenhybriden auf landwirtschaftlichen Flächen in kurzer Rotation. Hierzu wurden im Jahr 2008 insgesamt 37 Versuchsfelder, mit jeweils drei Pappel- und zwei Weidenhybriden in vierfacher Wiederholung, angelegt. Eine große Amplitude der Standortcharakteristika, sowohl bodenkundlich als auch klimatisch erlaubt einen weiten Anwendungsbereich.

Dieser Beitrag wurde aus den vorläufigen Modellierungsergebnissen zweier ausgewählter Klone, ein Pappelklon (Max 1) und ein Weidenklon (Tordis), erarbeitet.

2 Material und Methoden

Kennwerte des Bodenwasser- und Lufthaushaltes, der Bodenfruchtbarkeit/Nährstoffversorgung, des Niederschlagsregimes und des Temperaturhaushalts können als Indikatoren für das Baumwachstum gesehen werden (PETZOLD et al. 2009, PRETZSCH 2001). Mit dem Ziel, die ertragsbestimmenden Faktoren und somit Inputgrößen für das Modell zu identifizieren, sind aus den genannten Indikatoren Variablen festgelegt worden (s. Tab. 1). Diese Größen, die als unabhängige Variablen bei der Auswertung zum Einsatz kommen, wurden im Rahmen der Standortscharakterisierungen aufgenommen und dokumentiert.

Tabelle 1: Ausgewählte Parameter der Modellentwicklung (verändert nach AMTHAUER GALLARDO, in Vorbereitung)

Wasserversorgung	Nährstoffversorgung Bodenfruchtbarkeit	Durchwurzelung Sauerstoffversorgung	Wärme
N-Summen	Bodenzahl/Ackerzahl	Luftkapazität	T- Summen
Trockenheitsindex	N-, P-, K- und Mg- Vorräte	Lagerungsdichte	
Nutzbare Feldkapazität	Humusgehalt	Korngrößenverteilung	

Auf die Aufnahmemethodik sowie auf die genaue Definition dieser Variablen wird in den folgenden Kapiteln näher eingegangen. Weitere Beschreibungen über die Aufnahmemethodik sowie Standortcharakterisierung sind in den Beiträgen von HEYN u. WACHENDORF (in diesem Band S. 127 ff.) sowie HOFMANN et al. (in diesem Band S. 9 ff.) zu finden.

2.1 Wasserversorgung

Zur Charakterisierung der Wasserversorgung werden die Niederschlagssummen, Trockenheitsindizesummen und die nFK herangezogen. Der Niederschlag wurde in Form von unterschiedlich langen Summen aus dem Zeitraum zwischen Februar und Oktober berücksichtigt (s. Tab. 2). An dieser Stelle ist anzumerken, dass bei den klimatischen Variablen Niederschlag, Temperatur und Trockenheitsindex, mittlere Summen bzw. Mittelwerte aus den drei Beobachtungsjahren ermittelt wurden. Aufgrund ihrer zeitverzögerten Auswirkung auf das Wasserangebot wurden die Niederschläge aus den Monaten Februar, März und April, die nach Definition nicht zur forstlichen Vegetationsperiode gehören, bei der Summenbildung ebenfalls verwendet.

Tabelle 2: Niederschlagsvariablen dargestellt in unterschiedlich lange Monatssummen (verändert nach AMTHAUER GALLARDO, in Vorbereitung). Zahlen indizieren Monatsnummer (Januar 1, Februar 2 usw.)

Niederschlagsvariablen						
N 2-3	N 2-4	N 2-5	N 2-6	N 2-7	N 2-8	N 2-9
N 3-4	N 3-5	N 3-6	N 3-7	N 3-8	N 3-9	N 4-5
N 4-6	N 4-7	N 4-8	N 4-9	N 5-6	N 5-7	N 5-8
N 5-9	N 6-7	N 6-8	N 6-9	N 7-8	N 7-9	N 8-9

Die Darstellung der Wechselwirkung zwischen Temperatur und Niederschlag in einer kombinierten Variablen erfolgt über den Trockenheitsindex nach DE MARTONNE (Niederschlagssumme [mm]/(Temperaturmittelwert [°C] + 10), DE MARTONNE 1926). Neben den Niederschlagsvariablen wurden auch bei den Trockenheitsindizesummen unterschiedlich lange Zeiträume, zwischen Februar und Oktober, berücksichtigt (s. Tab. 3). Die Klimadaten wurden ausschließlich von Stationen des deutschen Wetterdiensts bezogen. Die maximale Entfernung der Klimastationen zum Standort betrug ca. 28 km, wobei die meisten Stationen sich in einem Umkreis von 10 km zu den Versuchsflächen befanden.

Tabelle 3: Variablen des Trockenheitsindizes dargestellt in unterschiedlich langen Monatssummen (verändert nach AMTHAUER GALLARDO, in Vorbereitung). Zahlen indizieren Monatsnummer (Januar 1, Februar 2, usw.)

Trockenheitsindex						
TI 2-3	TI 2-4	TI 2-5	TI 2-6	TI 2-7	TI 2-8	TI 2-9
TI 3-4	TI 3-5	TI 3-6	TI 3-7	TI 3-8	TI 3-9	TI 4-5
TI 4-6	TI 4-7	TI 4-8	TI 4-9	TI 5-6	TI 5-7	TI 5-8
TI 5-9	TI 6-7	TI 6-8	TI 6-9	TI 7-8	TI 7-9	TI 8-9

Die Ermittlung der Variablen nFK erfolgte nach der bodenkundlichen Kartieranleitung KA 5 (AG BODEN 2005). Zur indirekten Bestimmung werden Daten der Bodenart, der Trockenrohddichte sowie des Humusgehaltes benötigt. Bestimmt wurde die nFK getrennt für zwei Bodentiefen, und zwar von 0-30 und 30-60 cm. Für die Modellberechnungen wurden die aufsummierte nFK-Werte der Tiefe 0 bis 60 cm verwendet.

2.2 Nährstoffversorgung und Bodenfruchtbarkeit

Kennwerte der bundesweit durchgeführten Reichsbodenschätzung, wie Boden- und Ackerzahl, stellen in der vorliegenden Modellentwicklung eine wichtige Informationsgrundlage dar. Das Nutzen dieser Standortinformationen für die modellhafte Abschätzung von Erträgen landwirtschaftlicher und forstlicher Kulturen belegten bereits u. a. BROZIO et al. (2009) und ALI (2009). Diese Daten sind über die offizielle Anlaufstelle der zuständigen Finanzämter gesammelt worden. Die meisten Standorte im Verbundvorhaben wiesen eine ehemalige Nutzung als Acker oder Baumschulfläche auf und sind nach dem Ackerschätzungsrahmen bewertet. Im Falle einer ehemaligen Bewirtschaftung als Grünland erfolgte die Bewertung in Anlehnung an die Kennzahlen benachbarter Ackerflächen.

Die pflanzenverfügbaren Gehalte der Nährstoffe P, K und Mg sowie der Gesamtstickstoffgehalt (Nt) wurden an allen Standorten für die Tiefen 0-30 und 30-60 cm im Jahr 2009 im Rahmen der Standortcharakterisierung bestimmt. Die Nährstoffvorräte pro Hektar wurden unter Einbeziehung der Trockenrohddichte sowie der Stoffkonzentrationen errechnet. Diese so hergeleiteten Vorräte an pflanzenverfügbarem P, K und Mg sowie Gesamtstickstoff in der Tiefe 0-60 cm sind als Variablen für die Modellbildung geprüft worden. Die Menge an organischer Substanz pro Hektar für die Tiefe 0-60 cm fand ebenfalls in der statistischen Analyse Berücksichtigung.

2.3 Durchwurzelbarkeit und Sauerstoffversorgung

Die Luftkapazität, welche als ein Maß für die Sauerstoffversorgung fungiert, wurde nach den Kalkulationstabellen der KA Boden 5 (AG BODEN, 2005) in den Tiefen zwischen 0-30 cm und 30-60 cm errechnet. Hierzu waren, analog zum Herleiten der nFK, Informationen zur Bodenart, Trockenrohichte und Humusgehalt notwendig. Als Variable für die Modellierung ist die Summe der Luftkapazität in der Untersuchungstiefe 0-60 cm gewählt worden. Die mittlere Lagerungsdichte sowie die Gehalte an Sand, Schluff und Ton in der Tiefe 0-60 cm waren Variablen für die statistische Analyse.

2.4 Wärmehaushalt

Die Berücksichtigung des Faktors Wärme findet über Temperatursummen verschiedener Monate statt. Der Zeitraum zur Variablenbildung lag zwischen März und September (s. Tab. 4).

Tabelle 4: Temperaturvariablen dargestellt in unterschiedlich langen Monatssummen (verändert nach AMTHAUER GALLARDO, in Vorbereitung). Zahlen indizieren Monatsnummer (Januar 1, Februar 2, usw.)

Temperaturvariablen						
T 3-4	T 3-5	T 3-6	T 3-7	T 3-8	T 3-9	T 4-5
T 4-6	T 4-7	T 4-8	T 4-9	T 5-6	T 5-7	T 5-8
T 5-9	T 6-7	T 6-8	T 6-9	T 7-8	T 7-9	T 8-9

2.5 Abhängige Modellvariablen

Hauptzielvariable des Modells ist die Biomasse pro Flächeneinheit, welche als durchschnittlicher Gesamtzuwachs (dGZ) in $[t_{\text{atro}}\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}]$ ausgedrückt wurde. Die Bestimmung des durchschnittlichen Gesamtzuwachses erfolgte durch die systematische, destruktive Aufnahme von 24 Pflanzplätzen einer jeder Kernparzelle des Versuches (detaillierte Informationen zum Versuchsaufbau sind bei HOFMANN et al., in diesem Band S. 9 ff., zu finden). Dabei wurde das Frischgewicht der einzelnen Pflanzplätze, unabhängig von der Anzahl an Höhentrieben, gemessen. Die Ermittlung des Trockensubstanzgehaltes fand an drei Pflanzplätzen pro Teilparzelle statt. Diese Proben wurden aus allen Triebabschnitten sowie Astmaterial zusammengestellt und sind bis zur Gewichtskonstanz (bei 105 °C) getrocknet. Die atro-Gewichte pro Pflanzplatz sind über die Umrechnung der Frischgewichte mit dem Trockensubstanzanteil hergeleitet worden. Anschließend erfolgte die Hochrechnung auf den Hektarwert, wobei eine einheitliche Begründungsdichte von 11.111 Pflanzplätzen pro Hektar zugrundegelegt wurde. Der dGZ schließlich

ergibt sich durch Division der Biomasse pro Hektar mit der Anzahl der Wuchsperioden (im vorliegenden Beitrag waren drei Wuchsperioden zu verzeichnen).

2.5.1 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung wurde mittels SPSS (Version 18) vorgenommen.

Die Erstellung des Modells beinhaltet mehrere Rechenschritte (s. Abb. 1). Der erste Schritt zur Identifizierung von ertragsbestimmenden Variablen war eine Korrelationsanalyse, welche je nach Variablenkategorie (ordinal bzw. metrisch skaliert) entweder nach Pearson oder nach Spearman durchgeführt wurden. Mit den signifikant korrelierten Variablen wurde in einem zweiten Schritt eine schrittweise lineare Regression zur Schätzung des dGZ-Biomasse über alle Standorte durchgeführt. Durch diese Methode werden signifikante Variablen in Abhängigkeit von ihrem Erklärungsbeitrag automatisch ausgewählt und in die Regression einbezogen (WÖSTEN et al. 2001). Zur Beurteilung der Schätzgenauigkeit wurde das korrigierte Bestimmtheitsmaß (R^2_{kor}) für jedes Modell errechnet.

Da die zusammenfassende Auswertung aller Standorte keine zufriedenstellenden Ergebnisse erbrachte, wurde versucht, durch Bildung von Standortgruppen (Clustering) mit ähnlichen bodenphysikalischen Eigenschaften höhere Schätzgenauigkeiten zu erreichen. Ergänzend erfolgte durch Transformation der Eingangsvariablen eine Bildung neuer bzw. aggregierter Variablen. Außerdem wurde die Eignung nichtlinearer Ansätze wie logarithmischer, polynomischer, Potenz- sowie sigmoidaler Funktionen geprüft.

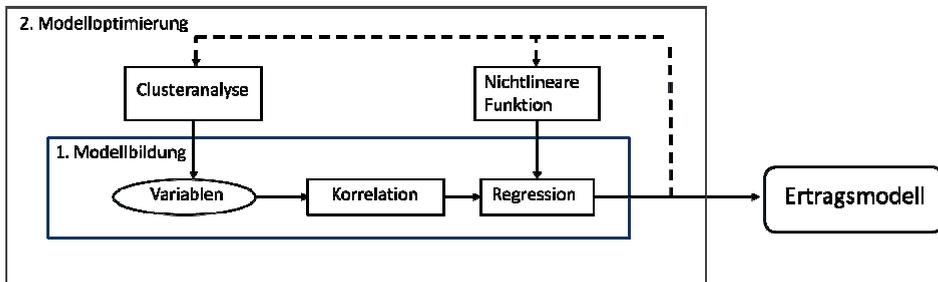


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Arbeitsschritte der Modellentwicklung (verändert nach AMTHAUER GALLARDO, in Vorbereitung)

3 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden wird hauptsächlich auf die Ergebnisse der Regressionsanalyse eingegangen. Eine umfassende Darstellung der Ergebnisse zur Korrelationsanalyse ist bei HOFMANN et al. (in diesem Band S. 9 ff.) zu finden.

3.1 Ergebnisse bei zusammenfassender Auswertung aller Standorte

Als ertragsbestimmende Variablen für den dGZ konnten die Bodenzustandsstufe, die Bodenzahl, die Ackerzahl, der pH-Wert, die nFK, die Niederschlagssumme im Frühjahr sowie der Trockenheitsindex des Zeitraums zwischen April und Juli identifiziert werden. Der Einfluss der Nährstoffversorgung konnte als sehr gering eingestuft werden. Weder der Humusgehalt noch die Vorräte an pflanzenverfügbarem P, K und Mg zeigten eine signifikante Beziehung mit der Biomasseleistung. Einzig Nt bei Max 1 zeigte eine signifikante Beziehung zum dGZ. Insgesamt waren alle Variablen mit Ausnahme der nFK mit dem dGZ nur gering korreliert.

Die Abbildungen 2 und 3 zeigen Ergebnisse der Regressionsanalyse. Das bei Max 1 erzielte Modell wies ein $R^2_{\text{kor}} = 0,5$ auf. Dabei berücksichtigte Variablen waren die Bodenzustandsstufe und die nFK. Das Tordis-Modell zeigte ein sehr geringes $R^2_{\text{kor}} = 0,26$. Die dabei berücksichtigte Variable war die nFK. Modelle einer solch niedrigen Genauigkeit sind für die Praxisanwendung nicht geeignet.

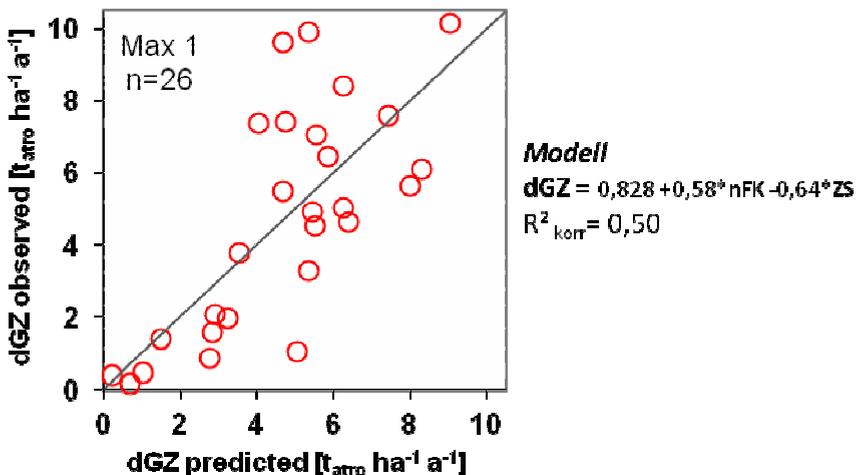


Abbildung 2: Beobachteter gegen modellierten dGZ sowie Modellausdruck und R^2_{kor} beim Prüfling Max 1, alle Standorte

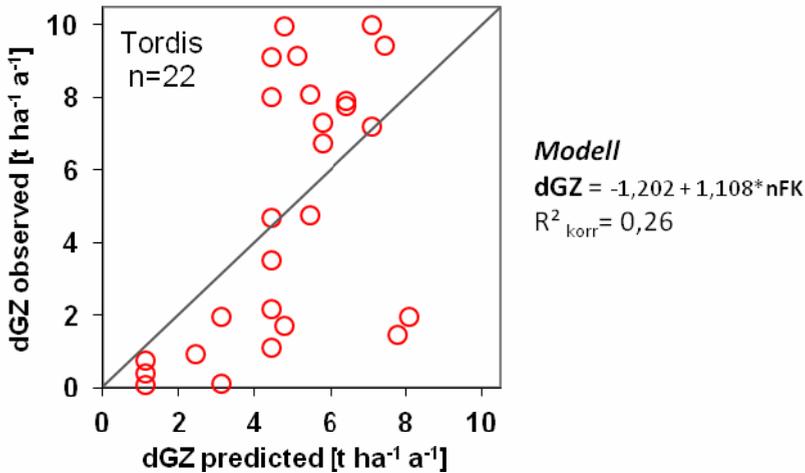


Abbildung 3: Beobachteter gegen modellierten dGZ sowie Modellausdruck und R^2_{korr} beim Prüfglied Tordis, alle Standorte

3.2 Ergebnisse bei Clusterung nach bodenphysikalischen Eigenschaften

Bei der Clusterung nach bodenphysikalischen Eigenschaften wurden zwei Gruppen ausgeschieden: Die erste Gruppe bildeten die Standorte mit der Hauptbodenart Sand. Die zweite Gruppe setzte sich aus den Standorten mit den Hauptbodenarten Schluff, Lehm und Ton zusammen, die sich hinsichtlich ihrer bodenphysikalischen Charakteristika insbesondere bez. Wasser- und Lufthaushalt deutlich von der ersten Gruppe abgrenzen lassen.

3.2.1 Hauptbodenart Sand

Das Schätzmodell für Max 1 berücksichtigte als Erklärungsvariablen die Kenngrößen nFK/LK und T 7,8 (Temperatursumme des Zeitraums zwischen Juli und August) und wies ein R^2_{korr} von 0,92 auf (s. Abb. 4).

Der Quotient nFK/LK ist eine der transformierten Eingangsvariablen. Die LK verhält sich bei sandigen Bodenarten invers proportional zur nFK. Aus diesem Grund wirkt sich die Division von nFK, mit der LK als Divisor, verschärfend auf die Größe der nFK. Somit gilt die Variable nFK/LK in diesem Fall als eine Variable der Wasserversorgung. Die zweite Eingangsvariable im Max 1-Modell war T 7,8. Obwohl generell von einer wachstumsbegünstigenden Wirkung durch Wärme ausgegangen werden kann, zeigten die Hochsommertemperaturen (Monate Juli und August) eine invers korrelierte Beziehung mit dem dGZ. Die inverse Beziehung kann durch den Einfluss der Sommertemperaturen auf die Transpiration der Pflanzen und auf die Bodenevaporation erklärt werden. Das zur Verfügung stehende Wasser wird aus diesem Grund reduziert und das Wachstum dadurch gehemmt.

Die Variable nFK/LK war mit 0,745 für den größten Teil der Modellgenauigkeit verantwortlich. Eine Verbesserung des R^2_{korr} der Regression im Umfang von ca. 18 % wurde durch die Berücksichtigung der Variable T 7,8 erzielt.

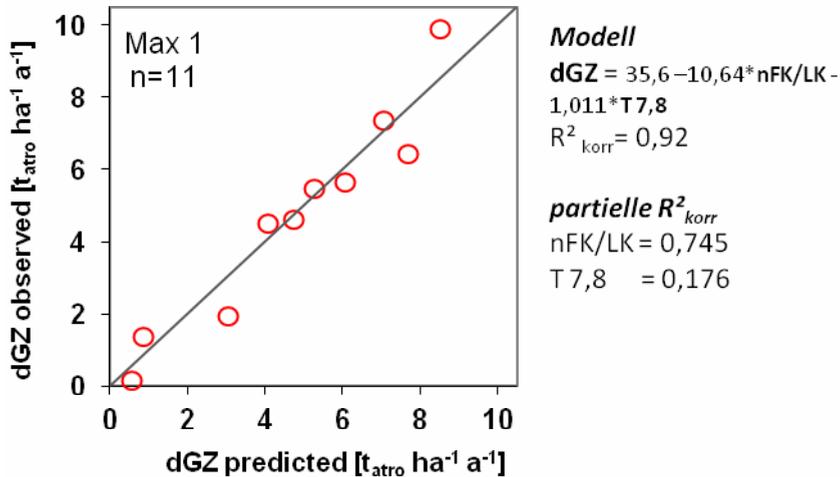


Abbildung 4: Beobachteter gegen modellierten dGZ, Modellausdruck, Modell- R^2_{korr} und partielle R^2_{korr} beim Prüfglied Max 1, Hauptbodenartcluster Sand

Das Tordis-Modell wies, wie das Max 1-Modell, eine sehr hohes R^2_{korr} auf (0,96). Die Modellvariablen waren (mit steigendem R^2_{korr}): nFK/LK (0,072), T 7,8 (0,188) und der prozentuale Sandgehalt (0,698) (s. Abb. 5).

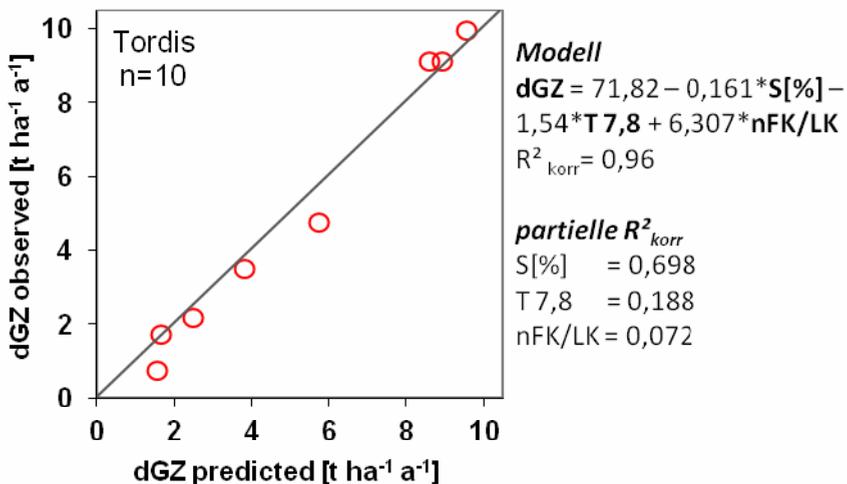


Abbildung 5: Beobachteter gegen modellierten dGZ, Modellausdruck, Modell- R^2_{korr} und partielle R^2_{korr} beim Prüfglied Tordis, Hauptbodenartcluster Sand

Physikalisch werden mit diesem Modell ähnliche Prozesse abgebildet wie bei Max 1. Der Sandgehalt ist mit der nFK in starkem Maß invers korreliert. Die ertragsmindernde Auswirkung der Sommertemperatur ist hier genau wie bei Max 1 festzustellen. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse der Regressionsanalyse beider Klone den sehr starken Einfluss der Wasserversorgung auf das Wachstum von Kurzumtriebsplantagen mit Pappel und Weiden.

3.2.2 Hauptbodenarten Lehm, Schluff und Ton

Bei diesem Standortcluster zeigten die Ergebnisse der Korrelationsanalyse, abweichend vom Cluster Hauptbodenart Sand, eine sehr geringe Beziehung des dGZ mit den klimatischen Variablen. Vielmehr wiesen bodenphysikalische Kennwerte wie die nFK und der prozentuale Schluffgehalt die stärkste Beziehung zum dGZ auf. Demnach überraschte nicht, dass die Modelle beider Prüfglieder nur die Variable nFK beinhalteten (s. Abb. 6 und Abb. 7).

Die Verwendung eines sigmoidalen anstelle eines linearen Regressionsmodells für Max 1 führte zu einer deutlich erhöhten Güte der Anpassung, das R^2_{kor} stieg von 0,54 auf 0,77. Umgerechnet bedeutet dies eine Verbesserung von fast 50 % in der Genauigkeit.

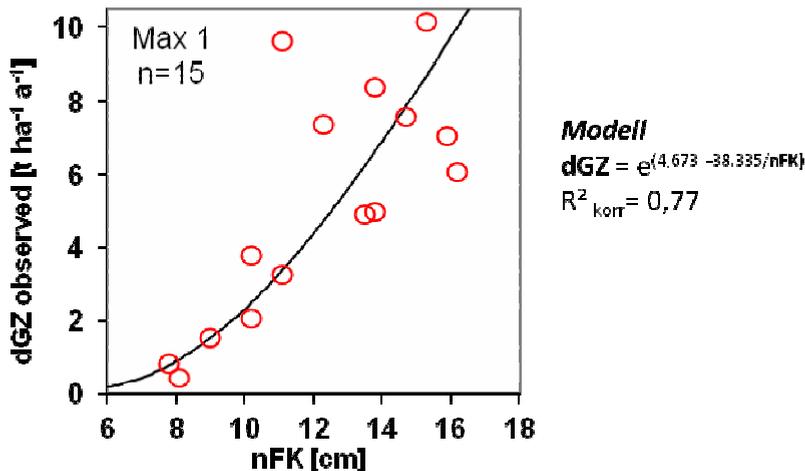


Abbildung 6: dGZ in Abhängigkeit der nFK; nichtlineare Modellanpassung und R^2_{kor} beim Prüfglied Max 1, Hauptbodenartcluster Schluff-Lehm-Ton

Das Tordis-Modell zeigte mit einer linearen Funktion ein R^2_{kor} von 0,82. Eine logarithmische Anpassung hatte nur eine geringfügige Verbesserung des R^2_{kor} (0,85) zur Folge.

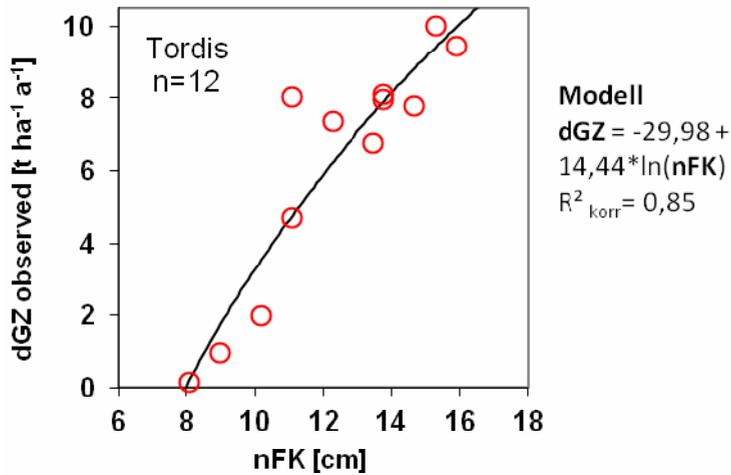


Abbildung 7: dGZ in Abhängigkeit der nFK ; nichtlineare Modellanpassung und R^2_{korr} beim Prüfglied Tordis, Hauptbodenartcluster Schluff-Lehm-Ton

Eine Erklärung für die geringe Relevanz von klimatischen Variablen kann in der ausgeprägten Wasserhaltekapazität dieser Böden liegen. So weist die Mehrheit der Böden in diesem Cluster höhere nFK -Werte auf als die Böden mit Hauptbodenart Sand. Zudem ist die Leitfähigkeit dieser Böden geringer als die der Sandböden, was ebenfalls zur Wasserspeicherung beiträgt. Aufgrund dieser Eigenschaften können die schwereren Böden offensichtlich die mangelnde Wasserversorgung während der sehr trockenen Monate in der ersten und zweiten Wuchperiode kompensieren. Es ist allerdings denkbar, dass mit zunehmender Beobachtungsdauer Klimateffekte einen größeren Einfluss bekommen.

4 Fazit

Die Hauptbodenart hatte einen großen Einfluss sowohl auf die korrelierten Variablen als auch auf die Straffheit der Korrelation. Bei Berücksichtigung aller Standorte lagen die R^2_{korr} der durch multiple Regression errechneten Modelle unter 0,5. Erst die Gruppierung der Standorte nach der Hauptbodenart verbesserte die Güte der Modelle deutlich. Beim Cluster Sand wurden der Sandgehalt [%], die nFK/LK sowie die Temperatursumme zwischen Juli und August als unabhängige Variablen im Modell berücksichtigt. Bei den weiteren Hauptbodenarten (L, U, T) spielte die nFK eine bedeutsame Rolle.

Als Ausblick können folgende Fragen gestellt werden:

- Wie gestaltet sich die Dynamik der Erträge in den Folgerotationen?
- Gibt es bei Folgerotationen standortsspezifische Verläufe der Mehrerträge?

- Ist eine Verbesserung der Modellvorhersage durch direkte Bestimmungsmethoden bodenphysikalischer Kennwerte und Erschließung tieferer Bodenschichten realisierbar?

Literatur

- AD-HOC-AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover, 438 S.
- ALI, W. (2009): Modelling of Biomass Production Potential of Poplar in Short Rotation Plantations on Agricultural Land of Saxony, Germany. Dissertation, Fachrichtung Forstwissenschaften, TU Dresden, 130 S.
- AMTHAUER GALLARDO, D. (in Vorbereitung): Erfassung und Modellierung von Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Rotationen
- BROZIO, S.; PIORR, H.-P.; ZEIDLER, M. u. TORKLER, F. (2009): Methodik zur Ermittlung standortspezifischer Bioenergiepotenziale unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien am Beispiel des Landes Brandenburg, 49-55, Kurzfassungen der Beiträge zum Workshop „Modellierung des Systems Nutzpflanze-Boden – Herausforderungen des 21. Jahrhunderts“, 26. und 27. Februar 2009, Kiel, 125 S.
- DE MARTONNE, E. (1926): Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité. La Meteorologie, 449-458
- MANTAU, U. (2008): Holzrohstoffbilanz Deutschland, Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung bis 2012. Hamburg: INFRO – Informationssysteme für Rohstoffe und Universität Hamburg, Zentrum Holzwirtschaft, 2008, 79 S.
- PETZOLD, R.; FEGER, K.H. u. RÖHLE, H. (2009): Standörtliche Voraussetzungen für Kurzumtriebsplantagen. In: BEMMAN, A. u. KNUST, C. (Hrsg.): AGROWOOD Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven, 44-53, Berlin, 342 S.
- PRETZSCH, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums. Parey Buchverlag Berlin, 341 S.
- WÖSTEN, J.H.M.; PACHEPSKY, Y.A. u. RAWLS, W.J. (2001): Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing hydraulic characteristics. J. Hydrol. 251, 123-150

Korrespondierender Autor:

Daniel Amthauer Gallardo
Kompetenzzentrum HessenRohstoffe e.V.
Am Sande 20
37213 Witzenhausen
E-Mail: d.amthauer@hero-hessen.de
URL: <http://www.hero-hessen.de/>

Dr. Martin Hofmann
Kompetenzzentrum HessenRohstoffe (HeRo) e.V.

Prof. Dr. habil. Heinz Röhle
TU Dresden, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik

Ertragsschätzung in Kurzumtriebsplantagen aus Pappel und Weide

Yield estimations in short-rotation poplar and willow plantations

Heinz Röhle und Katja Skibbe

Zusammenfassung

Für den Kurzumtrieb eignen sich in erster Linie stockausschlagfähige Baumarten mit raschem Jugendwachstum wie Pappeln und Weiden. Die durchschnittlichen Gesamtzuwächse (dGZ_B) an Biomasse variieren in Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten bei Pappel zwischen etwa 4 bis zu mehr als 20 t_{atro} je Hektar und Jahr, bei Weide von ebenfalls etwa 4 bis zu ca. 15 t_{atro} je Hektar und Jahr. Optimale Wuchsleistungen werden bei hohen Bestandesdichten auf gut wasserversorgten Böden erzielt.

Zur standortbasierten Leistungsschätzung von Pappeln im Kurzumtrieb dient ein zweistufiges Modell: Zuerst wird die Oberhöhe mittels multipler linearer Regressionsanalyse in Abhängigkeit vom Bestandesalter und vier Standortfaktoren geschätzt, danach der Biomassevorrat mittels nichtlinearer Regressionsanalyse durch die Bestandesoberhöhe bestimmt. Simulationsrechnungen zufolge könnte bei entsprechender Bestandesdichte und Rotationslängen von unter zehn Jahren auf mehr als 50 % der sächsischen Ackerfläche ein durchschnittlicher Gesamtzu-

wachs an Biomasse von mehr als 8 t_{atro} je Hektar und Jahr in der ersten Rotation erzielt werden.

Die Entwicklung eines nicht destruktiven Ertragsschätzers für Kurzumtriebsplantagen (KUP) aus Pappel basiert auf der Modellierung der Koeffizienten von allometrischen Biomassefunktionen in Abhängigkeit von der Bestandesmittelhöhe [m] und der Bestandesdichte (Triebzahl/ha). Bei der Anwendung des Ertragsschätzers müssen lediglich Durchmesser und Höhen einer KUP erhoben und deren Triebzahl/ha bestimmt werden, um den Biomassevorrat zu bestimmen.

Erste Untersuchungen zur Entwicklung eines Ertragsschätzers für KUP aus Weide zeigen, dass der bei Pappel gewählte Ansatz nicht erfolgversprechend ist und statt der Koeffizientenmodellierung Alternativen wie z. B. die Fortschreibung von Stammzahl-Durchmesserverteilungen zu prüfen sind.

Stichworte: Kurzumtrieb, Ertragsschätzung, Biomassefunktion, Pappel, Weide

Abstract

Coppice tree species with rapid early growth such as poplar and willow are suitable foremost for short rotation plantations. The mean annual increment in biomass, depending on site conditions, ranges from 4 to more than 20 dry Mg ha⁻¹ year⁻¹ for poplar, and from 4 to approx. 15 dry Mg ha⁻¹ year⁻¹ for willow. Optimal growth is achieved in dense stands on soils with good water availability.

A two-tiered model was used in site-based estimations of poplar production in short rotation coppice: first the dominant height is estimated in a multiple linear regression analysis in relation to stand age and four site factors, after which forest biomass is determined in a non-linear regression analysis of stand dominant height. Simulation calculations show that, for a given stand density and rotation period of less than 10 years, a mean annual increment in biomass of more than 8 dry Mg ha⁻¹ year⁻¹ can be reached in the first rotation on more than 50 % of agricultural land in Saxony.

A non-destructive yield estimator for short rotation plantations of poplar was developed based on the modelling of coefficients from allometric biomass functions in relation to stand mean height [m] and stand density (shoot number/ha). To use the yield estimator, i.e. to calculate the biomass, only the diameter, height and the shoot number per hectare of a short rotation plantation need be recorded.

Preliminary studies of the development of a yield estimator for short rotation plantations for willow show that the approach adopted for poplar proves to be unsuitable and, instead of coefficient modelling, alternatives such as the extrapolation of stem number-diameter distributions should be investigated.

Keywords: Short rotation coppice, yield estimation, biomass function, poplar, willow

1 Einleitung

Kurzumtriebsplantagen (KUP) konkurrieren mit den Deckungsbeiträgen, die traditionelle landwirtschaftliche Kulturen auf demselben Standort erzielen. Unerlässlich für die Kalkulation der Renditeerwartungen sind deshalb Informationen zu Naturalerträgen geeigneter Baumarten auf Standorten unterschiedlicher Nährstoffausstattung und Wasserversorgung. Besondere Bedeutung erlangen in diesem Kontext allgemeingültige Schätzhilfen zur Leistungserfassung und -prognose von KUP. Weil das auf KUP produzierte Holz häufig der energetischen Verwertung dient, wird bei der Ertragsbestimmung bzw. -schätzung i. d. R. die Biomasse (oberirdische Biomasse im unbelaubten Zustand) herangezogen. Um Vergleiche zwischen verschiedenen Baumarten und Klonen zu ermöglichen, hat sich die Angabe der Biomasse in Tonnen Trockensubstanz (t_{atro}) bewährt. Als Leistungsgröße findet der durchschnittliche Gesamtzuwachs an Biomasse in Tonnen Trockensubstanz pro Hektar und Jahr Verwendung ($dGZ_B [t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$).

Für den Kurzumtrieb eignen sich stockausschlagfähige Baumarten mit raschem Jugendwachstum, dies sind in Deutschland in erster Linie Pappel- und Weidenarten. Die durchschnittlichen Gesamtzuwächse (dGZ_B) an Biomasse variieren in Abhängigkeit von den standörtlichen Gegebenheiten und der Baum- bzw. Triebanzahl/ha bei Pappel zwischen etwa 4 bis zu mehr als 20 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, bei Weide von ebenfalls etwa 4 bis zu ca. 15 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Optimale Wuchsleistungen werden bei hohen Bestandesdichten auf gut wasserversorgten Böden erzielt.

2 Standortbasierte Leistungsschätzung für Pappel

In der Forstwirtschaft erfolgt die Einschätzung (Bonitierung) und Prognose der Ertragsfähigkeit eines Bestandes mit Ertragstafeln bzw. Wachstumsmodellen. Viele dieser Tafeln bzw. Modelle nutzen die in einem bestimmten Alter auf einem Standort von der Bestockung erbrachte Wuchsleistung, meist die Mittel- oder Oberhöhe, als Eingangsgrößen zur Bonitierung. Die Ertragsfähigkeit wird also nicht direkt über die Standortgüte, sondern indirekt durch die Alters-Höhenbeziehung des aufstockenden Bestandes hergeleitet. Zur Ertragsprognose annueller landwirtschaftlicher Kulturen dienen dagegen häufig Standortcharakteristika wie die so genannte „Ackerzahl“, in deren Berechnung die Bodenwertzahl (kodierte Bodenart) sowie klimatische Faktoren und Geländeverhältnisse einfließen. Da KUP als eine alternative Form der landwirtschaftlichen Bodennutzung angesehen werden können, sind Modelle zur standortbasierten Leistungsschätzung, wie der von ALI (2009) für

Pappel-KUP unterschiedlicher Bestandesdichten in Sachsen entwickelte Ansatz, von besonderer Bedeutung.

2.1 Datengrundlage und Methodik

Zur standortbasierten Leistungsschätzung wurden die Standortdaten und Ertragskennwerte der seit Mitte der 1990er Jahre in Sachsen beprobten Pappelversuchsfelder herangezogen. Korrelations- und Regressionsanalysen dienten zur Prüfung der Beziehungen zwischen den Ertragskennwerten als abhängige Variable und den Bestimmungsgrößen (Standortcharakteristika und Bestandesalter). Witterungsdaten (Temperatur- und Niederschlagswerte in monatlicher Auflösung) sowie die Ackerzahl und die nutzbare Feldkapazität (nFK) im effektiven Wurzelraum standen für alle Versuchsfelder zur Verfügung. Getestet wurden die Beziehungen nicht nur für die Originalvariablen sondern auch für neu gebildete Variable, die durch Transformationen und Verknüpfungen zwischen Originalvariablen entstanden sind. Alle Analysen wurden getrennt nach Klonen bzw. Gruppen von Klonen mit ähnlichem Wuchsverhalten, wie z. B. die Klone Max 1 bis Max 4, vorgenommen.

Da die in einer KUP produzierte Biomasse nicht nur durch die Standortfaktoren, sondern auch ganz maßgeblich durch die Bestandesdichte (Stammzahl ha^{-1}) bestimmt wird, war die alleinige Verwendung von Standorteigenschaften und Bestandesalter zur Schätzung der Biomasseleistung nicht möglich. Deshalb kam ein zweistufiges Modell zur Anwendung: In einem ersten Schritt wurde die Oberhöhe mittels multipler linearer Regressionsanalyse in Abhängigkeit vom Bestandesalter und den Standortfaktoren Mitteltemperatur Monate April bis Juli, Niederschlagssumme Monate Mai bis Juni, Ackerzahl und nutzbare Feldkapazität (nFK) im effektiven Wurzelraum geschätzt, wobei je nach Klon Bestimmtheitsmaße (R^2) von 0,975 bis 0,989 erreicht wurden (s. Abb. 1). In einem zweiten Schritt erfolgte die Schätzung des Biomassevorrates [$t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$] mittels nichtlinearer Regressionsanalyse durch die Bestandesoberhöhe. Auch hier unterstreichen Bestimmtheitsmaße von $R^2 \geq 0,933$ die hohe Anpassungsgüte.

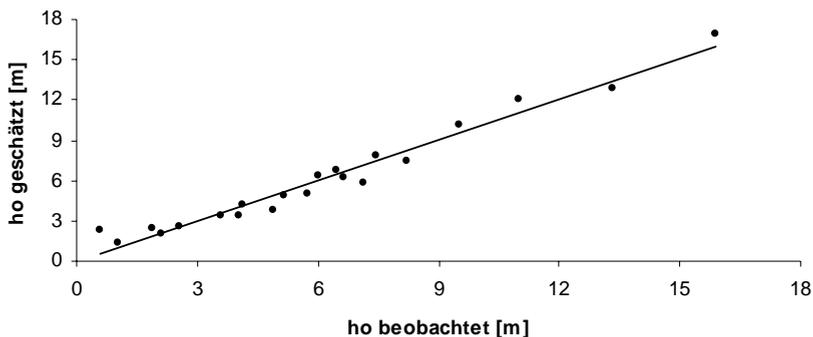


Abbildung 1: Beziehung zwischen geschätzter und beobachteter Oberhöhe für den Klon Matrix

Ausgehend von der Datengrundlage der verfügbaren Pappel-KUP konnte das Standort-Leistungsmodell für folgende Gruppen von Pappelklonen und Bestandesdichten parametrisiert werden:

- Max-Gruppe: Klone Max 1, Max 2, Max 3, Max 4 und Max 5, Altersbereich zwei bis neun Jahre, Bestandesdichte von 1.150-13.000 Bäume ha⁻¹
- Matrix-Gruppe: Klone Matrix und Hybride 275, Altersbereich zwei bis neun Jahre, Bestandesdichte 1.550 Bäume ha⁻¹
- Androscoggin-Gruppe: Klon Androscoggin, Altersbereich zwei bis sieben Jahre, Bestandesdichte 1.550 Bäume ha⁻¹ und
- Münden-Gruppe: Klon Münden, Altersbereich zwei bis sieben Jahre, Bestandesdichte 1.550 Bäume ha⁻¹.

2.2 Ertragspotenzial von KUP in Sachsen

Um das Ertragspotenzial von Pappel-KUP für die gesamte sächsische Ackerfläche abzuschätzen, wurden die erforderlichen Standortvariablen auf Gemeindebasis kalkuliert, mittels ArcGIS dargestellt sowie Simulationsrechnungen für verschiedene Bestandesdichten durchgeführt. Den Ergebnissen zufolge wäre bei einer Stammzahl von 4.000 Stück ha⁻¹ eine Rotationslänge von mindestens neun Jahren, bei einer Stammzahl zwischen 8.333 und 10.000 Stück ha⁻¹ dagegen von nur sieben Jahren erforderlich, um einen durchschnittlichen Gesamtzuwachs an Biomasse (dGZ_B) von $\geq 8 t_{atro} ha^{-1} a^{-1}$ auf mehr als 50 % der sächsischen Ackerfläche in erster Rotation zu erzielen. Abbildung 2 zeigt am Beispiel der Klongruppe Max bei einer Umtriebszeit von neun Jahren, wie sich der Faktor Bestandesdichte auf den durchschnittlichen Gesamtzuwachs an Biomasse (dGZ_B) auswirkt.

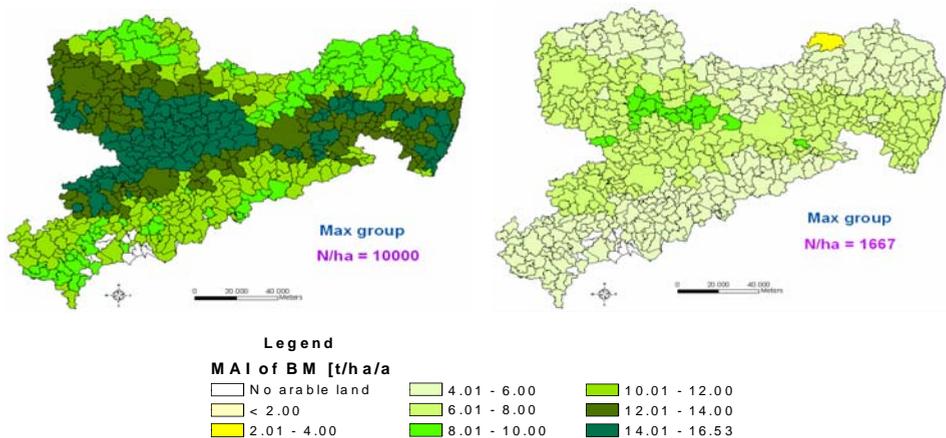


Abbildung 2: $dGZ_B [t_{atro} ha^{-1} a^{-1}]$ bei unterschiedlichen Stammzahlen für Pappeln der Klongruppe Max

Bei der Etablierung von KUP mit einer Bestandesdichte von 1.667 Stück ha⁻¹ würden nur in einigen Gemeinden Mittelsachsens dGZ_B-Werte von 8,01 bis 10 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ realisiert werden. Für die restliche Landesfläche wären je hälftig dGZ_B-Werte von 6,01 bis 8 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ bzw. von 4,01 bis 6 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ zu erwarten, in einer Gemeinde an der Grenze zu Brandenburg würden die Zuwächse noch niedriger liegen. Erfolgte die Begründung dagegen mit Stammzahlen von 10.000 Stück ha⁻¹, lägen die dGZ_B-Werte landesweit über 8,01 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹. Auf einem beachtlichen Teil der Landesfläche, insbesondere in Mittelsachsen und den bergnahen Lagen Ostsachsens, könnten Leistungen von 12,01 bis 16 t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ erreicht werden.

3 Verfahren zur Ertragsermittlung für Pappel

Zur Ertragsermittlung (Vorrat und dGZ an Biomasse) für Pappel-KUP hat sich die Regressionsmethode bewährt (RÖHLE et al. 2009). Bei diesem Verfahren werden Beziehungen zwischen dem Baum- bzw. Triebgewicht (bei Stockausschlägen) und dem Durchmesser in Brusthöhe (BHD) aufgestellt und mit Hilfe von Regressionsgleichungen beschrieben. Diese Gleichungen werden als Biomassefunktionen bezeichnet. Die Regressionsmethode basiert auf der Auswahl und Beerntung einer Stichprobe von Individuen (Bäumen bzw. Trieben ab der zweiten Rotation). An diesen Individuen erfolgt die Bestimmung des Frisch- und Trockengewichtes. Im Einzelnen fallen folgende Arbeitsschritte an:

- BHD-Messung aller Individuen (Bäume bzw. Triebe) auf der Gesamtfläche oder einer repräsentativen Teilfläche eines Bestandes
- Ernte von Individuen über das gesamte BHD-Spektrum
- Bestimmung des Frischgewichtes der geernteten Individuen
- Trocknung der Proben bei 103,5 °C bis zur Gewichtskonstanz und Ermittlung des Trockengewichtes
- Aufstellung einer Biomassefunktion (Beziehung zwischen dem BHD und der Trockenbiomasse) anhand der Daten der geernteten Individuen
- Berechnung der Flächen- bzw. Hektardaten durch Einsetzen der BHD-Werte aller Individuen in die Biomassefunktion

Die allometrische Gleichung

$$BM = a_0 \cdot BHD^{a_1} \quad \text{Formel (1)}$$

ist nach Untersuchungen von RÖHLE et al. (2006) auf Pappel-KUP in Ostdeutschland zur Aufstellung von Biomassefunktionen bestens geeignet (s. Abb. 3).

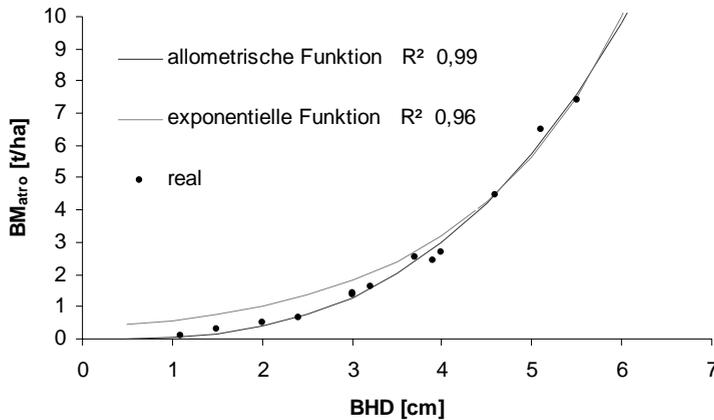


Abbildung 3: Anpassungsgüte der allometrischen Funktion im Vergleich zu einer Exponentialfunktion für die Beziehung zwischen BHD und Triebgewicht

Statistische Tests der Biomassefunktionen einer großen Anzahl von Pappel-KUP zeigten, dass sich die Werte der Koeffizienten a_0 und a_1 zwischen den Klonen nicht signifikant unterscheiden, sehr wohl aber signifikante Einflüsse sowohl der Bestandesmittelhöhe als auch der Bestandesdichte auf die Koeffizienten belegbar sind. Diese Einflüsse lassen sich regressionsanalytisch beschreiben und für beliebige Bestandesdichte-/Höhenkombinationen modellieren. Darüber hinaus besteht zwischen den Koeffizienten a_0 und a_1 eine straffe Beziehung, die mit Hilfe einer linearen Gleichung bei einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,73$ beschrieben wird.

3.1 Entwicklung des Ertragsermittlers

Sowohl für die Entwicklung des Ertragsschätzers in der ersten, vorläufigen Version (HARTMANN 2010) als auch für dessen Evaluierung standen umfangreiche Datensätze zur Verfügung, die neben den Bestandeskennwerten (Mittelhöhe, Durchmesser des Grundflächenmittelstammes, Stammzahl pro Hektar) auch die Parameter der Biomassefunktionen für jede untersuchte Fläche enthielten.

Das Modell berechnet den Biomasseertrag einer Fläche über die Formel:

$$BM = \frac{N \cdot a_0 \cdot dm^{a_1}}{1000} \quad \text{Formel (2)}$$

Dabei werden die Stammzahl pro Hektar (N) und der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (dm) einer KUP als bekannt vorausgesetzt, die Werte der Koeffizienten a_0 und a_1 dagegen über ein Gleichungssystem geschätzt. Zentrale Bedeutung nimmt dabei die Schätzung des Parameters a_0 ein. Für dessen Berechnung wird eine Regressionsgleichung in Abhängigkeit von der Mittelhöhe (hm) des Bestandes herangezogen. Tabelle 1 zeigt zu den einzelnen Mittelhöhenstufen die jeweiligen Regressionsgleichungen.

Tabelle 1: Regressionsfunktionen zur Ermittlung des Koeffizienten a_0

Nr.	Höhenstufe	Regressionsfunktion
1	$2 \leq hm \leq 2,5$	$a_0 = 2,901 N^{-0,245}$
2	$2,5 < hm \leq 3$	$a_0 = 3,091 N^{-0,276}$
3	$3 < hm \leq 3,5$	$a_0 = 3,034 N^{-0,293}$
4	$3,5 < hm \leq 4$	$a_0 = 3,292 N^{-0,321}$
5	$4 < hm \leq 4,5$	$a_0 = 3,237 N^{-0,334}$
6	$4,5 < hm \leq 5$	$a_0 = 3,231 N^{-0,346}$
7	$5 < hm \leq 5,5$	$a_0 = 3,127 N^{-0,355}$
8	$5 < hm \leq 6$	$a_0 = 3,061 N^{-0,363}$
9	$6 < hm \leq 7$	$a_0 = 3,419 N^{-0,397}$
10	$7 < hm \leq 8,4$	$a_0 = 3,619 N^{-0,404}$
11	$8,5 < hm \leq 9,4$	$a_0 = 3,732 N^{-0,417}$
12	$9,5 < hm \leq 10,4$	$a_0 = 3,908 N^{-0,432}$
13	$10,5 < hm \leq 11,4$	$a_0 = 4,178 N^{-0,452}$
14	$11,5 < hm \leq 12,4$	$a_0 = 4,604 N^{-0,476}$

Durch Einsetzen der Stamm- bzw. Triebanzahl [N] in die Regressionsgleichungen ergibt sich der Wert für den Koeffizienten a_0 . Der zugehörige Koeffizient a_1 kann mittels linearer Regression von a_0 abgeleitet werden (Formel 3).

$$a_1 = -3,379 \cdot a_0 + 2,593 \dots R^2 = 0,73 \quad \text{Formel (3)}$$

Abschließend werden die Werte der beiden Koeffizienten a_0 und a_1 in die Formel (1) eingesetzt und der Biomasseertrag pro Hektar [$t_{\text{atro}}/\text{ha}$] bestimmt.

3.2 Evaluierung des Ertragsermittlers

Um die Güte der ersten Version des Ertragsermittlers (HARTMANN 2010) zu beurteilen, wurde eine Validierung mit einem unabhängigen Datensatz durchgeführt. Der quantitative Vergleich der Ertragsschätzungen mit den tatsächlichen Biomasseerträgen zeigte durchschnittlich über alle Höhenstufen einen geringen, nicht signifikanten Bias von -0,9%. Das entspricht einer mittleren Unterschätzung der Biomasseerträge von -0,2 $t_{\text{atro}}/\text{ha}$ (s. Abb. 4).

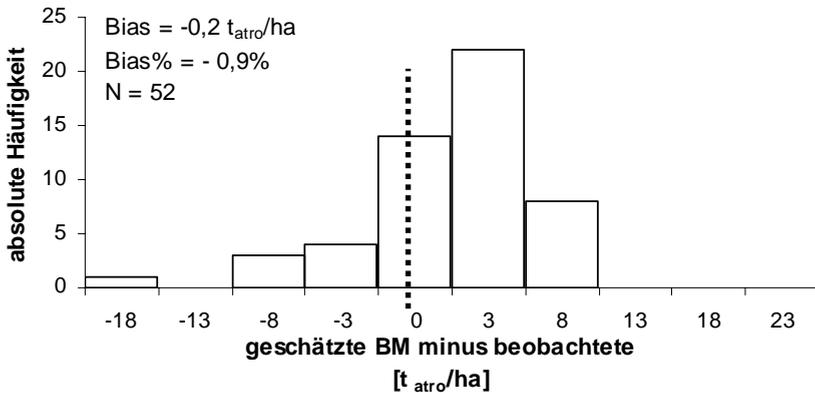


Abbildung 4: Abweichung zwischen geschätzten und realen Biomassewerten

Die Abweichungen variieren von $-20 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha}$ bis zu $+10 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha}$. Eine differenzierte Beurteilung der Schätzgenauigkeit ist durch den Vergleich der Erträge in den einzelnen Höhenstufen möglich. Tabelle 2 zeigt dazu die prozentualen Verzerrungen und die durchschnittlichen Abweichungen der geschätzten Biomasseerträge von den tatsächlich ermittelten Werten. Signifikante Abweichungen konnten in der Höhenstufe 3 ($2,5 \leq h_m \leq 3,5 \text{ m}$) festgestellt werden. Mit einer Abweichung von $-23,7\%$ wurden die Erträge hier deutlich unterschätzt, was darauf zurückzuführen ist, dass zur Konstruktion der ersten Version des Ertragsschätzers nur wenig Datenmaterial aus diesem Höhenbereich zur Verfügung stand.

Tabelle 2: Durchschnittliche Abweichungen der geschätzten von den realen Biomasseerträgen in unterschiedlichen Bestandesmittelhöhenbereichen

Mittelhöhe	3	4	5	6	7	8	9	10	12	gesamt
Bias [$\text{t}_{\text{atro}}/\text{ha}$]	-1,88	0,04	1,46	2,29	-4,97	-4,82	-0,26	-12,2	2,47	-0,21
Bias [%]	-23,70	6,42	10,35	9,57	-19,06	-15,17	-1,08	-13,52	6,78	-0,98
N	9	8	11	10	1	1	3	3	5	51
P_w	0,058	0,6	0,305	0,165	0,317	0,317	0,827	0,513	0,602	0,88

Die Erweiterung des Basisdatensatzes um die Werte des Validierungsdatensatzes führte zu einer Neuparametrisierung der Regressionsfunktionen und einer Neueinteilung der Höhenstufen im Regressionskurvenfächer. Damit konnte eine Verbesserung erzielt werden, die vor allem in den unteren Höhenstufen (3 bis 7) zum Tragen kam. In Abbildung 5 sind die Spannweiten zwischen maximaler und minimaler Abweichung getrennt nach Höhenstufen dargestellt.

Durch die geringere Spannweite zwischen maximaler und minimaler Abweichung der überarbeiteten Version des Ertragsschätzers wird deutlich, dass vor allem Ausreißer eliminiert wurden. In den Höhenstufen 8 bis 14 dagegen konnte

keine Verbesserung erreicht werden. Deshalb wurden hier die Regressionsfunktionen auch nicht neu parametrisiert, sondern ohne Änderung von der ersten Version übernommen.

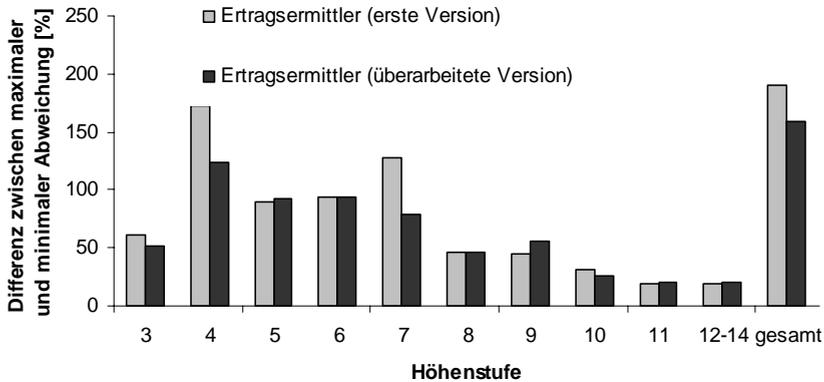


Abbildung 5: Differenz zwischen minimaler und maximaler Abweichung [%] der modellierten von den tatsächlich ermittelten Biomasseerträgen in den einzelnen Höhenstufen

3.3 Methodische Grundlagen zur Modellentwicklung

Die folgenden Ausführungen beziehen sich ausschließlich auf das neu angepasste Modell.

Grundlage für den Modellansatz zur Entwicklung des Ertragsermittlers sind die nicht linearen Beziehungen zwischen dem Koeffizienten a_0 und der Stamm- bzw. Triebanzahl pro Hektar und der Bestandesmittelhöhe. Abbildung 6 macht deutlich, dass mit zunehmender Stamm- bzw. Triebanzahl pro Hektar und steigender Bestandesmittelhöhe der Wert des Koeffizienten a_0 sinkt.

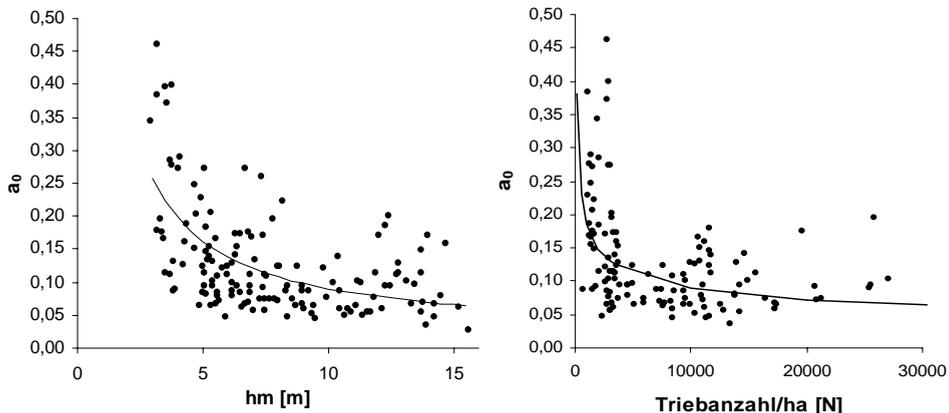


Abbildung 6: Beziehung zwischen der Bestandesmittelhöhe (links $R^2=0,48$) sowie der Triebanzahl pro Hektar (rechts $R^2=0,37$) und dem Koeffizienten a_0

Diese Beziehungen können mathematisch beschrieben werden, sind jedoch mit Bestimmtheitsmaßen von $R^2 = 0,48$ und $R^2 = 0,37$ für eine Modellierung der Werte des Koeffizienten a_0 nicht ausreichend präzise. Eine Kombination beider Ansätze führte allerdings zu einer deutlichen Verbesserung der Schätzgenauigkeit für den Koeffizienten a_0 . Dabei wird der Datensatz in Bereiche unterschiedlicher Mittelhöhen zerlegt und es werden für diese Bereiche gesonderte Beziehungen zwischen Stamm- bzw. Triebanzahl und Koeffizient a_0 aufgestellt. Somit kann die Schätzung für a_0 wesentlich präzisiert werden. Die besten Anpassungen sind mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,96$ im Mittelhöhenbereich 4,5 m bis 7 m erzielt worden (s. Abb. 7).

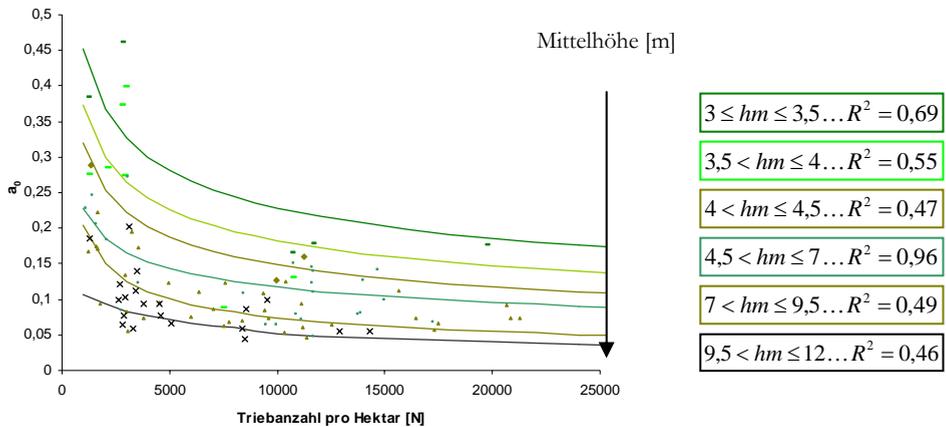


Abbildung 7: Modifizierter Modellansatz zur Schätzung von a_0 für unterschiedliche Mittelhöhen-Bereiche

4 Überlegungen zur Ertragsermittlung für Weide

Weidenklone wie Inger und Tordis zählen zu den Hochleistungssorten im Kurzumtrieb. Ein Instrument zur Ertragsschätzung für KUP aus Weide steht der Praxis jedoch bisher nicht zur Verfügung.

Erste Überlegungen zur Entwicklung eines Ertragsschätzers für KUP aus Weide zeigen, dass die Relationen zwischen Ertragsgrößen und Biomassekoeffizienten nicht mit denen für Pappel zu vergleichen sind. Zwar besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Koeffizienten der getesteten Biomassefunktionen (s. Abb. 8, rechts), aber keine vergleichbare Beziehung zwischen der Triebanzahl pro Hektar und a_0 (s. Abb. 8, links), die für die Entwicklung des Pappelschätzers entscheidend war. Für die Ertragsermittlung von Weidenplantagen muss demnach auf völlig andere Relationen zurückgegriffen werden.

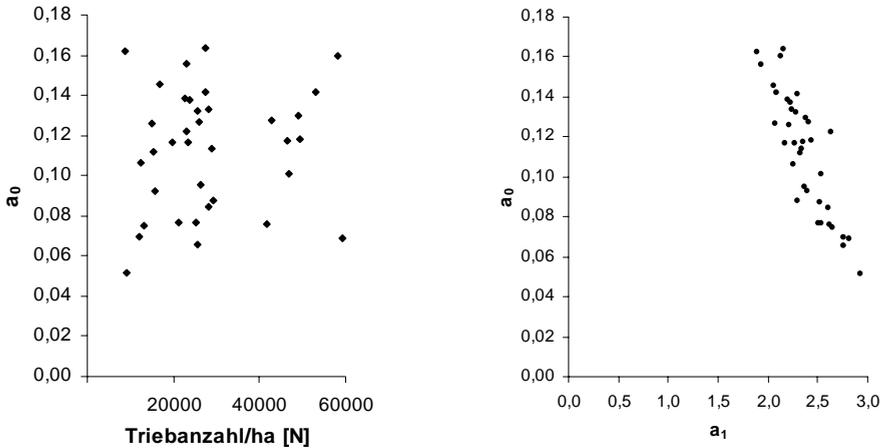


Abbildung 8: Beziehungen zwischen der Triebanzahl und dem Koeffizienten a_0 (links) sowie zwischen den Koeffizienten a_1 und a_0 (rechts)

5 Fazit

Die bisher durchgeführten, umfangreichen Ertragsuntersuchungen an Pappel und Weide machen deutlich, dass

- die Biomasse von KUP aus Pappel und Weide je nach Standortbedingungen und Bestandesdichten in einem weiten Rahmen variiert,
- Standort-Leistungsbeziehungen eine Schätzung der Erträge (dGZ-Biomasse) für Pappel bei verschiedenen Bestandesdichten ermöglichen und
- mit Hilfe der Regressionsmethode für Pappel eine Schätzhilfe entwickelt wurde, die eine zerstörungsfreie Ermittlung der Biomasse erlaubt und als Downloadversion zur Verfügung steht. Ob die Herleitung eines entsprechenden Schätzers für Weide darstellbar ist, wird derzeit geprüft.

Literatur

- ALI, W. (2009): Modelling of Biomass Production Potential of Poplar in Short Rotation Plantations on Agricultural Land of Saxony, Germany. Dissertation, Fachrichtung Forstwissenschaften, TU Dresden, 130 S.
- HARTMANN, K.-U. (2010): Entwicklung eines Ertragsschätzers für Kurzumtriebsbestände aus Pappel. Dissertation, Fachrichtung Forstwissenschaften, TU Dresden, 150 S.
- RÖHLE, H.; HARTMANN, K.-U.; GEROLD, D.; STEINKE, C. u. SCHRÖDER, J. (2006): Überlegungen zur Aufstellung von Biomassefunktionen für Kurzumtriebsbestände. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* 177, 178-187
- RÖHLE, H.; HARTMANN, K.-U.; STEINKE, C. u. MURACH, D. (2009): Leistungsvermögen und Leistungserfassung von Kurzumtriebsbeständen. In: REEG, T.; BEMMANN, A.; KONOLD, W.; MURACH, D. u. SPIECKER, H. (2009): *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen.* WILEY-VCH Verlag, Weinheim, S. 41-45

Korrespondierender Autor:

Prof. Dr. habil. Heinz Röhle
Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik
Fachrichtung Forstwissenschaften
TU Dresden
Piener Str. 8
01737 Tharandt
E-Mail: roehle@forst.tu-dresden.de
URL: <http://www.forst.tu-dresden.de/Waldwachstum/>

Katja Skibbe
TU Dresden, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik

Rindenanteile und Aschegehalt von Pappel- und Weidenhybriden

Bark fraction and ash content in poplar and willow hybrids

Daniel Amthauer Gallardo und Daniel Seymour

Zusammenfassung

Aufgrund ihrer vergleichsweise günstigen Energie- und CO₂-Bilanz ist der Anbau von schnellwachsenden Baumarten in kurzen Rotationen in den Vordergrund gerückt. In der Praxis bestehen jedoch Zweifel über die Qualität als Brennstoff der verwendeten Baumarten bzw. Hybriden.

Auf der ProLoc Versuchsfläche Unterrieden sind Rindenanteile und Aschegehalte von Krone, Stamm und Vollbaum für die Pappelhybriden Max 1 (*P. nigra* × *P. maximowiczii*), H 275 (*P. maximowiczii* × *P. trichocarpa*), AF 2 (*P. deltoides* × *P. nigra*) sowie für die Weidenhybriden Inger (*S. triandra* × *S. viminalis*) und Tordis (*S. viminalis* × *S. schwerinii*) × *S. viminalis*) ermittelt worden. Dabei wurden Triebe über das ganze Durchmesserpektrum (BHD) berücksichtigt. Der maximale BHD zum Ende der ersten dreijährigen Rotation belief sich bei der Weide auf 4,5 cm und bei der Pappel auf 7,0 cm.

Die Aschegehalte variierten im Kompartiment Holz zwischen 0,46 % und 0,57 %. Die Mittelwerte wiesen geringfügige Unterschiede auf, die nur teilweise

signifikant waren. Im Kompartiment Rinde waren die Unterschiede im Aschegehalt dagegen viel ausgeprägter. Einzig die Pappelklone AF 2 und Max 1 zeigten keine signifikant unterschiedlichen Mittelwerte. Die Aschegehalte betragen aufsteigend 2,6 % bei Tordis, 2,9 % bei Inger, 3,3 % bei H 275, 3,9 % bei Max 1 und 4,1 % bei der AF 2. Bei den Pappelsorten lagen somit die Aschegehalte in der Rinde deutlich über denen der Weiden. Um eine indirekte Bestimmung der Rindenanteile und der Aschegehalte auf den Einzelbaum sowie auf Bestandesebene zu ermöglichen, wurde eine Funktionsanpassung der Werte mit dem Power-Ansatz ($\text{Gewicht} = a_0 \cdot \text{BHD}^{a_1}$) durchgeführt. Dabei lagen alle Regressionskoeffizienten (R^2) über 0,97. Die indirekt ermittelten durchschnittlichen Gesamtzuwächse der verschiedenen Sorten bewegten sich im Bereich zwischen 8,5 und 11,0 t_{atro} je Hektar und Jahr. Die durchschnittlichen Rindenanteile der Pappelsorten Max 1 und AF 2 lagen bei jeweils 28 % und 27 %, die der Sorte H 275 bei 25 %. Die Weidensorten Inger und Tordis lagen bei jeweils 22 und 18 %. Die indirekt ermittelten Aschegehalte betragen aufsteigend 0,9 % bei Tordis, 1,0 % bei Inger, 1,2 % bei H 275, 1,4 % bei Max 1 und 1,5 % bei AF 2. Sowohl in den Rindenanteilen als auch in den Aschegehalten sind signifikante Unterschiede zwischen den Sorten festgestellt worden. Einzig die Rindenanteile der AF 2 und Max 1 zeigten keine signifikant unterschiedlichen Mittelwerte. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die hier untersuchten Weidenhybriden im Vergleich zu den Pappelhybriden, sowohl auf der Einzelbaum- als auch auf der Bestandesebene günstigere Eigenschaften im Rindenanteil und Aschegehalt aufwiesen. Es kann jedoch festgehalten werden, dass die Sorte H 275 die niedrigsten Asche- und Rindenanteile unter den Pappeln zeigte.

Stichworte: Pappel, Weide, Rinde, Asche, KUP, Hackschnitzel

Abstract

Due to the comparatively favourable energy and CO₂ balance, the cultivation of fast growing tree species in short rotations has gained interest. In practice however there is doubt about the quality of the fuelwood of the tree species or hybrids used.

At the ProLoc study site at Unterrieden, the bark fraction and ash content of crown, stem and entire tree has been determined for the poplar hybrids Max 1 (*P. nigra* × *P. maximowiczii*), H 275 (*P. maximowiczii* × *P. trichocarpa*), AF 2 (*P. deltoides* × *P. nigra*), as for the willow hybrids Inger (*S. triandra* × *S. viminalis*) und Tordis ((*S. viminalis* × *S. schwerinii*) × *S. viminalis*). In this study the full diameter spectrum (dbh) of the shoots was considered. The maximum dbh at the end of the first three-year rotation amounted to 4.5 cm and 7.0 cm for willow and poplar respectively.

In the compartment wood, the ash content varied between 0.46 and 0.57 %. The mean values indicate only slight differences that were only occasionally signifi-

cant. In contrast, in the compartment bark, the differences in ash content were more distinct. Only the poplar clone AF 2 and Max 1 revealed no significant difference in mean values. The ash content was, in ascending order, 2.6 % for Tordis, 2.9 % for Inger, 3.3 % for H 275, 3.9 % for Max 1 and 4.1 % for AF 2. Thus, for the poplar hybrids the ash content found in the bark was clearly higher than that of willow hybrids. To enable an indirect determination of the bark fraction and ash content for individual trees as well as for the stand, a function was fitted to the values with the Power approach ($\text{weight} = a_0 \cdot \text{dbh}^{a_1}$). All regression coefficients were higher than 0.97. The mean total increment determined indirectly of the different hybrids ranged from 8.5 to 11.0 $t_{(\text{atro})} \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$. The mean bark fractions of the poplars Max 1, AF 2 and H 275 were 28 %, 27 % and almost 25 % respectively. For the willow hybrids Inger and Tordis, this value was 22 and 18 % respectively. The ash content determined indirectly amounted to, in ascending order, 0.9 % for Tordis, 1.0 % for Inger, 1.2 % for H 275, 1.4 % for Max 1 and 1.5 % for AF 2. Both for the bark fractions as well as in the ash content there were significant differences between hybrids. Only the bark fraction of AF 2 and Max 1 showed no significant difference in mean values. In summary, one can say that the willow hybrids investigated here by comparison to the poplar hybrids, revealed more favourable characteristics in bark fraction and ash content both for the individual trees and at the stand level. However it can be established that the sort H 275 had the lowest ash and bark content of the poplars.

Keywords: poplar, willow, bark, ash, short rotation plantations, woodchips

Korrespondierender Autor:

Daniel Amthauer Gallardo
Kompetenzzentrum HessenRohstoffe e.V.
Am Sande 20
37213 Witzenhausen
E-Mail: d.amthauer@hero-hessen.de
URL: <http://www.hero-hessen.de/>

Stickstoffumsatz in einer Kurzumtriebsplantage in Nordost-Deutschland

Nitrogen turnover in a short rotation coppice in northeast Germany

Jürgen Kern, Antje Balasus, Volkhard Scholz

Zusammenfassung

Im Rahmen eines von der FNR geförderten Projekts (*Einfluss der mineralischen N-Düngung auf den Biomassertrag von Pappel und Weide und Ermittlung relevanter Umweltwirkungen*) werden auf einem brandenburger Sandstandort die Stickstoffflüsse in einer Kurzumtriebsplantage untersucht. Das Ziel des Projekts ist die Optimierung der Stickstoffdüngung. Das bedeutet höchstmögliche Erträge bei gleichzeitig geringster Umweltbelastung (Nitratauswaschung, N₂O-Emissionen) zu erzielen.

Die untersuchten Kurzumtriebsgehölze sind Pappel (*Populus maximoviczii* × *P. nigra* Klon Max 4) und Weide (*Salix viminalis* Klon Inger), die im April 2008 als Stecklinge gesetzt wurden und nach zwei Jahren ein erstes Mal geerntet wurden. In Anlehnung an das ProLoc-Versuchsdesign werden die Feldversuche in einer randomisierten Blockanlage durchgeführt. Zusätzlich wird die Wirkung von mineralischem Stickstoff, der in vier Stickstoffdüngungsstufen (0, 25, 50 und 75 kg N je Hektar und Jahr) appliziert wird, untersucht. Bodenbürtige Emissionen des Treibhausgases N₂O werden gaschromatographisch nach Anreicherung in geschlosse-

nen Hauben gemessen. Die Auswaschung der sehr mobilen Nitratfraktion wird mit Hilfe der Harzboxentechnik in halbjährigem Abstand erfasst.

Nach der ersten Ernte zeigte sich, dass der Trockenmasse-Ertrag der Gehölze mit der Stickstoffdüngungsrate nicht korreliert. Mit zunehmender Intensität der Stickstoffdüngung wurde allerdings vermehrt Nitrat-Stickstoff ausgewaschen und N_2O freigesetzt. Auf den mit 75 kg N je Hektar und Jahr gedüngten Flächen wurden bis zu 53 % des applizierten Stickstoffs aus der Hauptwurzelzone von Pappel in 1 m Tiefe ausgewaschen. Bei der Weide lag dieser Anteil bei 32 %. Ein weiterer bedeutender Stickstoffverlust erfolgt durch Mineralisationsprozesse im Boden mit N_2 als gasförmiges Endprodukt. Darüber hinaus spielt die Freisetzung von N_2O eine besondere Rolle wegen seines hohen Treibhausgaspotenzials. Der durchschnittliche Emissionsfaktor für N_2O lag im Pappelbestand bei 0.12 % und im Weidenbestand bei 0.41 %. Diese Werte liegen deutlich unter dem Wert von 1 %, der vom Weltklimarat (IPCC) für landwirtschaftliche Flächen in gemäßigten Klimazonen noch als vertretbar angesehen wird.

Negative Begleiterscheinungen der Stickstoffdüngung sind während der Etablierungsphase von Pappel und Weide als mäßig einzustufen. Da düngungsbedingte Ertragssteigerungen sowohl bei Pappel als auch bei Weide zum gegenwärtigen Zeitpunkt am Potsdamer Versuchsstandort nicht erkennbar sind, bedarf es der Untersuchung von ein bis zwei weiteren Erntephasen, um die mögliche Verzichtbarkeit des Einsatzes von Stickstoffdünger sicher zu belegen.

Stichworte: Pappel, Weide, Stickstoffdüngung, Ertrag, Auswaschung, Treibhausgase

Abstract

As part of an FNR project (Influence of mineral N fertilization on biomass production of poplar and willow and the determination of relevant environmental impacts), the nitrogen fluxes in a sandy soil of a short rotation coppice in Brandenburg were investigated. The aim of the project was to optimize N fertilization. Thus the highest possible biomass yields with the least possible environmental impact (nitrogen leaching, N_2O emission) were targeted.

The short rotation tree species investigated were poplar (*Populus maximowiczii* × *P. nigra* clone Max 4) and willow (*Salix viminalis* clone Inger), from which cuttings were struck in April 2008 and harvested first two years later. In keeping with the ProLoc experimental design, a randomized block design was adopted for the field trials. In addition the effect of mineral nitrogen was investigated by applying nitrogen fertilizer in four treatments (0, 25, 50 and 75 kg N ha⁻¹ a⁻¹). After an increase in concentration in a closed chamber, soil-borne emissions of the greenhouse gas N_2O were measured by gas chromatography. Leaching of the very mobile nitrogen fraction was recorded at six-monthly intervals using the resin core technique.

After the first harvest, no correlation between dry weight yield of wood and the nitrogen fertilization rate was evident. With increasing intensity of nitrogen fertilizer, however, the amount of nitrate leached increased as did the N_2O released. On the sites fertilized with $75 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, up to 53 % of the nitrogen applied was leached out of the main root zone of poplar at 1 m depth. For willow, this amounted to 32 %. An additional, significant loss of nitrogen occurred through the mineralization process in soil, producing the gaseous end product N_2 . Furthermore the release of N_2O played an important role due to its high potential to produce greenhouse gases. The average emission factor for N_2O for poplar and willow stands was about 0.12 % and 0.41 % respectively. These values are well below the value of 1 % defined by the IPCC as an acceptable standard for agricultural land in temperate zones.

During the establishment phase of the poplar and willow plantations, negative impacts accompanying nitrogen fertilization were found to be moderate. Since yield increases due to fertilization, both for poplar and for willow, are not yet apparent at the Potsdam study site, the investigation of another one or two harvesting phases is necessary to confirm with certainty whether the use of nitrogen fertilizer can be abandoned.

Keywords: poplar, willow, nitrogen fertilizer, yield, leaching, greenhouse gases

Korrespondierender Autor:

Dr. Jürgen Kern

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)

Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam

E-Mail: jkern@atb-potsdam.de

URL: <http://www.atb-potsdam.de/>

Antje Balasus

Dr. Volkhard Scholz

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)

Dynamik der organischen Bodensubstanz nach Anlage von Schnellwuchsplantagen

Soil organic matter dynamics after establishing of fast-growing plantations

Nicole Heyn und Christine Wachendorf

Zusammenfassung

Im Verbundvorhaben ProLoc, das der Erfassung von Standort-Klon-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide in kurzen Umtriebszeiten dient, werden Böden ausgewählter Standorte in den Parzellen des Pappelklons Max1 charakterisiert und deren Kohlenstoffvorräte aufgezeigt. Die Erfassung des Ausgangszustandes der Kohlenstoffvorräte stellt eine Grundlage dar, den Einfluss von Schnellwuchsplantagen auf die C-Dynamik während weiterer Rotationen zu ermitteln. Da Änderungen des Gesamt-C im Boden auf Grund der Variabilität in der Fläche als auch der geringen relativen Änderungsraten während kurzer Zeiträume im Boden schlecht nachzuweisen sind, werden im Oberboden Kohlenstofffraktionen untersucht, die einer stärkeren Dynamik unterliegen.

Der mittlere Gesamtbodenkohlenstoffvorrat bis zu einer Bodentiefe von 90 cm aller 20 untersuchten Standorte beträgt 114 t/ha, wobei im Mittel 61 % des gesamten C-Vorrats im Oberboden (in einer Bodentiefe von 0-30 cm) ermittelt wurden.

In Abhängigkeit von der Vornutzung und der Bodeneigenschaften zeigen die Böden eine unterschiedliche Verteilung des C in verschiedenen Bodenfraktionen aller 20 untersuchten Standorte auf. In den sandfreien Makroaggregaten sind in einer Bodentiefe von 5-30 cm im Mittel 43 % des Gesamt-C gespeichert. Die sandfreien Mikroaggregate weisen in einer Bodentiefe von 5-30 cm eine mittlere C-Speicherung von 27 % auf. An 12 untersuchten Standorten ist in der labileren Makroaggregatfraktion, mit einer Aggregatgröße von 2000-250 μm , mehr C als in den Mikroaggregaten (250-53 μm) gespeichert. In der partikulären organischen Substanz, die überwiegend aus nicht humifizierten Pflanzenresten besteht, sind im Mittel 7 % des C gespeichert.

Um mögliche Veränderungen im Oberboden von Kurzumtriebsplantagen während der ersten Rotation aufzuzeigen, wird an Standorten, die durch einen homogenen Pflughorizont gekennzeichnet sind geprüft, inwiefern sich die Verteilung des Kohlenstoffs in unterschiedlichen Bodenfraktionen in 0-5 cm von dem Boden in 5-30 cm Tiefe unterscheiden. Unterschiede in der Makro- und Mikroaggregatfraktion in beiden Bodentiefen sind in dieser geringen Zeitspanne nach der Umnutzung und der damit verbundenen Bodenruhe nicht signifikant.

An fünf Standorten erfolgte eine zweite Bodenbeprobung. Die Daten werden mit den Daten der benachbarten Ackerfläche bzw. Grünlandfläche verglichen. 2,5 Jahre nach Anlage der Schnellwuchsplantagen haben sich hierbei im Oberboden zwischen der Schnellwuchsplantage und der benachbarten Ackerfläche bzw. Grünlandfläche keine signifikanten Unterschiede in den Gehalten an C sowohl in den Makroaggregaten als auch in den Mikroaggregaten herausgebildet.

Stichworte: ProLoc, Schnellwuchsplantage, Pappel, Aggregate, partikuläre organische Substanz

Abstract

In the ProLoc research project with the aim of surveying site-clone interactions of poplar and willow in short rotation plantations, soils from plots of the poplar clone Max1 at selected sites were described and their carbon pools recorded. The survey of initial carbon pools provides a basis for determinations of the effect of fast-growing plantations on C dynamics during successive rotations. As changes in total soil C are difficult to identify due to site variability and small relative rates of change over short periods, the carbon fraction in the surface soil, where C dynamics is stronger, was investigated.

The mean total soil carbon pool to a soil depth of 90 cm of all 20 sites investigated amounted to 114 t/ha, where, on average, 61 % of the total C pool was found in the surface soil (soil depth 0-30 cm).

Depending on former land use and soil characteristics, C distribution differed in the different soil fractions of all 20 sites investigated. In sandfree macroaggre-

gates, 43 % of total C on average is stored at a soil depth of 5-30 cm. Sandfree microaggregates have a mean C pool of 27 % at a soil depth of 5-30 cm. At 12 sites investigated, more C was stored in the more labile soil macroaggregate fraction with an aggregate size of 2000-250 μm than in the micro-aggregates (250-53 μm). In the particulate organic matter consisting predominantly of non-humified plant remains, an average of 7 % C is stored.

To reveal possible changes in the surface soil of short rotation plantations during the first rotation, sites with a homogeneous plough horizon were studied to determine the extent to which C distribution in different soil fractions in the soil at 0-5 cm depth differed from soil at 5-30 cm depth. The differences in the macro-, and microaggregate fraction at both soil depths was not significant for this short time period after the change in land use and resulting absence of soil tillage.

A second soil sampling was conducted on 5 sites. The data were compared to the data from adjacent agricultural fields and grassland respectively. Two and a half years after the fast-growing plantations had been established, no significant differences in the C content of macroaggregates or microaggregates in the surface soil were found between the plantations and the adjacent cultivated fields and grassland respectively.

Keywords: ProLoc, fast-growing plantations, poplar, aggregates, particulate organic matter

1 Einleitung

Das Ziel der Untersuchung besteht in der Bestimmung des Einflusses von Schnellwuchsplantagen auf die Kohlenstoffdynamik im Boden, wobei geprüft wird, wie der Kohlenstoff in den einzelnen Fraktionen und in der organischen Substanz des Bodens verteilt ist. Es soll geprüft werden, ob bereits nach einem bis eineinhalb Jahren nach Anlage der Schnellwuchsplantagen ein Gradient in der Speicherung von C_{org} in verschiedenen Aggregatfraktionen im Oberboden der vormals gepflügten Standorte nachgewiesen werden kann. Weiterhin wird untersucht, ob sich 2,5 Jahre nach Anlage der Schnellwuchsplantagen signifikante Unterschiede der Bodenkohlenstoffvorräte und der Verteilung des Kohlenstoffs in den Bodenfraktionen und der organischen Substanz im Boden zwischen Schnellwuchsplantagen und der benachbarten Acker- bzw. Grünlandfläche herausgebildet haben. Es wird vermutet, dass im Boden unter Schnellwuchsplantagen auf Grund der fehlenden Bodenbearbeitung (BALESDENT et al. 2000, KAHLE et al. 2007, KASPER et al. 2009, LAL et al. 1997, SCHLESINGER 2000) und dem damit einhergehenden vermuteten vermehrten Eintrag an organischer Substanz (MEIRESONNE et al. 2007) eine Änderung der Kohlenstoffverteilung im Boden erfolgt und dass sich auf Standorten mit ehemals homogenem Pflughorizont und geringer bis mittlerer biologischer Aktivität ein Tiefengradient hinsichtlich der Speicherung des Kohlenstoffs herausbildet. Eine weitere Annahme ist, dass im Boden unter Schnellwuchsplanta-

gen, im Vergleich zu Acker- bzw. Grünlandflächen eine Änderung der C-Speicherung in verschiedenen Bodenfraktionen schon nach kurzer Zeit zu beobachten ist.

2 Methoden

Zur Ermittlung der organischen Bodenkohlenstoffvorräte von 20 ausgewählten Standorten des ProLoc-Versuchsflächen erfolgte kurz nach der Anlage der Schnellwuchsplantagen im April 2008 im Zeitraum von Oktober 2008 bis November 2009 an den Standorten eine Bodenbeprobung in den Parzellen, die mit dem Pappelklon Max1 bestockt waren. Der Versuchsaufbau ist von AMTHAUER GALLARDO et al. (in diesem Band S. 91 ff.) beschrieben. Es wurden die Tiefen 0-5 cm, 5-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm beprobt, wobei je Feldparallele vier Bodenproben entnommen wurden, welche anschließend im Labor auf 2 mm gesiebt und tiefenbezogen jeweils zu einer Mischprobe vereinigt wurden. Die Analyse des Bodenkohlenstoffgehaltes erfolgte an jeweils einer Mischprobe der jeweiligen Tiefe je Feldparallele durch Hochtemperaturverbrennung mit nachfolgender Gasanalyse mittels Makroanalysator der Firma Elementar (Hanau). Hierfür wurden im Vorfeld die Proben mit einer Kugelmühle fein gemahlen und bei 60°C getrocknet. Bei Bodenproben, welche einen pH-Wert von > 6,2 aufwiesen (gemessen in 0,01 M CaCl₂ nach DIN ISO 10390), wurde vor der Analyse der Carbonatgehalt gasvolumetrisch mit der SCHEIBLER-Apparatur bestimmt. Hierfür wurden 10 g lufttrockener Boden mit 15 ml 10%iger HCl versetzt und das bei dieser Reaktion entstehende CO₂ gasvolumetrisch erfasst (DIN ISO 10693). Der organische Kohlenstoff (C_{org}) wurde durch Subtraktion des anorganischen Kohlenstoffs (C_{anorg}) vom Gesamtkohlenstoff (C_t) errechnet.

Die Berechnung der Bodenkohlenstoffvorräte erfolgte unter Berücksichtigung der Trockenrohddichte und des Steingehaltes. Die Trockenrohddichte wurde entsprechend der DIN ISO 11272 mittels Entnahme ungestörter Bodenproben durch Stechzylinder mit einem Volumen von 100 cm³ und nachfolgender Trocknung der volumengerecht entnommenen Bodenprobe bei 105°C und anschließendem Rückwiegen ermittelt. Die Berechnung der Bodenkohlenstoffvorräte erfolgte wie folgt:

$$C_{\text{org}} \text{ Vorrat (t ha}^{-1}\text{)} = C_{\text{org}} \text{ (mg g}^{-1}\text{)} \times \text{TRD (g cm}^{-3}\text{)} \times 5 \text{ (cm)} \times \\ (100 - \text{St (Gew. \%)}) / 100$$

wobei

$$\begin{aligned} C_{\text{org}} \text{ Vorrat} &= \text{Masse des } C_{\text{org}} \text{ bezogen auf eine bestimmte Tiefe} \\ \text{TRD} &= \text{Trockenrohddichte} \\ \text{St} &= \text{Steingehalt in der jeweiligen Bodentiefe.} \end{aligned}$$

Analog hierzu erfolgte die Berechnung der Bodenkohlenstoffvorräte für die Tiefen 5-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm.

Da Änderungen des Gesamtkohlenstoffs im Boden aufgrund der Variabilität in der Fläche als auch der geringen relativen Änderungsraten während kurzer Zeit-

räume im Boden schlecht nachzuweisen sind, werden im Oberboden Kohlenstofffraktionen untersucht, die einer stärkeren Dynamik unterliegen. Aus diesem Grund wurden im Oberboden (d. h. in einer Tiefe von 0-5 cm und 5-30 cm) der Anteil wasserstabiler Aggregate sowie der freien partikulären organischen Substanz (fPOM) und die Gesamtkohlenstoffmengen der Makro- und Mikroaggregatfraktionen sowie fPOM und der intraaggregierten partikulären organischen Substanz (iPOM) ermittelt.

Die Bestimmung des Anteils wasserstabiler Aggregate erfolgte hierbei durch physikalische Fraktionierung mittels Nasssiebung in Anlehnung an JOHN et al. 2005: hierbei wurden 30-100 g 40 °C getrockneten Feinbodens auf ein Sieb mit einer Maschenweite von 250 µm gegeben und für 10 min mit destilliertem Wasser gesättigt. Die fPOM, welche sich an der Oberfläche abgesondert hatte, wurde per Hand abgesammelt, für mindestens 24 h bei 40 °C getrocknet und gewogen. Im Anschluss wurde das Sieb mit dem Boden 50 mal 3 cm auf- und ab bewegt. Die wasserstabilen Aggregate, welche auf dem Sieb verblieben (= Makroaggregate, > 250 µm, wurden anschließend für mindestens 24 h bei 40 °C getrocknet und gewogen. Nachfolgend wurde dieses Verfahren für die Aggregatfraktion < 250 µm mit einem Sieb der Maschenweite von 53 µm wiederholt. Die wasserstabilen Aggregate, welche auf dem 53 µm-Sieb verblieben (= Mikroaggregate, 250-53 µm) wurden ebenfalls für mindestens 24 h bis zur Gewichtskonstanz bei 40 °C getrocknet und gewogen. Die Fraktion, welche das 53 µm-Sieb passierte (= Ton- und Schlufffraktion) wurde in ein 5 l-Becherglas überführt, welches mit destilliertem Wasser aufgefüllt und mit 0,5 M AlCl₃ (5 ml auf 2 l) versetzt wurde. Der ausgefällte Bodensatz wurde bei 40 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen. Die Wiederfindungsrate des Bodens bei diesem Fraktionierungsverfahren betrug hierbei im Mittel 98(± 4) %.

Die Analyse von C_t erfolgte an bei 60 °C getrocknetem feingemahlenem Boden und der fPOM nach Vorbehandlung der carbonathaltigen Bodenproben mit 2 M HCl und dreimaligem Waschen mit destilliertem Wasser.

In einem zweiten Schritt wurde der Sandanteil der Makro- und Mikroaggregate sowie die iPOM bestimmt. Hierfür wurde an 30 g des bei 40 °C getrockneten Feinbodens eine Aggregatfraktionierung wie oben beschrieben durchgeführt, wobei die fPOM und die Ton- und Schlufffraktion verworfen wurden. Die Makroaggregate wurden im Anschluss in eine 250 ml Polyethylenflasche überführt, der 10 Glasperlen mit einem Durchmesser von 5 mm sowie 40 ml Natrium polytungstate (5 g l⁻¹) sowie 100 ml destilliertes Wasser hinzugegeben wurden. Zur Zerstörung der Aggregate wurden diese, in Abhängigkeit vom Tongehalt der Böden, für 30 bis 60 min mit 200 U/min auf einem Horizontalschüttler geschüttelt und danach auf ein 63 µm-Sieb gegeben. Danach wurde der Sand sowie die so isolierte iPOM in ein Becherglas überführt und für mindestens 24 h bei 60 °C getrocknet und gewogen. Die iPOM wurde fein gemahlen und für die C_t-Analyse aufbewahrt.

Die Berechnung der sandfreien Makroaggregate erfolgte nach folgender Formel:

$$Ma_{\text{sandfrei}} (\%) = Ma (\%) - [Ma (\%) / 100 \times Sa_{Ma} (\%)]$$

wobei:

- Ma_{sandfrei} = Anteil der sandfreien Makroaggregate am Boden
- Ma = Anteil der Makroaggregate inkl. Sand am Boden,
- Sa_{Ma} = Sandanteil der Makroaggregate.

Analog hierzu erfolgte die Berechnung der sandfreien Mikroaggregate.

Um Aussagen über möglicher standortspezifischer Einflüsse auf die Bodenkohlenstoffvorräte und die Verteilung des organischen Kohlenstoffs in den einzelnen Fraktionen des Bodens treffen zu können, wurde ergänzend zu den oben erwähnten Parametern der Bodensubtyp nach der deutschen Klassifizierung der Bodensystematik angesprochen (AD-HOC-AG BODEN 2005). Die Analyse der Bodenart erfolgte im Labor an einer Feldparallele in Anlehnung an die DIN ISO 11277. Hierbei erfolgte zunächst der Aufschluss durch Humuszerstörung mit H_2O_2 und eine Carbonatzerstörung mit 2 M HCl. Anschließend fand eine Dispergierung in Natrium-Pyrophosphat statt. Die Korngrößenbestimmung erfolgte schließlich durch Nasssiebung und Pipettmethode nach KÖHN. Die Angaben zur durchschnittlichen Jahrestemperatur (2008 und 2009) und zur durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme (2008 und 2009) wurden vom Kompetenzzentrum HessenRohstoffe e.V. zur Verfügung gestellt.

Um einen Vergleich der Daten der Gesamtbodenkohlenstoffvorräte und der Gehalte an C in den Makroaggregaten und in den Mikroaggregaten im Boden der Tiefe von bis zu 30 cm unter Schnellwuchsplantagen mit der benachbarten Ackerfläche bzw. Grünlandfläche durchzuführen, erfolgte an 5 Standorten im Oktober 2010 eine erneute Bodenbeprobung. Die Methodik zur Ermittlung der entsprechenden Daten war hierbei analog der oben beschriebenen Vorgehensweise.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die ausgewählten Standorte sind, in Abhängigkeit von standortspezifischen Bodeneigenschaften, wie der Bodentextur (Sand- und Tongehalt), der Vornutzung der Standorte sowie der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse, durch unterschiedliche Bodenkohlenstoffvorräte gekennzeichnet, wobei diese in einer Bodentiefe von bis zu 90 cm zwischen 39 t/ha am Standort Kummerow und 556 t/ha am Standort Löwenberg variieren (s. Tab. 1 und Abb. 1). Die geringsten Werte mit Bodenkohlenstoffvorräten von < 50 t/ha weisen hierbei die Standorte Forchheim, Gülzow 5E, Kummerow und Neuruppin auf. Diese im Vergleich zu den anderen untersuchten Standorten geringen Bodenkohlenstoffvorräte liegen zum einen in der Textur dieser Standorte begründet, die durch einen Sandanteil von > 80 % und einen Tongehalt von < 6 % gekennzeichnet ist. Der vergleichsweise geringe Tongehalt führt dazu, dass sich nur vereinzelt Ton-Humus-Komplexe ausbilden, in

denen eine Sorption von Humus an Minerale der Tonfraktion möglich ist und somit der Bodenkohlenstoff bzw. die organische Substanz stabilisiert und durch den weiteren Abbau durch Bodenorganismen geschützt ist. In Böden mit einem vergleichsweise hohen Sandgehalt liegen die Humusteilchen nur lose und ungeschützt zwischen den einzelnen Sandkörnern und sind demzufolge auch den Bodenorganismen leichter zugänglich, wodurch ein rascher Abbau durch diese begünstigt wird. Die Standorte Löwenberg und Wildbergerhütte weisen mit 556 bzw. 217 t/ha von allen untersuchten Standorten die höchsten Bodenkohlenstoffvorräte auf. Die Ursachen hierfür liegen am Standort Löwenberg u. a. im Bodensubtyp begründet. Dieser beinhaltet einen Humusgley, welcher durch Grundwasserüberschuss charakterisiert ist. Auf Grund des Wasserüberschusses tritt zeitweise Sauerstoffmangel auf und die organische Substanz wird somit wesentlich langsamer durch Bodenorganismen abgebaut. Eine weitere Der Standort Wildbergerhütte wurde vor Anlage der Schnellwuchsplantage als Wald mit einem Fichtenbestand genutzt, dessen Boden durch pH-Werte im stark sauren Bereich charakterisiert ist (s. Tab. 1), welche eine Hemmung des Abbaus der organischen Substanz begünstigen. Weiterhin befindet sich im Boden noch die Streu des ehemaligen Fichtenbestandes, welche durch Bodenbearbeitung vor Anlage der Kurzumtriebsplantage in den Oberboden eingearbeitet wurde. Die Bodenkohlenstoffvorräte der übrigen Standorte liegen im Bereich zwischen 58 und 128 t/ha. Dabei beeinflussen verschiedene Faktoren wie die Vornutzung der Standorte, die Korngrößenverteilung des Bodens, die Hydromorphie des Bodens, der pH-Wert des Bodens und die der Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse am Standort den Bodenkohlenstoffvorrat. Der Standort Iden weist z. B. Sandgehalte von durchschnittlich 95 % und mittlere Tongehalte von 3 % auf, was auf eine verminderte Bildung von Ton-Humus-Komplexen schließen lässt. Dennoch zeichnet sich dieser Standort durch einen Bodenkohlenstoffvorrat von 60 t/ha aus. Als Bodensubtyp wurde für den Standort Iden ein Normgley, d. h. ein hydromorpher Boden, klassifiziert, zeitweilig hohe Grundwasserstände führen daher zu Sauerstoffmangel und geringeren Bodentemperaturen, die den Abbau der organischen Substanz hemmen bzw. verlangsamen. Zudem weist der Standort Iden auch einen pH-Wert im stark sauren Bereich auf, wodurch die Tätigkeit der Bodenorganismen und damit die Mineralisierung stark eingeschränkt sind, da die meisten Bodenorganismen pH-Werte im leicht sauren bis neutralen Bereich bevorzugen. Der Standort Dollendorf wurde vor Anlage der Kurzumtriebsplantage als Grünland genutzt, welches im Vergleich zum Acker höhere Mengen an Kohlenstoff im Boden sequestriert, da Grünlandflächen auf Grund des hohen Feinwurzeleintrages der Gräser und der fehlenden Bodenbearbeitung meist einen verhältnismäßig hohen Bodenkohlenstoffvorrat aufweisen. Weiterhin handelt es sich bei diesem Standort um einen kalkhaltigen Boden, wobei die Calciumbrücken durch Bindung auch zur Stabilisierung der organischen Substanz im Boden beitragen können.

Tabelle 1: Bodensubtypen, Vornutzung, durchschnittliche Jahrestemperatur (T), durchschnittliche Niederschlagssumme (N), Mittelwerte und Standardabweichungen des pH-Wertes sowie Korngrößenverteilungen der ausgewählten ProLoc-Versuchsstandorte der Variante Max 1 in einer Bodentiefe von 5-30 cm (BE Bernburg, BO Borlinghausen, DO Dollendorf, EM Emmendingen, FO Forchheim, GÜ Gülzow 5E, HA Haus Düsse, ID Iden, KL Campus Klein-Altendorf, KÖ Königshovener Höhe, KU Kummerow, LE Lehmkaute, LI Lilienthal, LÖ Löwenberg, NH Neubof, NR Neuruppin, TH Thammenbain 1, TR Trenthorst, UN Unterrieden, WI Wildbergerhütte)

Versuchsstandorte	Bodensubtyp	Vornutzung	Ø T (2008/2009)	Ø N (2008/2009)	pH-Wert (CaCl ₂)	Sand ^a [Gew. %]	Ton ^a [Gew. %]
BE	Normtschernosem	Grünland	10,1	536,3	7,4 (<0,1)	11,8	23,1
BO	Normpseudogley	Ackerland	9,3	631,4	5,6 (±0,2)	7,9	44,9
DO	Normbraunerde	Grünland	8,3	696,7	7,3 (±0,2)	4,1	39,9
EM	Kolluvisol über Parabraunerde	Wald	10,7	828,5	6,5 (±0,6)	8,5	19,7
FO	Normbraunerde	Ackerland	10,8	747,6	4,8 (±0,2)	79,3	6,3
GÜ	Normbraunerde	Grünland	9,8	554,9	6,5 (±0,1)	90,3	4,8
HA	Normpseudogley	Grünland	10,5	696,3	7,2 (±0,2)	10,1	22,5
ID	Normgley	Ackerland	9,9	593,9	3,7 (±0,1)	95,1	3,2
KL	Normparabraunerde	Ackerland	10,1	602,2	6,9 (±0,1)	24,5	18,4
KÖ	Pararendzina	Bergbaufolgelandschaft	10,8	775,3	7,5 (<0,1)	4,5	2,6
KU	Braunerde-Gley	Ackerland	9,6	562,3	5,0 (±0,3)	92,6	5,3
LE	Parabraunerde-Braunerde	Ackerland	9,8	629,3	5,5 (±0,2)	11,6	26
LI	Normtschernosem	Grünland	10,8	812,3	7,2 (±0,1)	9,6	15,5
LÖ	Humusgley	Grünland	9,6	552,1	5,9 (±0,2)	77	9,8
NH	Parabraunerde-Pseudogley	Schnellwuchsplantage	9	651,4	6,5 (±0,1)	11,9	22,6
NR	Normbraunerde	Rieselfelder	9,8	552,7	6,7 (±0,2)	93,2	3,6
TH	Braunerde-Pseudogley	Ackerland	10	594,8	4,9 (±0,2)	33,2	19,8
TR	Parabraunerde-Braunerde	Ackerland	9,6	588,6	6,3 (±0,2)	39,9	19,2
UN	Normbraunerde	Ackerland	9,6	724,6	5,7 (±0,2)	74	6,6
WI	Normbraunerde	Wald	8,4	1121,5	4,0 (±0,1)	26,5	16,2

a: Diese Werte stellen keine Mittelwerte, sondern Einzelwerte dar.

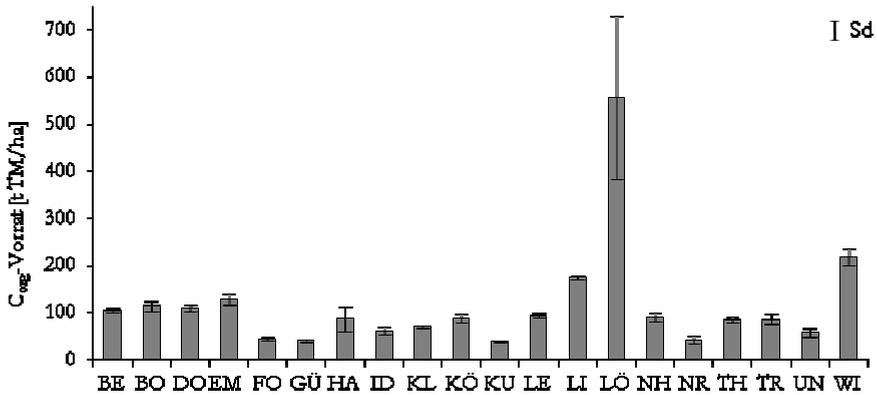


Abbildung 1: Mittelwerte und Standardabweichung (Sd) der Gesamtbodenkohlenstoffvorräte der ausgewählten ProLoc-Versuchsstandorte der Variante Max 1 bis zu einer Bodentiefe von 90 cm (BE Bernburg, BO Borlinghausen, DO Dollendorf, EM Emmendingen, FO Forchheim, GÜ Gülzow 5E, HA Haus Düsse, ID Iden, KL Campus Klein-Altendorf, KÖ Königsbovener Höhe, KU Kummerow, LE Lehmkaute, LI Lilienthal, LÖ Löwenberg, NH Neubof, NR Neuruppin, TH Thammenbain 1, TR Trenthorst, UN Unterrieden, WI Wildbergerhütte)

Im Mittel aller ausgewählten Standorte sind bis zu einer Bodentiefe von 90 cm 114 t/ha Kohlenstoff gespeichert. Die höchsten Vorräte an Kohlenstoff sind in einer Bodentiefe von 5-30 cm gespeichert (s. Abb. 2), sie betragen zwischen 34 und 79 % des Gesamtbodenkohlenstoffs.

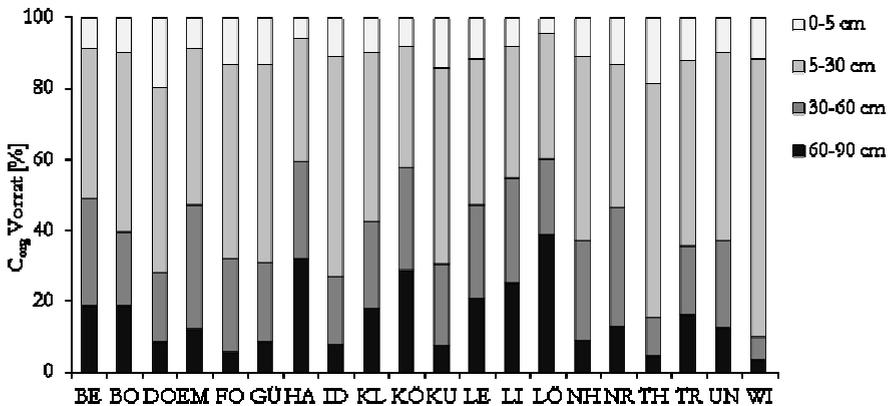


Abbildung 2: Mittlere Bodenkohlenstoffvorräte (C_{org}) der ausgewählten ProLoc-Versuchsstandorte der Variante Max 1 bis zu einer Bodentiefe von 90 cm (n = 4) (BE Bernburg, BO Borlinghausen, DO Dollendorf, EM Emmendingen, FO Forchheim, GÜ Gülzow, HA Haus Düsse, ID Iden, KL Klein-Altendorf, KÖ Königsbovener Höhe, KU Kummerow, LE Lehmkaute, LI Lilienthal, LÖ Löwenberg, NH Neubof, NR Neuruppin, TH Thammenbain, TR Trenthorst, UN Unterrieden, WI Wildbergerhütte)

Betrachtet man die mittlere Verteilung des Kohlenstoffs in den sandfreien Aggregatfraktionen der Makroaggregate (Aggregatgröße $> 250 \mu\text{m}$) und der Mikroaggregate (Aggregatgröße $250\text{-}53 \mu\text{m}$), der fPOM und der iPOM in einer Bodentiefe von 5-30 cm, so ist festzuhalten, dass in Abhängigkeit von der Vornutzung und der Bodeneigenschaften die Böden eine unterschiedliche Verteilung des Kohlenstoffs aufweisen. In den Makroaggregaten sind in einer Bodentiefe von 5-30 cm zwischen 85 % und 0 % des Gesamtkohlenstoffs gespeichert. Die Mikroaggregate weisen in einer Bodentiefe von 5-30 cm eine Kohlenstoffspeicherung zwischen 88 % und 0 % auf. An 12 untersuchten Standorten ist in der labileren Makroaggregatfraktion ($> 250 \mu\text{m}$), mehr Kohlenstoff als in den Mikroaggregaten ($250\text{-}53 \mu\text{m}$) gespeichert (s. Tab. 2). In den Böden der Tiefe 5-30 cm der Standorte Bernburg, Königshovener Höhe und Wildbergerhütte sind $> 30 \%$ des Kohlenstoffs in der iPOM gespeichert. Die Gründe hierfür liegen u. a. in der Vornutzung der Standorte. Der Standort Bernburg wurde vor Anlage der Schnellwuchsplantage als Grünland genutzt, wodurch verstärkt eine Anreicherung der organischen Substanz im Oberboden stattfinden konnte, welche nun in der Makroaggregatfraktion als iPOM erfasst wurde. Es wird darauf hingewiesen, dass es an diesem Standort keine Makroaggregate i. e. S. gibt, sondern dass es sich hierbei um zusammengelagerte fPOM handelt. Es ist zu prüfen, ob in diesem Zusammenhang eine abgeänderte Methodik angewandt werden sollte.

Der Standort Königshovener Höhe ist eine ehemalige Bergbaufolgelandschaft. Es ist zu prüfen, ob durch diese ehemalige Nutzungsform verstärkt Kohle und damit organische Substanz in den Oberboden eingetragen wurde, welche sich nun in der Speicherung des Kohlenstoffs in der iPOM widerspiegelt. Der Standort Wildbergerhütte wurde vormals als Fichtenwald genutzt und die Streuauflage in den Mineralboden eingearbeitet.

Tabelle 2: Verteilung des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) in den sandfreien Aggregatfraktionen, in der freien partikulären organischen Substanz (fPOM) und der intraaggregierten partikulären organischen Substanz (iPOM) als prozentuale Anteile am Gesamtkohlenstoff des Bodens (C_{org} Boden) der ausgewählten ProLoc-Versuchsstandorte der Variante Max 1 in einer Bodentiefe von 5-30 cm (BE Bernburg, BO Borlinghausen, DO Dollendorf, EM Emmendingen, FO Forchheim, GÜ Gülzow 5E, HA Haus Düsse, ID Iden, KL Klein-Altendorf, KÖ Königsbovener Höhe, KU Kummerow, LE Lehmkaute, LI Lilienthal, LÖ Löwenberg, NH Neubof, NR Neuruppin, TH Thammenbain 1, TR Trentenborst, UN Unterrieden, WI Wildbergerhütte)

Versuchsstandorte	C_{org} (Gew. % von C_{org} Boden)				
	> 250 μm *	250-53 μm	< 53 μm	fPOM	iPOM
BE	0,0	51,6	16,5	1,7	30,3
BO	60,1	27,1	6,9	1,1	4,8
DO	68,7	26,6	3,0	0,2	1,5
EM	65,5	23,2	7,8	1,2	2,3
FO	55,7	24,7	13,7	3,2	2,8
GÜ	24,7	37,4	26,8	8,2	2,9
HA	29,2	34,9	8,0	6,5	21,4
ID	15,8	49,5	10,2	20,3	4,2
KL	56,9	21,3	6,1	0,3	15,4
KÖ	0,0	37,9	16,5	13,1	32,6
KU	15,3	34,6	42,0	6,9	1,2
LE	52,4	17,7	4,8	7,9	17,3
LI	76,1	23,2	0,0	0,7	
LÖ	83,2	2,1	9,1	5,6	
NH	48,7	27,3	6,8	4,4	12,9
NR	12,2	28,3	24,1	35,4	
TH	53,8	16,9	4,0	1,5	23,7
TR	23,1	40,8	16,5	1,4	18,5
UN	65,9	15,6	11,8	0,3	6,3
WI	44,8	3,2	8,6	10,5	32,8
Mittelwert	42,6	27,2	12,2	6,5	13,6

Zellen ohne Wertangabe: Fraktion ist in der Bodenprobe 0

* > 250 μm : Makroaggregate ohne iPOM, 250-53 μm : Mikroaggregate ohne iPOM, < 53 μm : Ton- und Schlufffraktion, iPOM > 250 μm : fPOM in Makroaggregaten

Die Unterschiede in der Verteilung des Kohlenstoffs in den beiden Bodentiefen 0-5 cm und 5-30 cm sind sowohl in den sandfreien Makroaggregaten als auch in den sandfreien Mikroaggregaten an Standorten, die durch einen homogenen Pflughori-

zont ohne Körnungssprung gekennzeichnet sind, nicht signifikant (s. Abb. 3 und Abb. 4). Ursache hierfür ist die geringe Zeitspanne zwischen der Anlage der Schnellwuchsplantagen im April 2008 und der Probenahme nach der Umnutzung sowie die damit verbundene Bodenruhe. Lediglich in den sandfreien Makroaggregaten am Standort Neuhof bestehen signifikante Unterschiede in der Kohlenstoffverteilung in den beiden Bodentiefen, wofür die Ursache hierfür in der Vornutzung dieses Standortes begründet ist. Es handelt sich hierbei um einen Standort, welcher vor Anlage der Schnellwuchsplantage im Rahmen des ProLoc-Projektes bereits als Schnellwuchsplantage genutzt wird. Es wird vermutet, dass die signifikanten Unterschiede einen Langzeiteffekt der vormals bestehenden Schnellwuchsplantage darstellen.

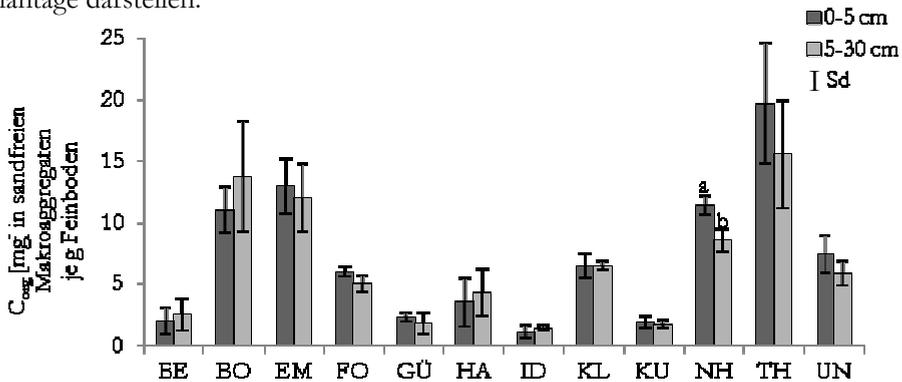


Abbildung 3: Mittlere Corg-Mengen und Standardabweichung (Sd) der sandfreien Makroaggregate im Oberboden der Standorte mit homogenem Ap-Horizont der Variante Max 1 (BE Bernburg, BO Borlinghausen, EM Emmendingen, FO Forchheim, GÜ Gülzow, HA Haus Düsse, ID Iden, KL Klein-Altendorf, KU Kummerow, NH Neuhof, TH Thammenhain, UN Unterrieden; ungleiche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Horizonten eines Standortes ($p < 0,05$) nach ANOVA)

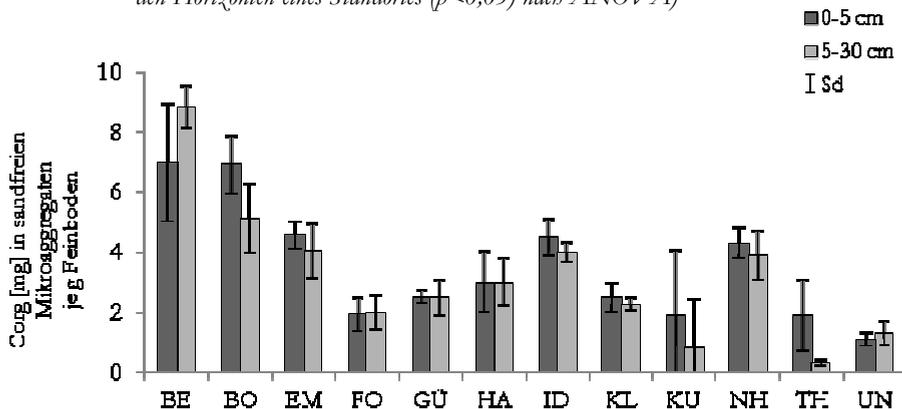


Abbildung 4: Mittlere Corg-Mengen und Standardabweichung (Sd) der sandfreien Mikroaggregate im Oberboden der Standorte mit homogenem Ap-Horizont der Variante Max 1 (Kürzel der Versuchsstandorte: s. Abb. 3)

Ein Vergleich der Bodenkohlenstoffvorräte bis zu einer Bodentiefe von 30 cm im Boden unter Schnellwuchsplantagen mit denen der benachbarten Acker- bzw. Grünlandfläche ergibt keine signifikanten Unterschiede an den untersuchten fünf Standorten (s. Abb. 5). Tendenziell ist an allen untersuchten Standorten, mit Ausnahme des Standortes Unterrieden, im Boden unter der Schnellwuchsplantage weniger Kohlenstoff gespeichert, als im Boden unter der benachbarten Acker- bzw. Grünlandfläche. Die Ursache hierfür liegt darin, dass der Boden vor Anlage der Schnellwuchsplantage zur Flächenvorbereitung intensiv gepflügt wurde. Hieraus resultiert unmittelbar nach Anlage der Schnellwuchsplantage zunächst eine geringe Abnahme des Bodenkohlenstoffgehaltes. Der Boden des Standortes Unterrieden hingegen wurde vor Anlage der Schnellwuchsplantage nicht gepflügt. Die daraus resultierende Bodenruhe spiegelt sich in einem, im Vergleich zu den anderen vier untersuchten Standorten, geringeren Unterschied im Bodenkohlenstoffgehalt zwischen dem Oberboden unter der Schnellwuchsplantage und der benachbarten Ackerfläche wider.

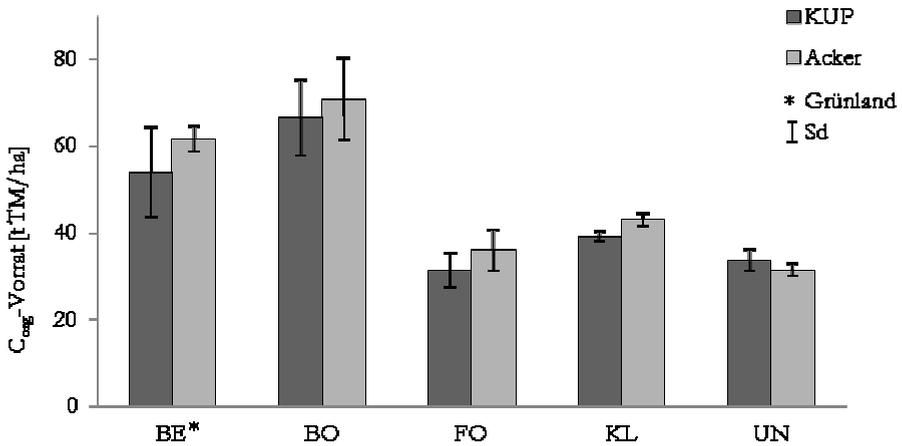


Abbildung 5: Mittelwerte und Standardabweichung (Sd) der Gesamtbodenkohlenstoffvorräte der ausgewählten ProLoc-Versuchsstandorte der Variante Max 1 im Boden unter Schnellwuchsplantagen (KUP) und unter Acker bzw. Grünland bis zu einer Bodentiefe von 30 cm (BE Bernburg, BO Borlinghausen, FO Forchheim, KL Campus Klein-Altendorf, UN Unterrieden)

Die Hypothese, dass sich 2,5 Jahre nach Anlage der Schnellwuchsplantagen im Oberboden zwischen der Schnellwuchsplantage und der benachbarten Ackerfläche bzw. Grünlandfläche signifikante Unterschiede in den Gehalten an Kohlenstoff sowohl in den Makroaggregaten als auch in den Mikroaggregaten herausgebildet haben, hat sich noch nicht bestätigt (s. Abb. 6).

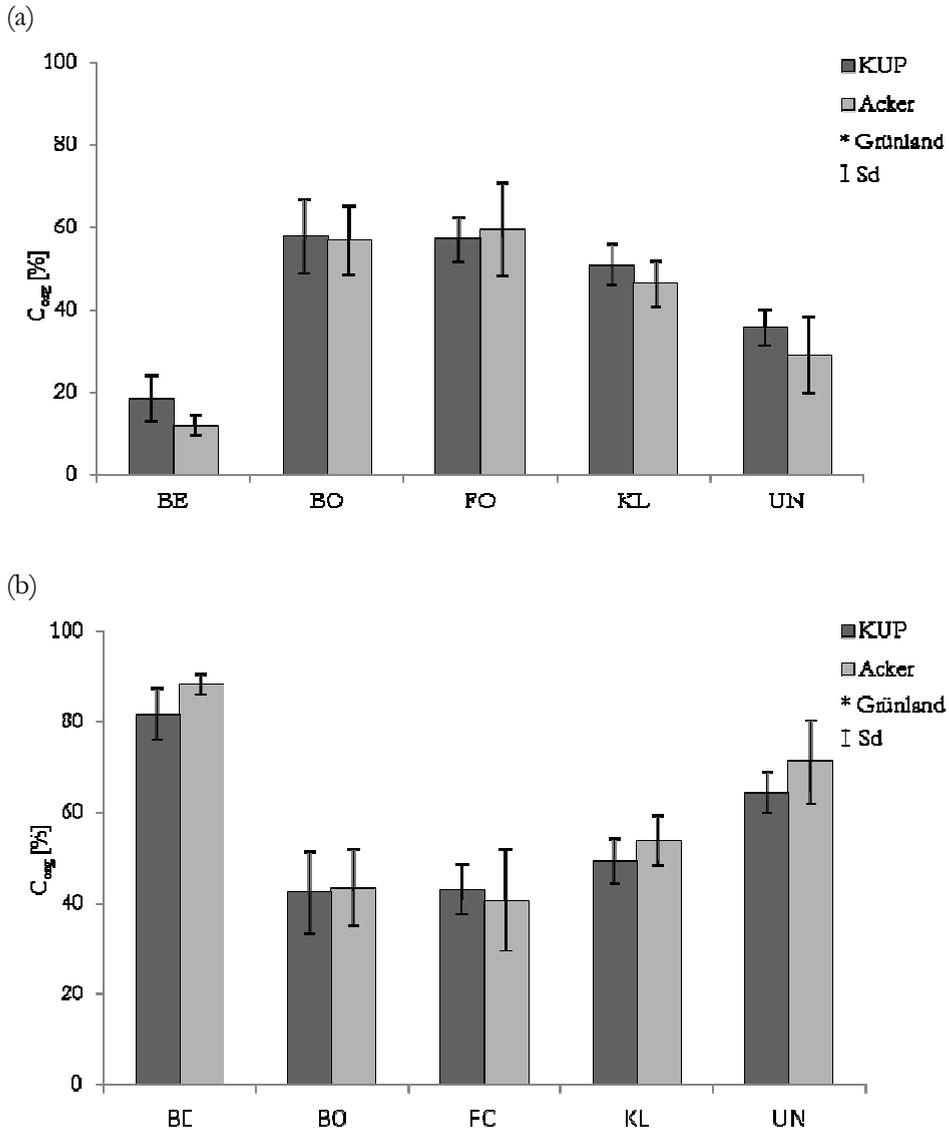


Abbildung 6: Mittelwerte und Standardabweichung (Sd) des Anteils des organischen Kohlenstoffs (C_{org}) in den (a) sandfreien Makroaggregaten und (b) sandfreien Mikroaggregaten als prozentuale Anteile am Gesamtkohlenstoff des Bodens der ausgewählten ProLoc-Versuchsstandorte der Variante Max 1 im Boden unter Schnellwuchsplantagen (KUP) und unter Acker bzw. Grünland in einer Bodentiefe von 5-30 cm (BE Bernburg, BO Borslinghausen, FO Forchheim, KL Campus Klein-Altendorf, UN Unterrieden)

Dennoch ist, mit Ausnahme des Standortes Forchheim, an allen untersuchten Standorten die Tendenz erkennbar, dass in einer Bodentiefe von 5-30 cm eine Zunahme des Anteils des Kohlenstoffs in den sandfreien Makroaggregaten unter Schnellwuchsplantagen im Vergleich zur benachbarten Acker- bzw. Grünlandfläche stattfindet, wobei tendenziell die Kohlenstoffspeicherung in der Mikroaggregatfraktion im Boden unter Schnellwuchsplantagen abnimmt. Die Ursache für die tendenzielle Zunahme der Kohlenstoffspeicherung in der Makroaggregatfraktion im Boden unter Schnellwuchsplantagen lässt sich mit der fehlenden Bodenbearbeitung und der damit verbundenen Bodenruhe erklären.

Literatur

- AD-HOC-AG-BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover, 438 S.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) (1997): DIN ISO 10390, Bodenbeschaffenheit – Bestimmung des pH-Wertes.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) (1997): DIN ISO 10693, Bodenbeschaffenheit – Bestimmung des Carbonatgehaltes - Volumetrisches Verfahren.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) (1998): DIN ISO 11272, Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der Trockenrohichte.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN) (1998): DIN ISO 11277, Bodenbeschaffenheit – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden - Verfahren mittels Siebung und Sedimentation
- BALESDENT, J.; CHENU, C. u. BALABANE, M. (2000): Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53, 215-230
- JOHN, B.; YAMASHITE, T.; LUDWIG, B. u. FLESSA, H. (2005): Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma* 128, 63-79
- KAHLE, P.; HILDEBRAND, E.; BAUM, C. u. BOELKE, B. (2007): Long-term effects of short rotation forestry with willows and poplar on soil properties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 53 (6), 673-682
- KASPER, M.; BUCHAN, G.D.; MENTLER, A. u. BLUM, W.E.H. (2009): Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. *Soil and Tillage Research* 105, 192-199
- LAL, R. u. KIMBLE, J.M. (1997): Conservation tillage for carbon sequestration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 243-253
- MEIRESONNE, L.; DE SCHRIJVER, A. u. DE VOS, B. (2007): Nutrient cycling in a poplar plantation (*Populus trichocarpa* x *Populus deltoides* 'Beaupré') on former agricultural land in northern Belgium. *Can. J. Forest Res.* 37(1), 141-155
- SCHLESINGER, W. (2000): Carbon sequestration in soils: some cautions amidst optimism. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82, 121-127

Korrespondierende Autorin:

Nicole Heyn
Universität Kassel
Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften
Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung
Nordbahnhofstr. 1A
37213 Witzenhausen
E-Mail: nicole.heyn@uni-kassel.de

Dr. Christine Wachendorf
Universität Kassel
Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften
Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung

Pilotprojekt zum Kurzumtrieb der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) in Brandenburg

Pilot project concerning coppice management of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in the Federal State of Brandenburg

Dirk Knoche und Jan Engel

Zusammenfassung

Auf Brandenburg entfallen mit 8.100 ha knapp 60 % der bundesweiten Robinienbestockung. Dies entspricht zwar nur 0,6 % der Holzbodenfläche des Bundeslandes, angesichts von Klimaveränderungen gewinnt die ausgesprochen genügsame und trockenresistente Pionierbaumart aber an strategischer Bedeutung. Jedoch lässt sich ihr Ertragspotenzial mit praxisüblichen Umtriebszeiten von 80 bis 100 Jahren kaum ausschöpfen; viele Robinienbestände sind qualitativ unbefriedigend. Es gilt nunmehr Produktionslinien zu entwickeln, welche der besonderen Wuchsdynamik und hohen Regenerationsfähigkeit entgegen kommen. Hierzu wurden 2009 neun typische 19- bis 68-jährige Reinbestände in einen Kurzumtrieb überführt.

Trotz negativer klimatischer Wasserbilanz (Vegetationsperiode) zeigen selbst stark versauerte (pH_{KCl} 3,2-4,6), grundwasserferne ($\text{nFK}_{100\text{cm}}$ 48-119 mm) Glazialsande der Standortformen Z2 bis K2 ein bemerkenswertes Leistungsniveau. So

beträgt der mittlere Jahreszuwachs $4,34 t_{\text{atro}}$ je ha (einjährige Rotation, 2009) bzw. $5,38 t_{\text{atro}}$ je ha (zweijährige Rotation, 2010). Im Vergleich zu Agrarholzflächen (KUP) ist jedoch die Ertragsdifferenzierung wesentlich größer, bei entsprechender Bestockungsdichte und Standortgüte sind bis zu $9,98 t_{\text{atro}}$ je ha und Jahr möglich. Dem gegenüber steht ein laufender jährlicher Zuwachs der Robinie in Brandenburg von rund $5,0 \text{ Vfm}$ je ha bzw. $3,75 t_{\text{atro}}$ je ha (Derbholz).

Die Wurzelbrut nimmt etwa $1/3$ bis $2/3$ des stammzahlreichen Aufwuchses von 31-64 Tsd. Ruten je ha ein. Es kann zur Ausbildung klonaler Bestandesstrukturen kommen, vitale Genotypen setzen sich durch. Gleichzeitig bewirkt die Bestockungsverdichtung eine Homogenisierung des Bestandes, was waldbauliche Perspektiven jenseits der reinen Energieholzproduktion eröffnet. Vorrangiges Produktionsziel sind dann hochwertige Schwachholzsortimente in mittelwaldartiger Bewirtschaftung bzw. „Midi-Rotation“.

Stichworte: Robinie, schnell wachsende Baumart, Kurzumtrieb, Energiewald, Biomasseproduktion, Verjüngungsverfahren

Abstract

Although Black Locust covers only 0.6 % of the wooded area in Brandenburg, this quite drought and heat tolerant pioneer tree species is of strategic importance under climate change. However, yield potential cannot be achieved in common management practice with rotation periods of 80 to 100 years; besides the quality of many *Black Locust* stands is unsatisfactory. Therefore, it demands production strategies that promote especial growth dynamics and high regeneration potential as well. To this end, nine typical 19-68 year-old pure stands were converted to short rotation management in 2009.

Despite negative climatic water balance (growing season), *Black Locust* shows high productivity even on strongly acidic ($\text{pH}_{\text{KCl}} 3.2-4.6$) free-draining glacial sands ($\text{PAWC}_{100\text{cm}} 48-119 \text{ mm}$) of site units Z2 to K2. The mean annual biomass increment amounts to $4.34 \text{ dry Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for a one-year (2009), and $5.38 \text{ dry Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ for a two-year (2010) rotation period. However, compared to short-rotation coppice on agricultural land (SRC), yield differentiation is much higher; for a suitable stocking density and site quality up to $9.98 \text{ dry Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ are possible. In contrast, the Black Locust current annual increment in Brandenburg is some $5.0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (merchantable timber), or $3.75 \text{ dry Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (compact wood).

The root sprouts comprise about $1/3$ to $2/3$ of altogether 31-64 thousand coppice shoots per hectare. The formation of clonal stand structures can result; vital genotypes are dominating. Simultaneously, increasing stocking density causes stand homogeneity, which opens up further silvicultural options across firewood.

Consequently, prior production target is high valuable small timber in coppice with standards, or medium rotation management.

Keywords: Black Locust, fast growing tree species, short-rotation, wood energy plantations, biomass production, regeneration methods

1 Waldbauliche Ausgangssituation und Zielsetzung

1.1 Der Robinienanbau in Brandenburg

Nach BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2011) nimmt die Robinie in Deutschland knapp 14.000 ha Holzboden ein, was einem Vorrat von 2 Mio. m³ entspricht (GRÜNING 1995). Davon entfallen allein auf Brandenburg 8.100 ha (DSW 2 2011). Verbreitungsschwerpunkte bilden die kontinental getönten südöstlichen Landesteile, welche eine stark negative klimatische Wasserbilanz in der Vegetationsperiode aufweisen. Vielerorts begrenzt die geringe Wasserverfügbarkeit das Waldwachstum (RIEK u. KALLWEIT 2007, RIEK 2009, 2010).

Zwar umfasst der Robinienanbau in Brandenburg nur etwa 0,6 % der Waldfläche, angesichts des prognostizierten Klimawandels dürfte die hitze- und trockenstresstolerante Pionierbaumart jedoch an Bedeutung gewinnen (ROLOFF u. GRUNDMANN 2008). So zeigen die heimischen Eichen nach Trockenjahren erhebliche und nachwirkende Vitalitätseinbußen („Eichensterben“, KÄTZEL et al. 2006, KALLWEIT 2010). Darüber hinaus ermöglicht die Robinie selbst auf humusarmen Kippböden des Lausitzer Braunkohlenbergbaus einen zufriedenstellenden Zuwachs (LANDGRAF et al. 2005, ERTLE et al. 2008). Sie ist anbausicher und leistet durch Luftstickstoff-Bindung ihren Beitrag zur Wiederherstellung der Bodenfruchtbarkeit.

Betrachtet man die 5.497 ha inventarisierten Reinbestände, so dominiert das mittlere Baumholzalter (s. Abb. 1). Mit 3.874 ha entfallen über 2/3 der Bestockung in die Altersklassen 41-80 Jahre. Jungbestände nehmen 1.080 ha (19,6 %) ein, der Anteil > 80-jähriger Robinie beträgt lediglich 9,9 %.

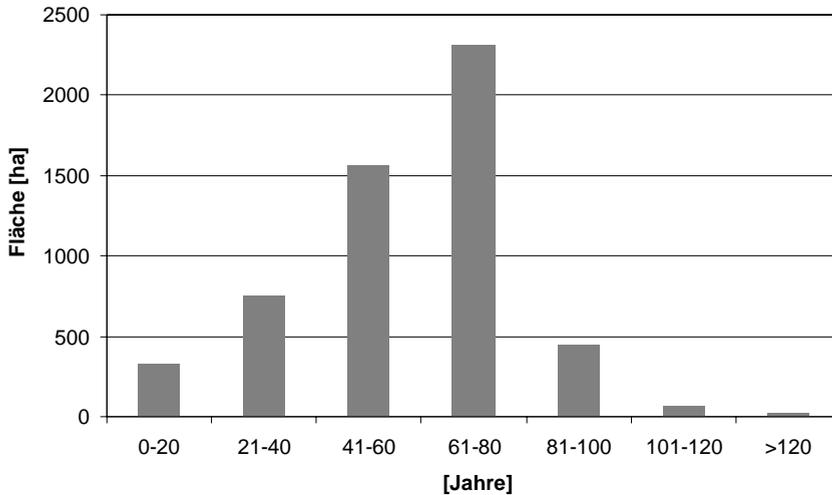


Abbildung 1: Altersklassenverteilung der Robinienreinbestände im Land Brandenburg (DSW 2 2011)

Auffällig sind die geringen Flächengrößen, rund 2/3 der Bestockungen sind kleiner als 0,5 ha. Lediglich 234 Bestände umfassen mehr als 3 ha (3 %) und lassen sich rationell bewirtschaften (s. Abb. 2).

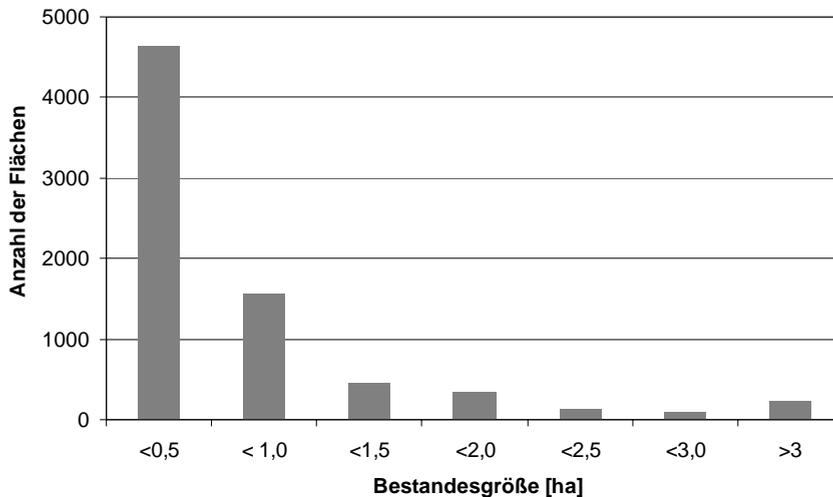


Abbildung 2: Bestandesgrößenverteilung der Robinienreinbestände im Land Brandenburg (DSW 2 2011)

Anbauschwerpunkte bilden die Trophiebereiche Z (ziemlich arm) bis M (mittel), welche das eichenfähige Spektrum repräsentieren (s. Abb. 3). Typische „Kiefern-zwangsstandorte“ sind lediglich mit 249 ha vertreten. Für 18 % der Bestockung liegen allerdings keine Standortangaben vor. Dies betrifft vor allem Kippenerstauf-forstungen des Braunkohlentagebaus und Nichtholzbodenflächen.

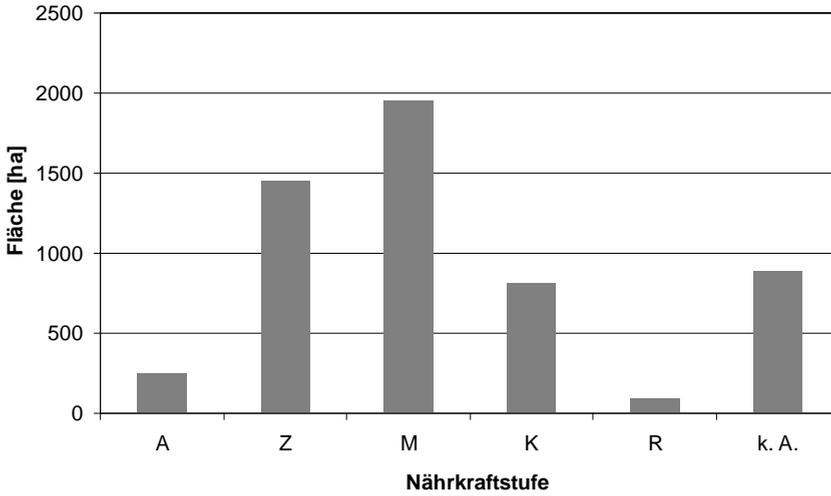


Abbildung 3: Flächenverteilung der Robinienreinbestände im Land Brandenburg nach Trophiestufen (DSW 2 2011), a = arm, z = ziemlich arm, m = mittel, k = kräftig, r = reich, k.A. = keine Angaben (SEA 95)

Tabelle 1 informiert über die aktuelle Bestockungssituation. Demnach beträgt der mittlere laufende Zuwachs (IZ) aller Rein- und Mischbestände 5,0 Vfm ha⁻¹ a⁻¹. Für Brandenburg leitet sich eine nachhaltig nutzbare Derbh Holzmasse von rund 30.000 Efm a⁻¹ ab.

Tabelle 1: Ertragskennndaten der Robinie in Brandenburg (DSW 2 2011) (über die Anbaufläche genogene Mittelwerte (8.100 ha Robinie im Oberstand, 5.497 ha Rein- und 2.603 ha Mischbestände aller Waldeigentumsarten))

Brusthöhendurchmesser [d ₁₃]	26,3 cm
Mittelhöhe [hm]	18,6 m
Bestandesvorrat (Derbh Holz) [V]	221,4 Vfm
Laufender Zuwachs [IZ]	5,0 Vfm

Die Bestandesdaten im Privatwald werden seit nunmehr 20 Jahren fortgeschrieben, Angaben zur eingeschlagenen Holzmenge fehlen. Für den Landeswald ließen sich im Durchschnitt der letzten drei Jahre etwa 4 Efm ha⁻¹ a⁻¹, d. h. 4.800 Efm a⁻¹ nutzen (GRAUDENZ pers. Mitt., FBMS IT-Betrieb). Zumindest hier wird der jährliche nachhaltige Hiebssatz annähernd ausgeschöpft.

1.2 Projektziele im waldbaulichen Kontext

Tatsächlich sind die allgemeinen Anbauerfahrungen zur Robinie in Deutschland unzureichend, lediglich in Brandenburg gilt sie als Wirtschaftsbaumart (MLUR 2004). Nach wie vor fehlen fundierte Behandlungs- bzw. Verjüngungsempfehlungen (SEELING 1997). Ganz offensichtlich lässt sich ihr hohes Biomassepotenzial durch praxisübliche Umtriebszeiten zwischen 80 und 100 Jahren kaum mobilisieren. So erreicht der laufende Zuwachs in Brandenburgs Wäldern lediglich 50 % des standörtlich möglichen Niveaus. Zudem reagiert die Pionierbaumart lichtbedürftig und dadurch sehr seitendruckempfindlich. Nicht selten weisen pflegedefizitäre Erntebestände eine Vielzahl krummschäftiger Individuen („Schlangenhuchs“) auf, so dass der Vollholzanteil meist unter 25 % beträgt. Andererseits gewinnt die Robinie als raschwüchsiges Energieholz an Wertschätzung (PETERS et al. 2007). In Brandenburg betrifft dies insbesondere grundwasserferne, schwach bindige und daher kaum pappelfähige Agrarflächen (PETZOLD et al. 2006). Jedoch befinden sich viele Plantagen noch in der ersten Rotation, das Ertragspotenzial bleibt unsicher.

Es wird nunmehr das Bewirtschaftungsmodell des schlagweisen Altersklassenwaldes „einfachen“ Kurzumtriebssystemen gegenüber gestellt. Diese betreffen eine reine Energieholzproduktion (1- bis 4-jährige Rotation) wie auch die Erzeugung höherwertiger Schwachholzsortimente („Mittelwald“ bzw. „Midi-Rotation“, 20- bis 30-jährige Umtriebszeit, vgl. MOLNÁR 1995). Betrachtet werden grundlegende pflanzenbauliche Fragestellungen, beispielsweise zur Massenleistung in Abhängigkeit von Standort, Bestockungssituation, Rotationszyklus sowie Bestandesbehandlung. Darüber hinaus erfolgt eine umfassende Holzcharakterisierung in Ausgangsbestockung und Folgewuchs. Basierend auf Stammverteilungsplänen lassen sich Verwandtschaftsmuster prüfen und besonders wüchsige bzw. hochwertige Individuen kennzeichnen. Während einer zweiten Projektphase gilt es dann die unterschiedlichen Produktionsmodelle ökonomisch zu bewerten. Schließlich wird vegetatives Vermehrungsgut für züchterische Zwecke erworben.

Die Projektergebnisse münden in waldbauliche Empfehlungen für eine stärker standort-, wuchs- und marktorientierte Bewirtschaftung der Robinie, insbesondere in kurzen Umtriebszeiten. Nicht zuletzt wird damit ein Beitrag zur Sicherung der genetischen Ressourcen beabsichtigt. Dies erscheint gerade in Zeiten des Klimawandels angebracht, gilt doch die Robinie hier als „Zukunftsbaumart“.

2 Etablierung von Modellbeständen für einen Kurzumtrieb

2.1 Flächenübersicht und Versuchsdesign

Über die regionalen Anbauswerpunkte verteilt wurden 9 Robinienreinbestände von bis zu 1 ha in eine modellhafte Kurzumtriebsbewirtschaftung überführt (ENGEL u. KNOCHÉ 2011). Das Hauptaugenmerk liegt auf grundwasserfernen, ziemlich armen bis mittel nährstoffversorgten, mäßig frischen Standorten (Z2, M2). Es entfallen jeweils 3 Bestände auf die Altersbereiche +/- 20, +/- 40 und +/- 60 Jahre (s. Tab. 2 und 3).

Tabelle 2: Übersicht der Versuchsflächen zur modellhaften Bewirtschaftung der Robinie in kurzen Umtriebszeiten

Versuchsfläche	Oberförsterei	Waldort	Standortgruppe*	Koordinaten**	Flächengröße [ha]
Natürliche Waldstandorte					
<i>Schwenow 1</i>	Schwenow	Abt. 5191 c ⁵	K2	H5779338 R3435164	1,0035
<i>Schwenow 2</i>	Schwenow	Abt. 5186 b ³	Z2	H5778188 R3435003	0,4411
<i>Schwenow 3</i>	Schwenow	Abt. 5262 a ⁴	Z2	H5777390 R3426310	0,3872
<i>Schwenow 4</i>	Schwenow	Abt. 4560 a ⁰	M2	H5773291 R3441773	0,9666
<i>Schwenow 5</i>	Schwenow	Abt. 4563 a ⁶	M2	H5774325 R3441516	0,3383
<i>Müncheberg</i>	Müncheberg	Abt. 6180 1 ⁰	M2	H5823417 R3435838	0,5733
Kippenstandorte (Lausitzer Braunkohlenrevier)					
<i>Drebkau 1</i>	Drebkau	Abt. 981 2 ³	k.A.	H5714522 R3453922	0,5747
<i>Drebkau 2</i>	Drebkau	Abt. 973 2 ¹	k.A.	H5712701 R3452105	0,4457
<i>Senftenberg</i>	Senftenberg	Abt. 1621 a ⁴	Z2	H5707275 R3417973	0,8441

* Standortgruppe nach SEA 95

** Koordinaten [ETRS 89] der Profilgrube zur Charakterisierung des Bodenzustandes
k. A. = keine Angaben

Tabelle 3: Bestockungsverhältnisse der Ausgangsbestände und Erntemenge (Holzaufmaß)

Versuchsfläche	Alter	Höhe hm [m]	BHD [cm]	BON	B°	Vorrat [m ³ ha ⁻¹]	Erntemenge [m ³ ha ⁻¹]
Natürliche Waldstandorte							
<i>Schwenow 1</i>	19	15,1	10	-0,1	1,2	177,9	207,8
<i>Schwenow 2</i>	45	18,0	25	II,3	1,2	247,9	253,4
<i>Schwenow 3</i>	45	16,3	19	III,0	1,3	233,5	144,9
<i>Schwenow 4</i>	62	24,9	29	0,7	0,9	406,6	199,6
<i>Schwenow 5</i>	68	26,7	32	0,3	1,0	501,7	660,4
<i>Müncheberg</i>	56	25,6	29	0,1	0,4	184,9	174,1
Kippenstandorte (Lausitzer Braunkohlenrevier)							
<i>Drebkau 1</i>	20	12,8	12	I,6	1,0	92,5	135,7
<i>Drebkau 2</i>	23	11,9	14	II,7	1,0	95,8	206,5
<i>Senftenberg</i>	43	16,0	16	III,0	1,0	148,2	274,1

Alter des Ausgangsbestandes (01.01.2009), Waldzustandsdaten nach Datenspeicher Wald (Dsw 2 2010), Mittelhöhe (hm), BHD = Brusthöhendurchmesser, BON = relative Höhenbonität, B° = Bestockungsgrad, Vorrat = Derbholzvorrat ($\varnothing > 7$ cm mit Rinde), Erntemenge nach Ganzbaumnutzung

Im März 2009 wurden die Ausgangsbestände „auf den Stock gesetzt“ und jeweils folgende Behandlungsvarianten in einfacher Wiederholung etabliert:

- „Niederwald I“ (1-jährige Rotation) bzw. „Niederwald II“ (2-jährige Rotation) mit ausschließlicher Energieholzproduktion
- „Mittelwald“, 4-jährige Rotation und Überhalt von hochwertigen „Lassreiteln“
- „Midi-Rotation“ in 20- bis 30-jährigen Nutzungsintervallen bzw. „Hochwald“ mit 80-jähriger Umtriebszeit

2.2 Standortverhältnisse

2.2.1 Naturraum und Regionalklima

Die Versuchsflächen lassen sich den forstlichen Wuchsgebieten „Mittelbrandenburger Talsand- und Moränenland“ (*Schwenow 1-5, Müncheberg*) sowie „Düben-Niederlausitzer Altmoränenland“ (*Drebkau 1-2, Senftenberg*) zuordnen. Kennzeichnend ist ein mäßig trockenes Tieflandklima (Klimastufe γ (t) bzw. Φ (m)) mit nach Südosten hin zunehmender Kontinentalität. Die jährliche Niederschlagssumme variiert

zwischen 606 bis 631 mm, davon entfallen in die Vegetationsperiode (April bis September) rund 60 % (s. Tab. 4). Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt etwa 8,5 °C. Mit 12,7 bis 38,9 mm bleibt die jährliche klimatische Wasserbilanz (KWBa 1) sehr gering. Anzeichen des Klimawandels wirken sich zunehmend auf Standortbedingungen und Waldentwicklung aus (FRANKE et al. 2006, HÄNTSCHEL et al. 2006, GEMBALLA u. SCHLUTOW 2007).

Tabelle 4: Allgemeine Klimacharakterisierung nach flächennahen Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) für die Referenzperiode 1961 bis 1990, Jahresmittel und für die Vegetationsperiode (kursiv)

Versuchsfläche	Niederschlag [mm]	Luft-Temperatur [°C]	Luft-Feuchtigkeit (relativ) [%]	Potenzielle Evapotranspiration [mm]	Klimatische Wasserbilanz [mm]
<i>Schwenow 1-5</i>	631,2 (362,1)	8,6 (14,2)	78,2 (74,5)	607,0 (461,0)	24,2 (-98,9)
<i>Müncheberg</i>	605,7 (343,0)	8,4 (14,1)	79,4 (76,1)	566,8 (425,3)	38,9 (-82,3)
<i>Drebkau 1-2 Senftenberg</i>	626,2 (411,2)	8,6 (13,3)	78,4 (75,3)	613,5 (517,7)	12,7 (-106,5)

2.2.2 Bodentypisierung und -zustand

Bei den natürlichen Waldstandorten handelt es sich um sandige und grundwasserferne Lokalbodenformen der weichselglazialen Serie. Als Bodentypen werden Normbraunerden (BBn) sowie grundmeliorierte Braunerde-Treposele (BB-YU) angesprochen (s. Tab. 5). Einen Sonderfall bildet *Schwenow 5* mit einem pflanzenbaulich relevanten Stauwassereinfluss (Pseudogley-Braunerde, SS-BB). Demgegenüber zeigen die jungen Rekultivierungsböden jenseits ihrer Humusanreicherung noch keine bodengenetische Differenzierung. Hier prägt die verkipungsbedingte Substratabfolge aus quartärem Kipp-Reinsand bis kohleführendem Lehmsand den Profilaufbau. In Abhängigkeit vom Flächenalter entwickeln sich Normlockersyroseme (OLn, *Drebkau 1*) binnen +/- 20 Jahren zu Normregosolen (Rqn, *Drebkau 2, Senftenberg*).

Während die Profile *Schwenow 3, Schwenow 4* und *Drebkau 2* homogene Reinsande (Ss) repräsentieren, reicht das Bodenartenspektrum bei allen übrigen Flächen bis zu stark lehmigem Sand (Sl4) bzw. stark sandigem Lehm (Ls4). Bekanntlich reagiert die Robinie sensibel auf Belüftungsstörungen (HUNTLEY 1990). Trotz Dichtlagerung (LD >1,55 g cm⁻³) weisen alle Standorte hohe Luftkapazitäten (LK 15 bis 35 Vol.-%) auf. Selbst in *Schwenow 5* liegt der LK-Wert mit 12 Vol.-% noch

im pflanzenbaulichen Optimalbereich, so dass die effektive Durchwurzelungstiefe auf allen Flächen mindestens 100 cm beträgt.

Durch den hohen Grobporenanteil bleibt aber die pflanzenverfügbare Wasserspeicherung mit 5 bis 15 Vol.-% gering. Für den Hauptwurzelraum (nFK_{100cm}) ergeben sich etwa 110 mm (gering bis mittel), in *Müncheberg* und *Schwenow 4* lediglich +/- 50 mm (sehr gering).

Tabelle 5: Bodentypisierung und -zustandserfassung

Versuchsfläche	Bodentyp (AG BODEN 2005)	Bodenart (AG BODEN 2005)	FK_{100cm} nFK_{100cm} [mm]	pH_{KCl}
Natürliche Waldstandorte				
<i>Schwenow 1</i>	Normbraunerde (BBn)	Su2 - Ls4	207 119	3,5 - 4,1
<i>Schwenow 2</i>	Braunerde-Treposol (BB-YU)	Ss - St2	130 107	3,8 - 4,4
<i>Schwenow 3</i>	Braunerde-Treposol (BB-YU)	Ss	136 111	3,9 - 4,4
<i>Schwenow 4</i>	Normbraunerde (BBn)	Ss	80 54	3,2 - 4,6
<i>Schwenow 5</i>	Pseudogley-Braunerde (SS-BB)	Su2 - Lu3	152 107	3,2 - 4,2
<i>Müncheberg</i>	Normbraunerde (BBn)	Ss	68 48	3,8 - 4,6
Kippenstandorte (Lausitzer Braunkohlenrevier)				
<i>Drebkau 1</i>	Normlockersyrosem ¹⁾ (OLn)	Ss - Sl4	187 109	7,7 - 8,4
<i>Drebkau 2</i>	Normregosol ²⁾ (RQn)	Ss	84 69	5,9 - 7,2
<i>Senftenberg</i>	Normregosol ³⁾ (Rqn)	Ss - Sl4	128 83	3,7 - 4,0

FK_{100cm} bzw. nFK_{100cm} = Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität bezogen auf 100 cm Profiltiefe

¹⁾ Kipp-Kohlesand (pq) über Kipp-Kohle-Kalklehmsand (pq),

²⁾ Kipp-Reinsand (q),

³⁾ Kipp-Gemengesand (q/pq)

Die natürlichen Waldstandorte zeigen einen degradierten bodenchemischen Zustand. Mit pH_{KCl} -Werten von 3,2 bis 4,6 lässt sich der Hauptwurzelraum dem Aluminium- und Austauscher-Pufferbereich zuordnen (ULRICH 1981, AG BODEN

2005). Dabei fällt die Basensättigung unter 20 % ab, bei anspruchsvollen und wenig Al- bzw. säuretoleranten Laubbaumarten kommt es zu einer Beeinträchtigung der Feinwurzelbildung. Im Gegensatz hierzu gilt die Robinie jedoch als wenig sensitiv (u. a. PLASS 1972) und darüber hinaus anspruchslos (HUNTLEY 1990). Eine Hemmung der Tiefendurchwurzelung ist für die betrachteten Modellflächen kaum anzunehmen.

Gegenüber „gewachsenen“ Böden weisen die Kippen eine wesentlich höhere Substratheterogenität auf, u. a. bedingt durch kohlige bzw. schluffig-tonige Beimengungen. Hierbei kontrastieren der noch weitgehend unverwitterte Quartärsand *Drebkau 2* und das Kohle führende Tertiärgemenge der Fläche *Senftenberg*.

3 Biomassepotenzial in ein- und zweijähriger Rotation

3.1 Ableitung einer Biomassefunktion

Die Ernte des ersten ein- und zweijährigen Aufwuchses erfolgte im März 2010 bzw. 2011 motormanuell. Grundlage der Massenermittlung bilden allometrische Biomassefunktionen des Typs $BM = a \times d_{00}^b$, wobei die Zielgröße „Biomasse in g (atro, 105 °C) der einzelnen Rute“ auf nur einer Erklärungsvariablen, hier ihrem Basisdurchmesser m. R. (d_{00}) beruht (vgl. KETTERINGS et al. 2001, RÖHLE et al. 2008).

Je Ernteparzelle wurden 20 Austriebe vermessen und gewogen. Die einzelflächen- bzw. rotationsbezogenen Durchmesser-Biomassebeziehungen sind annähernd identisch (MANTHE 2010). Auch ist die Wuchsform (Morphologie) aus Stockausschlag und Wurzelbrut vergleichbar. Für die praktische Anwendung lässt sich eine allgemeingültige Schätzfunktion hoher Bestimmtheit ($R^2 = 0,9393$) ableiten (s. Abb. 4).

Die hektarbezogene Ertragsermittlung erfolgte mittels Stichprobenverfahren und basiert auf mindestens 300 Ruten-Basisdurchmessern je Ernteparzelle. Hierzu wurden 4 bis 6 zufällig verteilte Probekreise analog 3-Baum („Stock“-) Stichprobe aufgenommen. Bereits HARTMANN (2006) bzw. RÖHLE et al. (2008) zeigen, dass solche Stichprobenverfahren bei vertretbarem Messaufwand die besten Schätzergebnisse liefern.

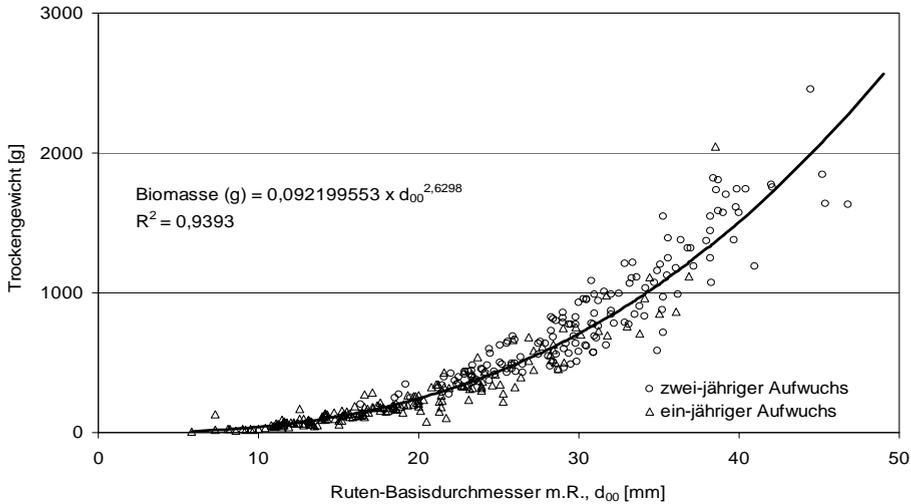


Abbildung 4: Biomassefunktion für Robinienstockausschlag und –wurzelbrut über alle Modellflächen und Parzellen des ein- und zweijährigen Umtriebs (einjähriger Aufwuchs, erste Rotation 2010, zweijähriger Aufwuchs, erste Rotation 2011; $n = 360$, alle Flächen). Als Bezugsgröße dient der Triebbasisdurchmesser (in ca. 5 cm Schnitthöhe), da eine Probekreislaufaufnahme aufgrund Dichtstand und Dornenbewehrung erst nach Flächenräumung möglich ist.

3.2 Erntemengen

Bereits im ersten Jahr erreicht die durchschnittliche Biomasseproduktion $4,34 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Tab. 6). Auffällig ist die hohe Ertragsstreuung, leistet doch die mattwüchsige Fläche *Schwenow 3* (Z2) nur $0,75 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ gegenüber $7,65 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ am Standort *Schwenow 1* (K2). Die zweijährige Rotation wirkt deutlich ertragssteigernd. So erreicht der DGZ dann $5,38 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (+ 24 %), für die frohwüchsige Fläche *Schwenow 1* gar $9,98 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (+31 %). Nach Tabelle 7 trägt die Wurzelbrut maßgeblich zur Bestandesdichte ($\bar{\phi}$ 63 % der Stammzahl) und damit Gesamtwuchsleistung ($\bar{\phi}$ 40 % der Biomassebildung, s. Tab. 6) bei. Unabhängig davon, bleibt die anfängliche Leistungsabstufung bestehen, wenngleich die geringwüchsigen Bestände *Müncheberg*, *Schwenow 2* und *Schwenow 3* überproportionale Zuwachssteigerungen zeigen. Eine monokausale Standortabhängigkeit der Biomasseleistung ist bisher nicht erkennbar. Beispielsweise weisen die jeweils leistungsstärkste und -schwächste Fläche einander vergleichbare Reaktionsverhältnisse und Wasserspeichereigenschaften auf (s. Tab. 5), ähnliches gilt für ihre Bestockungsdichten (s. Tab. 7).

Zur besseren Einordnung: Nach PETERS et al. (2007) zeigen sechsjährige Robinien-Agrarholzflächen in Brandenburg rund $5,5 \text{ t}_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Auch dort wirken Bodeneigenschaften kaum ertragsdifferenzierend, obwohl die Ackerzahlen zwischen 20 und 42 schwanken. Selbst auf humusarmen, nur schwach bis mäßig

bindigen Rohböden des Braunkohlenbergbaus sind in erster Rotation 6,0 bis 6,5 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ möglich (GRÜNEWALD 2005), wiederum ein Beleg für die geringen Standortanforderungen der Baumart. Damit entspricht das regionale Ertragsniveau in etwa den Wuchsverhältnissen des nordamerikanischen Herkunftsgebietes. So nennen beispielsweise ZIMMERMANN u. CARPENTER (1980) nach Ernte 5-jähriger Ausgangsbestände im nachfolgenden einjährigen Aufwuchs 3,5 bis 6,3 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Nach BONGARTEN et al. (1992a) ergeben sich für 3-jährige Kurzumtriebsplantagen in Abhängigkeit von Standort, Bestandesmanagement (Zusatzberegnung, N-Düngung) und Genotyp 3 bis 8 $t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. In der zweiten Rotation profitieren die Aufwüchse dann von den etablierten Wurzelsystemen. Umgekehrt ist nicht auszuschließen, dass die Wuchsleistung nach Aufzehrung der im Vorbestand gespeicherten Assimilate abfällt.

Tabelle 6: Biomasseproduktion in ein- und zweijähriger Rotation (erstes und zweites Jahr der Bewirtschaftung)

Versuchsfläche	Biomasse (gesamt)	Stockausschlag	Wurzelbrut	Biomasse (gesamt)	Stockausschlag	Wurzelbrut
einjährige Rotation (2009) [$t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$]			zweijährige Rotation (2010) [$t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1}$]			
Natürliche Waldstandorte						
<i>Schwenow 1</i>	7,648	6,631 (87 %)	1,017 (13 %)	19,954	14,995 (75 %)	4,959 (25 %)
<i>Schwenow 2</i>	2,731	1,639 (60 %)	1,092 (40 %)	8,722	6,202 (71 %)	2,520 (29 %)
<i>Schwenow 3</i>	0,745	0,591 (79 %)	0,154 (21 %)	3,411	1,993 (58 %)	1,418 (42 %)
<i>Schwenow 4</i>	6,241	4,911 (79 %)	1,330 (21 %)	17,054	8,424 (49 %)	8,630 (51 %)
<i>Schwenow 5</i>	5,146	2,950 (57 %)	2,196 (43 %)	11,773	4,824 (41 %)	6,949 (59 %)
<i>Müncheberg</i>	2,124 inkl. NA	1,049 (49 %)	1,075 (51 %)	5,184 +0,656 NA	3,320 (64 %)	1,864 (36 %)
Kippenstandorte (Lausitzer Braunkohlenrevier)						
<i>Drebkau 1</i>	5,578 inkl. NA	3,566 (64 %)	2,012 (36 %)	8,024 +2,056 NA	5,322 (66 %)	2,702 (34 %)
<i>Drebkau 2</i>	4,515	2,976 (66 %)	1,539 (34 %)	9,251	4,459 (49 %)	4,702 (51 %)
<i>Senftenberg</i>	2,310	1,500 (65 %)	0,810 (35 %)	n.b.	n.b.	n.b.

n.b. = nicht bestimmt, Fläche *Senftenberg* : einjährige Rotation in 2010

NA = „Nebenaufwuchs“ vorwiegend aus Ebersesche, Roterle und Faulbaum, betrifft die Flächen *Müncheberg* und *Drebkau 1*, an den übrigen Standorten zu vernachlässigen

Tabelle 7: Bestockungsdichte bei zweijähriger Rotation (2010)

Versuchsfläche	Biomasse (gesamt)	Stockausschlag	Wurzelbrut	Biomasse (gesamt)	Stockausschlag	Wurzelbrut
	ohne Kluppschwelle			≥10 mm Triebbasis-Ø (m.R.)		
	[N ha ⁻¹]					
Natürliche Waldstandorte						
<i>Schwenow 1</i>	45.747	24.246 (53 %)	21.501 (47 %)	31.024	18.925 (61 %)	12.099 (39 %)
<i>Schwenow 2</i>	43.316	20.792 (48 %)	22.524 (52 %)	24.480	13.954 (57 %)	10.526 (43 %)
<i>Schwenow 3</i>	47.832	22.959 (48 %)	24.873 (52 %)	16.582	7.959 (48 %)	8.623 (52 %)
<i>Schwenow 4</i>	35.309	10.593 (30 %)	24.716 (70 %)	28.447	10.241 (36)	18.206 (64 %)
<i>Schwenow 5</i>	36.932	6.278 (17 %)	30.654 (83 %)	23.784	5.233 (22 %)	18.551 (78 %)
<i>Müncheberg</i>	31.358	9.721 (31 %)	21.637 (69 %)	14.378	6.758 (47 %)	7.620 (53 %)
Kippenstandorte (Lausitzer Braunkohlenrevier)						
<i>Drebkau 1</i>	36.498	11.679 (32 %)	24.819 (68 %)	19.921	8.965 (45 %)	10.956 (55 %)
<i>Drebkau 2</i>	64.055	17.295 (27 %)	46.760 (73 %)	35.604	13.174 (37 %)	22.430 (63 %)
<i>Senftenberg¹⁾</i>	37.546	17.647 (47 %)	19.899 (53 %)	13.001	8.321 (64 %)	4.680 (36 %)

¹⁾ Fläche *Senftenberg*: einjährige Rotation in 2010

„Nebenaufwuchs“ - Fläche *Müncheberg*: 46 % der Stammzahl, Fläche *Drebkau 1*: 48 % der Stammzahl

4 Weitere Ergebnisse

4.1 Holzphysikalische Eigenschaften

Nach Tabelle 8 zählt die Robinie zu den Nutzhölzern mit der höchsten Druck-, Biege- und Zugfestigkeit (LAMPSON 1996, JAUERNIG 1997, NEUMANN 1999, MOLNAR et al. 1998, RICHTER 2000). Als eine der wenigen „einheimischen“ Gehölze erfüllt sie die Anforderungen nach Resistenzklasse 1-2 der DIN EN 350-

2 und findet so als Tropenholzersatz im Außenbereich (Gartenmöbel, Beplankung, Pfähle) und Wasserbau (Stege, Uferbefestigung) Verwendung (HAPLA 1998).

Tabelle 8: Wichtige holzphysikalische Eigenschaften von Robinienholz (arithmetisches Mittel und Standardabweichung)

Eigenschaft	sx⁻	Mittelwert	sx⁺
Gewicht frisch [kg m ⁻³]		930	
Rohdichte (darrtrocken) [g cm ⁻³]	0,70	0,75	0,80
Rohdichte (12-15 % Holzfeuchte) [g cm ⁻³]		0,78	
Biegefestigkeit [N mm ⁻²]	133	150	167
Druckfestigkeit [N mm ⁻²]	80	86	92
Zugfestigkeit [N mm ⁻²]	130	164	198
Elastizitätsmodul (Biegung) [N mm ⁻²]	14.500	16.200	17.900
Scherfestigkeit [N mm ⁻²]	16	18	20
Härte BRINELL [N mm ⁻²]	31	37	43

RICHTER et al. (2000) bzw. BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT (2001)

Bisher wird Robinien-Stammholz in Deutschland als „übriges Laubholz“ klassifiziert. Gemäß Handelsklassensortierung (HKS Rohholz) führen dabei Schaftkrümmungen, Zwieselbildung und Grobastigkeit häufig zu einer Abwertung (GRÜNING 1995). In bestimmten Anwendungsbereichen, wie dem Spielplatz- bzw. -gerätebau, können solche „Holzfehler“ aber durchaus begehrt sein.

Im Projekt werden nunmehr die energetischen Holzeigenschaften näher betrachtet; bedeutsam sind Rohdichte und thermische Energie. Demnach weist der einjährige Austrieb eine mittlere Rohdichte (darrtrocken) von 0,555 g cm⁻³ (n = 28, sx = 0,066 g cm⁻³), hingegen das Stammholz der Ausgangsbestände von 0,746 g cm⁻³ (n = 33, sx = 0,054 g cm⁻³) auf. Solche Unterschiede erklären sich durch das geringere Trockenraumgewicht des Splintes (DÜNISCH et al. 2008). Gleichwohl übertrifft der Robinien-Aufwuchs deutlich die Werte für Kurzumtriebs-Pappeln, von 0,33 bis 0,47 g cm⁻³ (SACHSSE 1979, DINUS et al. 1990). Darüber hinaus besitzt die Robinie einen vergleichsweise hohen spezifischen Heizwert (H_u). Nach Tabelle 9 ergeben sich in einjähriger Rotation 17.493 kJ kg⁻¹ (Splintholz, darrtrocken) bzw. 19.090 kJ kg⁻¹ (Rinde, darrtrocken). Demgegenüber nennen ZIMMERMANN u. CARPENTER (1980) für Robinien-Stockausschläge einen Brennwert (H_s) von 19.502 kJ kg⁻¹ (20 % Holzfeuchte), was in etwa 17.500 kJ kg⁻¹ H_u (darrtrocken) entspricht. Die Energiedichte solcher Hackschnitzel kommt in

etwa handelsüblichen Braunkohlenbriketts nahe; hier weitere Energiewerte organischer Brennstoffe: Buche ($14.400 \text{ kJ kg}^{-1}$) < Eiche ($15.100 \text{ kJ kg}^{-1}$) < Birke ($15.500 \text{ kJ kg}^{-1}$) < Tanne ($16.200 \text{ kJ kg}^{-1}$) < Weide ($16.830 \text{ kJ kg}^{-1}$) < Pappel ($17.250 \text{ kJ kg}^{-1}$) < Braunkohlenbriketts ($19.259 \text{ kJ kg}^{-1}$) < Steinkohle ($29.780 \text{ kJ kg}^{-1}$) < Dieselöl und leichtes Heizöl ($42.705 \text{ kJ kg}^{-1}$).

Tabelle 9: Mittlere Heizwerte (DIN 51900) von Robinien-Stammholz der Ausgangsbestände ($n = 33$) und Ruten des einjährigen Umtriebs ($n = 28$)

	Heizwert [kJ kg^{-1} wasserfrei]			
	Stammholz	% vom Kernholz	Stockausschlag	% vom Splintholz
Kernholz	18.538	100,0	-	-
Splintholz	18.208	98,2	17.493	-
Rinde	18.672	100,7	19.090	109,1

Aufgrund der hohen Energieausbeute eignen sich Robinienhackschnitzel hervorragend zur Verfeuerung, selbst aus einjährigen Ruten. So erfordern beispielsweise Kurzumtriebs-Pappeln bei gleichem Ergebnis um den Faktor 1,3 bis 1,9 höhere Tonnagen, was wiederum den Transport verteuert.

4.2 Populationsgenetische Charakterisierung

Leider steht die Robinienzüchtung hierzulande noch am Anfang, da Forstbauschulen bislang kaum Interesse an hiesigen Herkünften bekunden (SCHULTZ 1990, SEELING 1997). Andererseits ergeben sich Spielräume zur weiteren Ertrags- und Wertsteigerung (EWALD et al. 1992, SCHÜLER et al. 2006, DINI-PAPANASTASI 2008, SCHILDBACH et al. 2009). So ist nach BONGARTEN et al. (1992b) bereits im ersten Selektionszyklus eine etwa 50 %-ige Ertragsverbesserung möglich. Tatsächlich sind standortadaptierte Robinien in Anbau- bzw. Sortenvergleichsversuchen durchaus konkurrenzfähig (GRÜNEWALD et al. 2007, PETERS et al. 2007). Allerdings bleiben geografische Herkunft und populationsgenetische Struktur ihrer Ausgangsbestände in aller Regel unbekannt (HERTEL u. SCHNECK 2003).

Erste Ergebnisse des „DNA-Fingerprints“ belegen für die 20- bis 40-jährigen Modellbestände eine hohe molekularbiologische Diversität. Fast jedes Individuum trägt einen eigenen Multilocus-Genotyp, was auf Sämlinge ähnlicher Herkunft, aber verschiedener Populationen (Ausnahme *Drebkau 2*) deutet. Demgegenüber zeigen *Schwenow 4* und *5* sowie *Müncheberg* ausgeprägte klonale Muster. Sie weisen nur wenige Multilocus-Genotypen auf, darüber hinaus lässt sich Wurzelbrutbildung nachweisen (LIESEBACH, in diesem Band S. 275 ff.). Nach BÖCKER u. DIRK (2004) können sich so einzelne Individuen binnen einer Vegetationsperiode bis zu drei

Meter ausbreiten. Entsprechende Konkurrenzstrategien werden sowohl im natürlichen Verbreitungsgebiet als auch für Sukzessionsbestände beschrieben (KOWARIK 1996, CHANG et al. 1998, JUNG et al. 2009). Dagegen spielt die generative Vermehrung im Wald keine Rolle (KOWARIK 1995). Schließlich bestehen zwischen *Schwenow* 4 und 5 enge Verwandtschaftsbeziehungen. Offensichtlich wurde erstere Fläche mit Wildlingen oder Wurzelschnittlingen des sechs Jahre älteren, nur unweit entfernten Bestandes *Schwenow* 5 begründet (LIESEBACH, in diesem Band S. 275 ff). Solche Klonausprägungen können innerhalb der Bestände bzw. zwischen den einzelnen Bewirtschaftungsvarianten ertragsdifferenzierend wirken.

Populationsgenetische Informationen sind nicht nur ertragskundlich relevant, vielmehr ergeben sich Anknüpfungspunkte für die Auswahl von Vermehrungsgut. Insbesondere Genotypen, welche sich auf unterschiedlichen Standorten behaupten und über eine breite ökologische Amplitude verfügen, wecken züchterisches Interesse. Andererseits ist bekannt, dass die genetische Varianz während einer „natürlichen“ Selektion abnimmt. Ob dies die Anpassungsfähigkeit bezüglich künftiger Umweltbedingungen beeinträchtigt, bleibt zunächst unklar. Angesichts bestehender Prognoseunsicherheiten dürfte jedoch eine geringe physiologische Vielfalt der Reaktionsmuster, wie in den älteren klongeprägten Modellbeständen anzunehmen, eher nachteilig sein (KÄTZEL 2008).

5 Bedeutung für die Praxis und Ausblick

Im Land Brandenburg werden seit 2009 verschiedene Waldbausysteme für eine energetische und stoffliche Verwertung der Robinie erprobt. Ziel ist eine stärkere Anpassung des Produktionsprozesses an die natürliche Wuchsdynamik der Baumart. Es geht um nachfrageorientierte Behandlungsalternativen für waldbaulich schwierige Ausgangsbestände. Indessen sind die ersten Ergebnisse zur Energieholzproduktion vielversprechend. So realisieren zweijährige Aufwüchse auf mäßig frischen, schwach bis mittel nährstoffversorgten Sanden bis zu $10 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Demgegenüber erreicht der laufende Robinien-Derbholzzuwachs in Brandenburgs Wäldern gerade einmal $4 t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Obgleich 3- bis 6-jährige Umtriebszeiten weitere Ertragsverbesserungen vermuten lassen (PETERS et al. 2007), muss eine plantagenartige Bewirtschaftung kritisch hinterfragt werden. Ganz profan, sprechen zunächst forstgesetzlich verankerte Standards dagegen, wie zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (§§ 1 und 11 BWaldG 2010) oder die Einstufung niederwaldartig behandelter Bestände als Kurzumtriebsplantagen (§ 2 BWaldG 2010). Auch kollidieren solche Bewirtschaftungsmodelle mit den Grundsätzen eines multifunktionalen, ökologisch begründeten Waldbaus und stoßen daher auf breite Ablehnung (PROWALD-NRW 2009). Zu den noch offenen Fragen der Standortverträglichkeit zählen beispielsweise erhöhte Nitratfrachten im Sickerwasser (MONTAGNINI et al. 1986, 1991, BERTHOLD u. VOR 2003).

Als problematisch wird schließlich die Beerntung angesehen. Im Gegensatz zu Agrarholz ist eine vollflächige Befahrung in der ökonomisch vorteilhaften „Hackholzlinie“ nicht möglich. Sehr geringe Stückmassen (< 5 cm Triebbasis- \emptyset , < 3 kg_{atro}) sprechen wiederum gegen gassengebundene Verfahren („Bündellinie“). So liegen die Bereitstellungskosten einer teilmechanisierten Hackschnitzel-erzeugung für einen mittleren BHD (d_{13}) von 10 cm bei rund 11,- EUR je Srm (WITTKOPF et al. 2003, LWF 2005). Dies entspricht erntekostenfreien Erlösen von derzeit 3,- EUR je Srm bzw. 7,50 EUR je m³. Nach ERTELD (1952) werden solche Stammdimensionen aber frühestens mit 20 Jahren erreicht. Sie lassen dann, kostengünstig als Industrieholz bzw. Energieholz ausgehalten, deutlich höhere Reinerlöse erwarten. Beispielsweise sind in Brandenburg aktuell und frei Wald folgende Preise realisierbar: bis zu 39,- EUR je m³ (ISN, Energieholz, erntekostenfrei ca. 20,- EUR je m³), 50,- bis 70,- EUR je m³ (Industrieholz lang), 75,- bis 100,- EUR je m³ (Stammholz). Dies korrespondiert mit einer europaweit sehr lebhaften Marktnachfrage (HAPLA 1998), weitere Sortierungsgewinne sind möglich (FROMMHOLD 2002).

Durch die aufwuchsreiche Wurzelbrut kann eine Qualitätsverbesserung der Folgebestände erreicht werden, welche eine hochwertige Holzerzeugung erst ermöglicht. Gedacht ist an eine „Midi-Rotation“ (20-30-jährige Umtriebszeit) oder die mittelwaldartige Bewirtschaftung mit Freistellung von „Lassreiteln“. So entfallen bereits in sechsjährigen, weitständig begründeten Erstaufforstungen 32 % der Schaft-Holzmasse auf Derbholz (> 7 cm \emptyset). Davon sind knapp 80 % der Stämme bei entsprechender Herkunftswahl und ohne Pflegeeingriffe pfahltauglich (PETERS et al. 2007).

Schließlich weisen die geringen Standortansprüche der Robinie und ihr hohes Regenerationspotenzial neue Perspektiven des Agrarholzanbaus. Zwar gelten im niederschlagsarmen Nordostdeutschen Tiefland grundwasserbeeinflusste Standorte mit einem $DGZ > 10$ t_{atro} ha⁻¹ a⁻¹ als Energieholz(Pappel)-Vorrangflächen (MURACH et al. 2009). Jedoch sind Landwirte kaum bereit solche ertragskräftigeren Standorte vorzuhalten, lassen sich doch mit konventionellen Energiepflanzen, wie Raps oder Mais, bedeutend höhere Deckungsbeiträge erwirtschaften (REIKE 2009). Daher stehen letztendlich grundwasserferne, nicht pappelfähige Grenzertragsstandorte mit Bodenwertzahlen < 25 zur Disposition. Die guten Ertragsleistungen armer Waldstandorte lassen aber vermuten, dass Robinie eine durchaus lohnende Bewirtschaftungsalternative sein kann, nicht zuletzt auch auf Energiestrassen.

Literatur

- AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 S.
- BERTHOLD, D. u. VOR, T. (2003): Robinie - Fluch oder Segen für den Waldboden? In: BRANG, E. (Hrsg.): Biologische Rationalisierung im Waldbau, Tagungsband, Jahrestagung der Sektion Waldbau im Deutschen Verband Forstlicher Forschungsanstalten, Birmensdorf, 10.-12. September 2003, 55-61
- BÖCKER, R. u. DIRK, M. (2006): Ringelversuch bei *Robinia pseudoacacia* L. - Erste Ergebnisse und Ausblick. Ber. Inst. Landschafts- Pflanzenökologie Univ. Hohenheim 14/15/16, 2004-2006, 127-142
- BONGARTEN, B.C.; HUBER, D. u. APSLEY, D. (1992A): 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
- BONGARTEN, B.C.; MERKLE, S.A. u. HANOVER, J.W. (1992B): Genetically improved Black Locust for biomass production in short-rotation plantations. In: KLASS, D.L. (ed.): *Energy from Biomass and Wastes*, XV. Institute of Gas Technology, Chicago, IL, 391-409
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2011): Neoflora-Handbuch. Die wichtigsten invasiven Pflanzenarten (URL:http://www.floraweb.de/neoflora/handbuch/robiniapseudoacacia.html#_dt2 vom 14.03.2011)
- BUNDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR FORST- UND HOLZWIRTSCHAFT (2001): Die Robinie und ihr Holz. Informationsblatt (<http://www.bfah.de/bibl/pdf/robinie.pdf>), 4 S.
- BWALDG (2010): Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz) vom 2. Mai 1975 (BGBl. I S. 1037), zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 31. Juli 2010 (BGBl. I S. 1050) geändert
- CHANG, C.-S.; BONGARTEN, B.C. u. HAMRICK, J.L. (1998): Genetic structure of natural populations of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) at Coweeta, North Carolina. *Journal of Plant Research* 11, 17-24
- 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
- DINUS, R.J.; DIMMEL, D.R.; FEIRER, R.P.; JOHNSON, M.A. u. MALCOM, E.W. (1990): Modifying woody plants for efficient conversion to liquid and gaseous fuels. Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/Sub/88-SC006/1, Oak Ridge, TN, 100 S.
- DSW 2 (DATENSPEICHER WALDFONDS 2) (2011): Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB). Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)
- DÜNISCH, O.; RICHTER, H.-G. u. KOCH, G. (2008): Wood properties of juvenile and mature heartwood in *Robinia pseudoacacia* L. *Wood Sci. Technol.* 44, 2, 301-313
- ENGEL, J. u. KNOCHE, D. (2011): Energie aus dem Stock - Zur Bewirtschaftung der Robinie im Schnellumtrieb. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 45, 25-35
- ERTELD, W. (1952): Wachstum und Ertrag der Robinie im Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Forstwissenschaftlichen Fakultät
- ERTLE, C.; BÖCKER, L. u. LANDGRAF, D. (2008): Wuchspotenzial von Stockausschlägen der Robinie. *AFZ-DerWald* 18/2008, 994-995
- EWALD, D.; NAUJOKS, G.; HERTEL, H. u. EICH, J. (1992): Hat die Robinie in Brandenburg eine Zukunft? *Allgemeine Forst Zeitschrift* 14/1992, 738-740
- FRANKE, J.; GOLDBERG, V.; MELLENTIN, U. u. BERNHOFER, C. (2006): Risiken des regionalen Klimawandels in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. *Wissen. Zeitschrift TU Dresden* 55, 3-4, 97-104
- FROMMHOLD, H. (2002): Technologische Eigenschaften und Verwendung des Holzes. In: MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG (MLUR) (Hrsg.): *Ausländische Baumarten in Brandenburgs Wäldern*, 211-226.

- GEMBALLA, R. u. SCHLUTOW, A. (2007): Überarbeitung der Forstlichen Klimagliederung Sachsens, AFZ-DerWald 15/2007, 822-826
- GRÜNEWALD, H. (2005): Anbau schnellwachsender Gehölze für die energetische Verwertung in einem Alley-Cropping-System auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlenreviers. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung 18, 1-124
- GRÜNEWALD, H.; SCHOLZ, V.; SCHNEIDER, B.-U. u. HÜTTL, R.F. (2007): Baumartenwahl und Ernte-technik als Schlüsselfaktoren beim Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen. Forst und Holz 62, 11, 22-27
- GRÜNING, K.-U. (1995): Aufkommen und Verwendung von Robinienholz in Deutschland. Diplomarbeit, Universität Göttingen, Forstwissenschaftliche Fakultät
- HÄNTSCHEL, J.; FRANKE, J.; GEMBALLA, R. u. BERNHOFER, C. (2006): Forstliche Klimagliederung Sachsens im Klimawandel. AFZ-DerWald 25/2006, 830-832
- HAPLA, F. (1998): Robinien-Holzprodukte europaweit nachgefragt. Holz-Zentralblatt 133, 1976-1977
- HARTMANN, K.-U. (2006): Biomassefunktionen als Grundlage zur Ertragsermittlung in Kurzumtriebsbeständen. In: DVFFA - Sektion Ertragskunde, Jahrestagung 2006, 167-173
- HERTEL, H. u. SCHNECK, V. (2003): Untersuchungen zur genetischen Struktur eines Robinienbestandes (*Robinia pseudoacacia* L.) in Brandenburg. In: WELLING, M. (Hrsg.): Bedrohung der biologischen Vielfalt durch invasive gebietsfremde Arten - Erfassung, Monitoring und Risikoanalyse. Münster, Landwirtschaftsverlag GmbH
- HUNTLEY, J.C. (1990): Black Locust. In: BURNS, M.R. u. HONKALA, H.B. (eds.): Silvics in North America. Volume 2, Hardwoods. U.S.D.A. Agricultural Handbook 654, 755-761
- JAUERNIG, H. (1997): Untersuchungen über die Verklebung von Robinie bei höheren Holzfeuchten. Diplomarbeit. Universität Hamburg, Fachbereich Biologie
- JUNG, S.-C.; MATSUSHITA, N.; WU, B.-Y.; KONDO, N.; SHIRAIISHI, A. u. HOGETSU, T. (2009): Reproduction of a *Robinia pseudoacacia* population in a coastal Pinus thunbergii windbreak along the Kujukurihama Coast. Japan Journal of Forest Research 14, 101-110
- KÄTZEL, R. (2008): Klimawandel - Zur genetischen und physiologischen Anpassungsfähigkeit der Waldbaumarten. Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol. 42, 9-15
- KÄTZEL, R.; LÖFFLER, S.; MÖLLER, K.; HEYDECK, P. u. KALLWEIT, R. (2006): Das Eichensterben als Komplexkrankheit. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 25, 94-100
- KALLWEIT, R. (2010): Waldzustand in der Region Berlin-Brandenburg 2009. BRAFONA (19) 143, 10-12
- 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
- KOWARIK, I. (1995): Ausbreitung nichteinheimischer Gehölzarten als Problem des Naturschutzes? In: BÖCKER, R.; GEBHARDT, H.; KONOLD, W. u. SCHMIDT-FISCHER, S. (Hrsg.): Gebietsfremde Pflanzenarten. Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Kontrollmöglichkeiten und Management, ecomed Verlag, Landsberg, 33-56
- KOWARIK, I. (1996): Funktionen klonalen Wachstums von Bäumen bei der Brachflächen-Sukzession unter besonderer Beachtung von *Robinia pseudoacacia*. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 26, 173-181
- LAMPSON, P. (1996): Druckimprägnierte Hölzer im Außenbereich. Bausortiment Holz und Ausbaubedarf (Publikation des Holzzentralblattes). Leinfelden-Echterdingen, 12 S.
- LANDGRAF, D., ERTLE, C. u. BÖCKER, L. (2005): Wuchspotenzial von Stockausschlägen der Robinie auf Bergbaufolgefleichen. AFZ-DerWald 14/2005, 748-749
- LWF (2005): Bereitstellung von Waldhackschnitzeln. LWF-Merkblatt Nr. 10., 2. Auflage, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising, 4 S.
- MANTHE, K. (2010): Alters- und standortsabhängiges Stockausschlagsvermögen der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) nach einjährigem Umtrieb in Brandenburg. Bachelorarbeit, Fachhochschule Erfurt, Fachrichtung Forstwirtschaft und Ökosystemmanagement

- MLUR (MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG) (2004): Waldbau-Richtlinie 2004 - „Grüner Ordner“ - der Landesforstverwaltung Brandenburg
- MOLNÁR, S. (1995): Wood properties and utilization of Black Locust in Hungary. *Drevarsky Vyskum* 1, 27-33
- MOLNÁR, S.; PESZLEN, I.; RICHTER, H.G.; TOLVAJ, L. u. VARGA, F. (1998): Influence of steaming on selected wood properties of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.). Proceedings "Environment and Wood Science", Acta Facultatis Ligniensi, University of Sopron, Hungary
- MONTAGNINI, F., HAINES, B., BORING, L. u. SWANK, W. (1986): Nitrification potentials in early successional Black Locust and in mixed hardwood forest stands in the southern Appalachians, USA, *Biogeochemistry* 2, 197-210
- MONTAGNINI, F.; HAINES, B. u. SWANK, W. (1991): Soil-solution chemistry in black locust, pine/mixed-hardwoods and oak/hickory forest stands in the southern Appalachians, USA, *Forest Ecology and Management* 40, 199-208
- MURACH, D.; HARTMANN, H.; MURN, Y.; SCHULTZE, M.; WAEL, A. u. RÖHLE, H. (2009): Standortbasierte Leistungsschätzung in Agrarholzbeständen in Brandenburg und Sachsen. In: REEG, T.; BEMMANN, A.; KONOLD, W.; MURACH, D. u. SPIECKER, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 29-40
- NEUMANN, M. (1999): Orientierende Untersuchung zur Anwendung von Holzpflaster im Außenbereich. Diplomarbeit. Technische Universität Dresden, Fachrichtung Forstwissenschaften
- PETERS, T., BILKE, G. u. STROHBACH, B. (2007): Ertragsleistung sechsjähriger Robinien (*Robinia pseudoacacia*) auf vier ehemaligen Ackerstandorten unterschiedlicher Bodengüte in Brandenburg. *Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol.* 41, 26-28
- PETZOLD, R.; FEGER, K.H. u. SIEMER, B. (2006): Standörtliche Potenziale für den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Ackerflächen. *Allg. Forst. Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge* 61, 855-857
- PLASS, W.T. (1972): Fertilization treatments increase black locust growth on extremely acid surface-mine spoils. *Tree Planters' Notes* 23, 3, 3 S.
- PROWALD-NRW (2009): Bündnis ProWald NRW - Positionspapier des Bündnisses ProWald NRW: „Kurzumtriebsplantagen (KUP) im Wald“ vom 23.03.2009, <http://www.prowald-nrw.de/stellungnahmen.html>.
- REIKE, J. (2009): Forschungsvorhaben Entwicklung von nachhaltigen Energiepflanzenbausystemen in der Lausitz - Gutachterliche Stellungnahme zum Thema Kurzumtriebsplantagen. Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB), Abschlussbericht, 79 S.
- RICHTER, H.G. (ED.) (2000): Technology for high quality products from Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.). Final Report INCO COPERNICUS Project No. PL 96-4114, EU Contract Nr. ERB IC15-CT960713, 238 S.
- RIEK, W. (2009): Erste Ergebnisse der Bodenzustandserhebung (BZE-2) in Brandenburg. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 40, 6-13
- RIEK, W. (2010): Regionale und standortsbedingte Unterschiede zu den Auswirkungen des Klimawandels. *Eberswalder Forstliche Schriftenreihe* 44, 38-48
- RIEK, W. u. KALLWEIT, R. (2007): Einfluss des Wasserhaushaltes auf den Kronenzustand der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) in Brandenburg. *Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol.* 41, 2, 49-59
- RÖHLE, H.; HARTMANN, K.-U.; STEINKE, C. u. MURACH, D. (2008): Leistungsvermögen und Leistungserfassung von Kurzumtriebsbeständen. In: REEG, T.; BEMMANN, A.; KONOLD, W., MURACH, D. u. SPIECKER, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 41-55
- ROLOFF, A. u. GRUNDMANN, B. (2008): Waldbaumarten und ihre Verwendung im Klimawandel. *Archiv f. Forstwesen u. Landsch.ökol.* 42, 97-109
- SACHSSE, H. (1979): Holzeigenschaften wichtiger Balsampapeln und Balsamhybriden. *Holz-Zentralblatt* 105, 1517-1518

- SCHILDBACH, M.; GRÜNEWALD, H.; WOLF, H. u. SCHNEIDER, B.-U. 2009: Begründung von Kurzumtriebsplantagen: Baumartenwahl und Anlageverfahren. In: REEG, T., BEMMANN, A., KONOLD, W., MURACH, D. u. SPIECKER, H. (Hrsg.): Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 57-71
- SCHÜLER, S.; WEIBENBACHER, L. u. SIEBERER, K. (2006): Robinien für Energie- oder Wertholz - die Sorte macht's!, Forstzeitung 117, 8, 8-9
- SCHULTZ, T. (1990): Anbaumöglichkeiten der Robinie. Diplomarbeit Fachhochschule Hildesheim / Holzminnen, Fachbereich Forstwirtschaft
- SEA 95 (2005): Anleitung für die forstliche Standortserkundung im nordostdeutschen Tiefland SEA 95 - Teil A - D und Bodenformenkatalog. Schwerin
- SEELING, U. (1997): Die Robinie - nur ein Exot im Deutschen Wald? Forst und Holz 52, 81-86
- ULRICH, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 144, 3, 289-305
- WITTKOPF, S.; HÖMER, U. u. FELLER, S. (2003): Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel – Leistungen, Kosten, Rahmenbedingungen. LWF Wissen 38, 82 S.
- ZIMMERMANN, R.W. u. CARPENTER, S.B. (1980): First year coppice production from a 5-year-old Black Locust stand on surface mine spoil. Proceedings Dep. Carbondale 3, 309-314

Korrespondierender Autor:

Dr. Dirk Knoche

Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften e.V. (FIB)

Brauhausweg 2

03238 Finsterwalde

E-Mail: d.knoche@fib-ev.de

URL: www.fib-finsterwalde.de

Jan Engel

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE)

Sind alte Pappelsorten für den Kurzumtrieb geeignet?

Are old poplar clones suitable for short rotation coppice?

Martin Tubes und Randolph Schirmer

Zusammenfassung

Die Bundesregierung hat anspruchsvolle Ausbauziele für erneuerbare Energien formuliert: Bis 2020 sollen 20 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energiequellen generiert werden. Bis 2050 soll mehr als die Hälfte des deutschen Primärenergieverbrauchs regenerativ erzeugt werden. Dabei sollen Energiewälder eine wichtige Rolle spielen.

Im Verbundvorhaben „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD)“ sollen daher Klone von verschiedenen Pappel- und Weidenarten sowohl aus vorhandenem Material selektiert und geprüft als auch neue Sorten über kontrollierte Kreuzungen gezüchtet werden. In diesem Zusammenhang betreut das Bayerische Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht Teisendorf (ASP) das Teilprojekt 4 „Sortenprüfung und Anbaueignung vorhandener und neu gezüchteter Klone von Schwarz- und Balsampappel“ zur energetischen Verwertung (Energiewald) als Grundlage künftiger Sortenempfehlungen nach Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG).

Auf der Suche nach potenziell für den Anbau in Energiewäldern geeigneten Pappel-Altklonen wurden sowohl Unterlagen als auch Versuchsflächen in Bayern aus den 1960er bis 1980er Jahren inventarisiert und ausgewertet.

Von wüchsigen Altklonen auf Versuchsflächen in Bayern und Baden-Württemberg sowie in Mutterquartieren der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) Hann. Münden wurden Stecklinge gewonnen und im ASP Mutterquartier zur Materialvermehrung angezogen. Hierbei erfolgte durch Zuarbeit der Forstlichen Versuchsanstalt in Freiburg die Inventarisierung und Stecklingserzeugung von alten Pappelversuchsflächen in Baden-Württemberg.

Parallel dazu wurden zwei Klonprüfungen für Neuzüchtungen der NW-FVA angelegt. Die Versuchsflächen dienen der Prüfung der Anbaueignung dieser Pappelklone in Energiewäldern. Aus den Daten werden Sortenempfehlungen für den Praxisanbau abgeleitet. Auf einer weiteren Fläche werden 180 verschiedene Altklone vorgeprüft. Hier erfolgt eine Vorselektion potenziell kurzumtriebsgeeigneter Altklone, die später in einer statistisch abgesicherten Klonprüfung getestet werden sollen.

Mithilfe einer Bewertungsmatrix wurden die in unterschiedlicher Form vorliegenden Daten der Altklone in einer Liste zusammengeführt, in der die Klone abgestuft nach ihrer Kurzumtriebstauglichkeit aufgeführt sind. In die Bewertung wurden insgesamt 245 Altklone einbezogen, wovon rund 50 Klone in die Klasse „mit Kurzumtriebspotenzial“ eingruppiert wurden.

Stichworte: Kurzumtrieb, Sortenprüfung, genetische Charakterisierung, Altklone, Bewertungsmatrix, Mutterquartier

Abstract

The German government has outlined ambitious targets for the expansion of renewable energy. By 2020, 20 percent of the total energy consumption must be generated from renewable energy sources. By 2050, renewable energy must comprise more than half of the primary energy consumption in Germany. Thus, short rotation forestry will play an important role.

Achievement of the goal, “breeding fast-growing tree species for the production of wood biomass in short rotation coppice plantations (FastWOOD)”, is envisaged through the selection and testing of existing clones of different poplar and willow species, and of new clones bred in a controlled crossbreeding programme. To this end the Bavarian Office for Forest Seeds and Plant Breeding (ASP), Teisendorf, manages subproject 4 entitled “Clone Testing and Plantation Potential of existing and new black poplar and balsam poplar clones” to recommend clones suitable for wood energy production according to Forest Reproductive Material Act.

In the search for old poplar clones potentially suitable for wood energy production in plantations, old records and trial sites from the 1960s to the 1980s in Bavaria were inventoried and assessed.

Cuttings were obtained from vigorous old clones on trial sites in Bavaria and Baden-Württemberg as well as from clone orchards overseen by the Northwest German Forest Research Institute (NW-FVA), Hann. Münden. These were then raised in the ASP stool beds to reproduce the clone material. Through collaboration with the Forest Experimental Station in Freiburg, an inventory of old poplar trial sites in Baden-Württemberg was carried out, and cuttings from these trials taken.

At the same time, two trial fields with new clones bred by the NW-FVA were established. These trials test the suitability of poplar clones for short rotation forestry. From these results, clones with coppice potential will be recommended. At another study site, preliminary tests of 180 different old clones were conducted. Subsequently a preselection will be made of old clones suitable for short rotation coppice plantations, which will be included in clone experiment trials for statistical analysis.

With defined analysis criteria, old clone data, which existed in different forms, were rated in lists whereby clones were classified according to their suitability for short rotation coppice. In this assessment, 245 clones were included of which about 50 clones were classified as having “short rotation coppice potential”.

Keywords: short rotation coppice, clone testing, genetic characterization, old poplar clones, assessment criteria, clone orchard, stool bed

1 Pappelzüchtung im Rückblick

Betrachtet man die Entwicklung der Pappelzüchtung im Rückblick, so sind drei Phasen mit unterschiedlichen Zielsetzungen abgrenzbar (s. Tab. 1):

Tabelle 1: Überblick über die Entwicklung der Pappelzüchtung

Zeit	Verwendete Klone	Verwendungszweck
bis 1950er Jahre	P. x euramericana (P. nigra x P. deltoides)	Hochwaldklone für Flurholzanbau sowie Auwald
1960er bis 1980er Jahre	Balsampappelhybride	Hochwaldklone im Wald („Waldpappeln“)
seit 1980er Jahre	Hochleistungshybride	Energiewald

Bis in die 1950er Jahre wurden Hochwaldklone der Kreuzungsgruppe *P. × euramericana* gezüchtet. Sie wurden vorwiegend für den Flurholzanbau zur Sicherung der heimischen Rohstoffversorgung vor und nach dem 2. Weltkrieg verwendet (ROHMEDER 1955). In den Nachkriegsjahren erlebte die Pappelzüchtung einen starken Aufschwung. Die zunehmende Bedeutung der Pappel zu dieser Zeit lässt sich unter anderem an der Gründung des Deutschen Pappelvereins erkennen (HOFMANN 2003).

In einer zweiten Phase wurden in den 1960er bis ca. 1980er Jahren Hochwaldklone für waldbauliche Zwecke gezüchtet. Hierbei handelte es sich vorwiegend um Kreuzungen von Balsampappeln. Es entstanden jedoch auch leistungsfähige Hybride aus Balsam- und Schwarzpappeln.

Mit dem billigen Import von Holz und Rohöl waren die Erträge aus Pappelerwirtschaft nicht konkurrenzfähig. Das Interesse am schnellwachsenden Holz nahm daher in den Jahren des Wirtschaftsaufschwungs der 1960er Jahre wieder ab.

Bedingt durch die Ölkrise in den 1970er Jahren und die damit verbundene Weichenstellung hin zu regenerativen Energien wurde die Pappelzüchtung wieder aktuell. Der gestiegene Ölpreis und die Energiewende verstärken die Bemühungen, weg von fossilen hin zu erneuerbaren Energieträgern zu gelangen (KNUST 2009). Dabei sollen Kurzumtriebsplantagen eine wichtige Rolle spielen. Von ihnen verspricht man sich auch eine Entschärfung des Konkurrenzkampfes um den Rohstoff Holz zwischen dem Energieholzsektor und dem Sektor stoffliche Holznutzung. Dieses Bestreben wurde u. a. auf dem Symposium Energieholz 2010 in Berlin deutlich artikuliert.

2 Projektziel

Das Teilprojekt 4 im Verbundvorhaben FastWOOD wird vom Bayerischen Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP) in Teisendorf betreut. Ziel des Teilprojektes in der ersten Projektphase war die Sortenprüfung (Anbaueignung) vorhandener und neu gezüchteter Klone von Schwarz- und Balsampappel. Die Sortenprüfungsergebnisse dienen der Entwicklung von Sortenempfehlungen für den Praxisanbau. Darüber hinaus wurde mithilfe von genetischen Untersuchungen ein Klonkataster erstellt. Dabei wurde jedem untersuchten Klon ein genetischer Fingerabdruck zugeordnet, der bei Sortenüberprüfungen und der Identifizierung unbekannter Klone angewendet wird.

3 Notwendigkeit der Prüfung von Altsorten

Im Laufe der Zeit haben sich die Verwendungsmöglichkeiten des Pappelholzes stark verändert. Aus der Produktion von Stammholz auf Auestandorten und später im Waldbestand entwickelte sich nach dem Vorbild des Niederwaldes der Energie-

wald zur Produktion von Hackschnitzel für die Energiegewinnung. Mit den wechselnden Anbauvorstellungen änderten sich auch die Züchtungsziele für Pappelsorten (s. Tab. 2).

Tabella 2: *Vergleich von Züchtungszielen von Pappel für den Anbau im Hochwald oder in einer Kurzumtriebsplantage (TUBES u. SCHIRMER 2010)*

Züchtungsziele Altklone (Hochwald)	Züchtungsziele Kurzumtriebsklone
Resistenz gegen Schaderreger	Resistenz gegen Schaderreger
Gerade Stammform	Rasches Jugendwachstum
Wipfelschäftigkeit	Starkes Stockausschlagvermögen
Rasches Dickenwachstum	Maximaler Biomassezuwachs in den ersten 10 Standjahren
Regelmäßiger Holzaufbau	hohe Anwuchsrate

Für die Verwendung des Stammholzes aus dem Hochwald lag das züchterische Hauptaugenmerk auf gerader Stammform, Wipfelschäftigkeit und einem regelmäßigen Holzaufbau. Das gemeinsame Züchtungsziel bei Pappeln sowohl zur Stammholz- als auch zur Hackschnitzelgewinnung ist die Resistenz gegen Schaderreger (v. a. Pilze), da diese Zuwachsverluste verursachen. Für Kurzumtriebsplantagen sind Pappelklone notwendig, die spätestens in den ersten zehn Lebensjahren ihren maximalen laufenden Zuwachs erreichen. Wichtig für geringen Pflegeaufwand in der Kulturphase sind neben raschem Jugendwachstum eine hohe Anwuchsrate sowie ein intensives Stockausschlagsvermögen nach Beerntung.

Alte Pappelsorten sind wegen unterschiedlicher Züchtungsziele nicht automatisch kurzumtriebstauglich. Allerdings sind die heutigen nach Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) zugelassenen und leistungsfähigen Kurzumtriebsklone Max 1, Max 3 und Hybride 275 Züchtungen aus den 1960er Jahren. Auch die jüngst zugelassenen Matrix-Klone sind Altsorten aus den 1980er Jahren. In ausgewählten Altklonen steckt daher ein hohes Potenzial für den Anbau in Kurzumtriebsplantagen. Dazu müssen die wüchsigen Altklone unter Kurzumtriebsbedingungen getestet werden.

4 Vorgehensweise

4.1 Klonmaterial sichten und sammeln

Auf der Suche nach alten Pappelklonen, die in den ersten 10 Lebensjahren ihren maximalen und möglichst hohen Massenzuwachs erreichen, trifft man auf Altbäume. An diesen ist nicht erkennbar, wie rasch das Jugendwachstum war. Deshalb musste mit Hilfe von alten Versuchsflächendaten, Aufzeichnungen und Veröffentlichungen eine Vorauswahl getroffen werden. Die Rekonstruktion alter Versuchspläne und das Wiederfinden der Bäume in der Fläche stellte eine große Herausforderung dar. Es konnten dennoch einige alte Versuchsflächen aufgefunden, rekonstruiert und neu verpflückt werden. Dies war wichtig für die Gewinnung von Steckholzmaterial zur Vermehrung vielversprechender Altsorten. Außerdem können blühfähige Altbäume als Kreuzungspartner in Züchtungsprogrammen verwendet werden.

Als Fundgrube für alte Pappelklone stellten sich zwei Mutterquartiere der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt in Hann. Münden heraus. Aus diesen wurden Steckhölzer für die Anzucht und Vermehrung im ASP-eigenen Mutterquartier geschnitten. Bei der Auswahl geeigneter Klone lag der Schwerpunkt auf Klonen mit Balsampapteleinkreuzung wegen des rascheren Jugendwachstums und der breiteren Standortsamplitude im Vergleich zur Schwarzpappel.

4.2 Suche nach Altpappeln in Baden-Württemberg

Die Zielsetzung der Zuarbeit durch die FVA Baden-Württemberg war die Überprüfung der landesweiten ehemaligen Balsampappel-Versuchsflächen aus den 50er bis 80er Jahren der Abteilung Waldökologie hinsichtlich wuchsstarker Klone durch eine Bestandsaufnahme. Dabei wurden 53 Flächen untersucht und von mehr als 40 Klonen Steckhölzer geerntet. Darunter waren Schwarz- und Balsampappelklone, Hybriden aus Schwarz- und Balsampappeln sowie Kreuzungen aus *P. szechuanica* x *P. trichocarpa* (WEICH u. UNSELD 2010).

4.3 Anzucht der Altsorten in Mutterquartieren

Im Mutterquartier erfolgte die Vermehrung des von aufgefundenen Altklonen gewonnenen Stecklingsmaterials, um Sortenprüffelder anlegen zu können. Dazu musste der Zwischenschritt über die Absteckung in Töpfen und eine kontrollierte Bewässerung erfolgen, damit die angezogenen Klone im Mutterquartier überlebensfähig wurden. Es wurden Stecklinge in 3.500 Töpfe mit Torfsubstrat gepflanzt. Trotz dieser Maßnahmen waren mittlere Ausfälle von mehr als 50 % zu beobachten, da vorwiegend einjähriges Steckholzmaterial aus der Krone von Altbäumen mit Durchmesser von unter 5 mm verwendet wurde. Diese schwachen

Steckhölzer verfügen nicht über genügend Reservestoffe für einen kraftvollen Austrieb. Stecklinge von Altbäumen bewurzeln sich generell schlechter. Handelsübliche Steckhölzer mit Durchmessern von 15-20 mm zeigen dagegen durchschnittlichen Anwuchsraten von über 95 %.

Das von der NW-FVA in Freiburg gewonnene Material wird ebenfalls im ASP-Mutterquartier vermehrt, um später in einer Klonprüfung nach FoVG angebaut zu werden.

4.4 Anlage von Klonprüffeldern

Für die Prüfung neuer Züchtungen der NW-FVA Hann. Münden wurde in den Jahren 2010 und 2011 je ein Klonprüffeld angelegt. Sie stellen die Parallelfläche zum insgesamt 6 Flächen umfassenden bundesweiten Sortentest dar.

Auf einer weiteren Fläche wurde eine Vorprüfung von 180 verschiedenen Altklonen aus Mutterquartieren in Hann. Münden angelegt. Dabei wurde außer der Totalherbizidspritzung im vorangegangenen Herbst auf weitere chemische Unkrautbekämpfung verzichtet. Stattdessen wurde 20 μ und 30 μ starke Mulchfolie eingesetzt. Der Einsatz der Mulchfolie hat sich bewährt, sodass nur eine einmalige mechanische Unkrautbekämpfung notwendig war.

Die Versuchsflächen wurden in Lehm bach bei Neumarkt-St. Veit (Bayern) auf staatseigener Fläche angelegt, die zuvor zum Maisanbau genutzt worden war (s. Abb. 1).

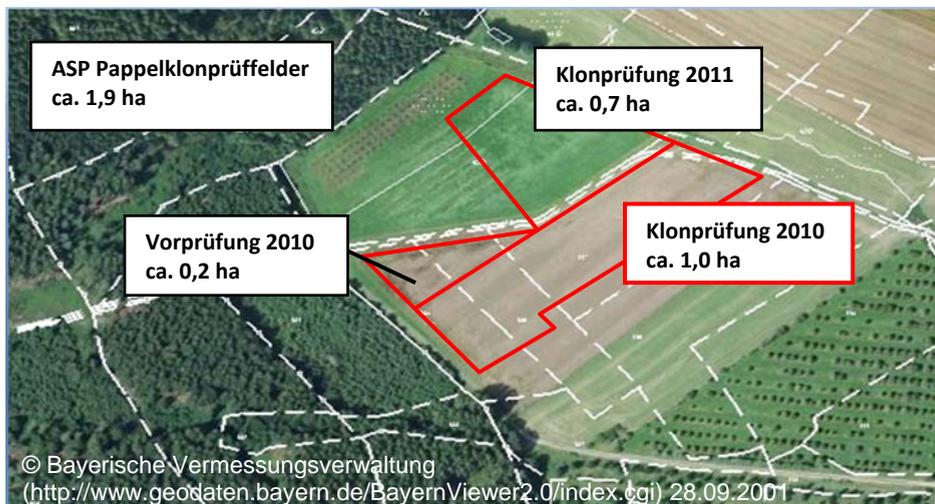


Abbildung 1: Übersicht über die angelegten Klonprüfungen und eine Klonvorprüfung in Lehm bach (Neumarkt-St. Veit, Bayern)

Die Eckdaten zu den genannten Flächen sind Tab. 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: *Allgemeine Daten über die angelegten Versuchsflächen in Lehbach bei Neumarkt-St. Veit (Bayern) im Rahmen des FastWOOD-Projekts*

	Prüffeld 2010	Prüffeld 2011	Vorprüfung
Fläche [ha]	1,0	0,7	0,2
Pflanzverband	1,8 x 0,5 m	1,8 x 0,5 m	1,8 x 0,5 m
Prüfglieder	36	25	180
Wiederholungen	6	6	3
Parzellen	216	150	540
Pflanzen/Parz.	4 x 12	4 x 12	2 x 2

4.5 Bonitierung und Messung der Mutterquartiere und Klonprüfungen

Da nicht alle mehr als 200 vorhandene Altklone in einer Klonprüfung getestet werden können, erfolgte schon in der Anzuchtphase in Töpfen sowie im Mutterquartier zum Zwecke der Vorselektion eine relative Bonitierung des Anwuchs- und Wuchsverhaltens (s. Tab. 4).

Tabelle 4: *Boniturschema für die relative Bewertung des Höhenwuchses im Mutterquartier*

Boniturstufe	Beschreibung
Stufe 1	Unterdurchschnittlicher Höhenwuchs
Stufe 2	Durchschnittlicher Höhenwuchs
Stufe 3	Überdurchschnittlicher Höhenwuchs

In den 2010 und 2011 angelegten Klonprüfungen und der Klonvorprüfung erfolgte am Ende der Vegetationsperiode die klonweise Aufnahme der Anwuchsrate, der Höhe und eine Bonitur des Pappelblattrostbefalls.

Für die Erfassung des Blattrostbefalls wurde ein in Belgien entwickeltes Boniturschema für den Befall von Pappeln mit dem Rostpilz *Melampsora larici-populina* angewendet. Die Bonitur erfolgte parzellenweise über alle sechs Wiederholungen, sodass sich für jeden Klon ein durchschnittlicher Befallsgrad für die Fläche errechnen ließ. Die Beschreibung, wie stark ein Baum von Rostpilz befallen ist, geschieht über die Bonitierung eines gesamten Einzelbaumes (s. Tab. 5) sowie über die Bonitierung eines einzelnen, am stärksten befallenen Blattes eines Baumes (s. Tab. 6).

Tabelle 5: INBO Baum-Bonitursystem für Pappelblattrost (*Melampsora larici-populina*)

Boniturstufen	Beschreibung
0	Keine Uredinien
0,25	am ganzen Baum nur ein paar Uredinien, schwer zu finden.
0,5	schwache Infektion der Blätter bis in 25 % der ges. Baumhöhe.
1	leicht zu entdeckende Infektion der Blätter bis in 50 % der gesamten Baumhöhe, darüber schwer zu finden aber vorhandene Infektion.
1,5	Infektion der Blätter bis in 75 % der gesamten Baumhöhe.
2	Infektion des gesamten Baumes, aber Blätter sind noch nicht verbräunt.
2,5	Infektion des gesamten Baumes und beginnende Verbräunung der unteren Blätter.
3	Infektion des gesamten Baumes, Verbräunung der unteren 25 % der Blätter.
3,5	Infektion des gesamten Baumes, Verbräunung der unteren 50 % der Blätter und beginnender Blattverlust.
4	Starke Infektion des gesamten Baumes, bis zu 50 % Blattverlust.
4,5	Starke Infektion des gesamten Baumes, bis zu 80 % verbräunte Blätter, nur wenige an der Triebspitze noch grün.
5	Alle Blätter abgefallen.

Die 12-stufige Baumbonitur sagt aus, wie stark sich der Pilz über den ganzen Baum ausgebreitet hat. In die Bewertung ging der für die jeweilige Parzelle durchschnittlich befallene Baum ein. Die Spreite der Befallsintensität reicht von keinem Befall bis hin zum völligen Blattverlust.

Tabelle 6: INBO Blatt-Bonitursystem für Pappelblattrost (*Melampsora larici-populina*)

Bonitурpunkte	Beschreibung
1	keine Uredinien.
2	bis zu 10 Uredinien.
3	mehr als 10 Uredinien, über die gesamte Blattspreite verstreut, nicht gruppiert.
4	Gruppen von Uredinien, die weniger als 10 % der Blattfläche bedecken.
5	10 bis 25 % der Blattfläche von Uredinien bedeckt.
6	25 bis 50 % der Blattfläche von Uredinien bedeckt.
7	50 bis 75 % der Blattfläche von Uredinien bedeckt.
8	mehr als 75 % der Blattfläche von Uredinien bedeckt.

Die 8-stufige Blattbonitur sagt aus, wie intensiv der Baum vom Rostpilz befallen ist. Bewertet wurde von zwei zuvor festgelegten Bäumen der Kernparzelle jeweils das am schlimmsten befallene Blatt. Grundlage für die Bewertungsstufe ist der Anteil der Blattfläche, die vom Pilz bedeckt wird. Der Pilz ist leicht an seinen rötlich schimmernden Sporenhorsten an der Blattunterseite zu erkennen. Die Spreite der Befallsintensität reicht von keinem Befall bis hin zum gänzlich vom Pilz bedeckten Blatt.

4.6 Bewertungsmatrix – Zusammenführung der Bonitur- und Messdaten

Die Bonitur- und Messdaten von Altklonen wurden in einer Bewertungsliste (Ranking der Klone) zusammengeführt.

Das Problem bei der Bewertung der Altklone war die unterschiedliche Datengrundlage für die vorhandenen Altsorten. Eine statistische Auswertung war nicht möglich, da unterschiedliche Aufnahmezeitpunkte und unterschiedliche Bewertungen der Klone wie Messdaten und Bonitierungen vorlagen.

Die Bonitierung der Klone mittels einer *Bewertungsmatrix* (s. Tab. 7) gab die Möglichkeit, die Klone in einem nachvollziehbaren und überprüfbar Verfahren empirisch zu beurteilen (BUGDAHL 1990, HABERFELLNER et al 1999). Die Gewichtung der Bewertungskriterien erfolgte aufgrund der Überlegung, dass Sorten mit hohen Durchmesser bzw. Höhen die höchsten Erträge erwarten lassen. Die BHD-Daten wurden daher mit 70 % in die Bewertung eingestellt. Das Anwuchsverhalten wurde mit 20 % gewichtet, da Ausfälle bis zu einem bestimmten Umfang durch den verstärkten Lichtungszuwachs der Nachbarbäume ausgeglichen werden. Pilzbefall wirkt sich auf die Massenentwicklung aus, die bereits

über den Durchmesser bzw. die Höhe bewertet wurde. Der Pilzbefall wurde deshalb mit nur 10 % bewertet.

Das abschließende Ranking der Klone erfolgte in 3 Gruppen: Klone mit potenziell hoher Kurzumtriebseignung (Rangziffer 1, s. Tab. 7), Klone bei denen eine abschließende Bewertung nicht möglich war und Klone ohne KUP-Potenzial.

Tabella 7: *Bewertungsmatrix - Vergleich von Klonen mit unterschiedlicher Datenbasis*

Bewertungs- kriterium	Gewichtung g (%)	Klon 1		Klon 2	
		Bewertungs- stufe (n)	n * g	Bewertungs- stufe (n)	n * g
<i>BHD/Höhe</i>	70	1	70	4	280
<i>Anwuchsrate</i>	20	1	20	2	40
<i>Blattrrost</i>	10	1	10	5	50
Summe	100		100		370
Rangziffer			1		3

Bewertungsstufe: 1 = überdurchschnittlich; 3 = durchschnittlich/keine Daten vorhanden; 5 = unterdurchschnittlich

Rangziffer: 1 = Altsorte mit KUP-Potenzial; 2 = nicht abschließend bewertbar; 3 = ohne KUP-Potenzial

4.7 Klonkataster – DNA-Analysen

Das Klonkataster am ASP besteht aus einer Datenbank, in der jedem genetisch untersuchten Klon ein genetischer Code zugeordnet ist.

4.7.1 *Ziel der genetischen Untersuchungen*

Ziel dieser Untersuchungen war die genetische Charakterisierung von kurzumtriebsgeeigneten Pappelklonen. Die Ergebnisse dienen dem Aufbau von sortenreinen Mutterquartieren und sollen bei der Sortenüberprüfung v. a. für Kontrollzwecke nach FoVG sowie zur Identifizierung unbekannter Klone eingesetzt werden.

4.7.2 *Durchführung genetischer Untersuchungen*

Durchgeführt wurden die Untersuchungen mit Kapillarsequenziergeräten von Beckman-Coulter (GeXP und CEQ8000). Es wurden 249 Klone an 11 Genorten genetisch unterschieden. Bei weiteren 32 Klonen war eine eindeutige Beschreibung nicht möglich. Dies kann an Verwechslungen sowohl bei den Probenahmen als

auch bei der weiteren Verarbeitung im Labor liegen. Möglicherweise reicht die Anzahl der untersuchten Genorte nicht aus, um verschiedene Klone voneinander zu unterscheiden.

Als Beispiel ist der Tabelle 8 der Auszug aus einer Ergebnistabelle nach der genetischen Untersuchung und der Gegenüberstellung der Klone Raspalje und Boleare mit identischem Fingerabdruck an 11 Genorten zu entnehmen.

Tabelle 8: *Auszug aus einer Ergebnistabelle nach der genetischen Untersuchung und Gegenüberstellung der Klone Raspalje und Boleare mit identischem Fingerabdruck an 11 Genorten*

	wpms20	wpms20	pmgc0456	pmgc0456	wpms7	wpms7	wpms12	wpms12	orpm_023	orpm_023	wpms16	wpms16
Raspalje	221	233	87	105	231	231	153	178	192	202	144	168
Boleare	221	233	87	105	231	231	153	178	192	202	144	168

4.7.3 Vergleichbarkeit genetischer Untersuchungsergebnisse verschiedener Labore

Über den Austausch von Probenmaterial und der Analyse der Proben in allen Projektpartnerlaboren wurde das Ziel verfolgt, die genetischen Untersuchungsergebnisse der Labore miteinander vergleichbar zu machen. Dieser Schritt konnte aufgrund seines aufwendigen Arbeitsumfangs noch nicht abgeschlossen werden. Aktuell wird in den Laboren der NW-FVA Hann. Münden und des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) Großhansdorf an der Zusammenstellung eines Primer-Sets gearbeitet, mithilfe dessen an allen Partnerlaboren zuverlässige Ergebnisse bei der Bestimmung für Kurzumtriebszwecke relevanter Pappelsorten erzielt werden können.

4.7.4 Weitere durchgeführte Untersuchungen

Es wurde eine genetische Untersuchung von 5 Klonen aus den Mutterquartieren des ASP durchgeführt (s. Tab. 9). Die Untersuchung umfasste die Klone:

- P. max Nr. 2, 709, Guardi (MQ 2006)
- Sirio (MQ 2007)
- Klon 58 (MQ 2008N)

Es wurden jeweils 10 Pflanzen je Klon untersucht. Die 11 verwendeten Genorte zeigten, dass in jeder Klonreihe mindestens 2 Genotypen vorhanden waren. Unstimmigkeiten bei einzelnen Genorten können unterschiedlich interpretiert werden. Sind Abstände in den Fragmentlängen zwischen verschiedenen Proben (Ramets) eines Klons klein kann das auf Rundungsfehler zurückgeführt werden. Bei größeren Abständen kann von unterschiedlichen Klonen ausgegangen werden.

Beim Klon P. max Nr. 2 sind die Proben PaFW188, 189, 192 und 197 identisch. Der Unterschied von 4bp zwischen 105 und 109 am Genort Pmgc0456 kann als Rundungsfehler vernachlässigt werden. Diese Proben sind aber eindeutig verschieden von den Proben PaFW190, 191, 193, 194, 195 und 196, da hier alle Genorte deutliche Unterschiede zeigen.

Tabelle 9: Genetischer Fingerabdruck von 5 Pappelklonen an 11 Genorten mit 10 beprobten Pflanzen je Klon. Innerhalb des Klons sind idente „Ramets“ mit denselben Farben markiert

ASP-Nr	Klonname	Baumnr	Ort	MQ	Labornr.	WPMS20	Pmgc0456	Wpms7	Wpms12	Orpm_023	Wpms16	Pmgc14	pmgc2163	WPMS05	WPMS09	WPMS18												
31	P. max Nr. 2	1	Laufen	2006	Pa FW188	221	233	87	109	231	241	175	187	190	208	147	156	196	196	195	211	299	299	247	285	222	228	
31	P. max Nr. 2	2	Laufen	2006	Pa FW189	221	233	87	109	231	241	175	187	190	208	147	156	196	196	195	211	299	299	247	285	222	228	
31	P. max Nr. 2	3	Laufen	2006	Pa FW190	227	227	101	101	227	247	167	167	202	202	147	168	202	205	199	215	293	293	247	261	231	231	
31	P. max Nr. 2	4	Laufen	2006	Pa FW191	227	227	101	101	227	247	167	167	202	202	147	168	202	205	199	215	293	293	247	261	231	231	
31	P. max Nr. 2	5	Laufen	2006	Pa FW192	221	233	87	105	231	241	175	187	190	208	147	156	196	196	195	211	299	299	247	285	222	228	
31	P. max Nr. 2	6	Laufen	2006	Pa FW193	227	227	101	101	227	247	167	167	202	202	147	168	202	205	199	215	293	293					
31	P. max Nr. 2	7	Laufen	2006	Pa FW194	227	227	101	101	227	247	167	167	202	202	147	168	202	205	199	215	291	291	247	261	231	231	
31	P. max Nr. 2	8	Laufen	2006	Pa FW195	227	227	101	101	227	247	167	167	202	202	147	168	202	205	199	215	291	291	247	261	231	231	
31	P. max Nr. 2	9	Laufen	2006	Pa FW196	227	227	101	105	227	247	167	167	202	202	147	168	202	205	199	215	291	291	247	261	231	231	
31	P. max Nr. 2	10	Laufen	2006	Pa FW197	221	233	87	109	231	241	175	187	190	208	147	156	196	196	195	211	299	299	247	285	222	228	
51	709	1	Laufen	2006	Pa FW198	215	221	83	87	227	229	169	175	194	200	144	144	187	193	189	195	283	295	235	235	219	219	
51	709	2	Laufen	2006	Pa FW199	215	221	83	87	227	229	169	175	194	200	144	144	193	193	189	195	283	295	235	235	219	219	
51	709	3	Laufen	2006	Pa FW200	215	221	83	87	227	229	169	175	194	200	144	147	193	193	189	189	283	297	235	235	219	219	
51	709	4	Laufen	2006	Pa FW201	221	221	87	87	231	263	171	187	196	198	138	150	190	193	189	189	287	291	235	235	219	219	
51	709	5	Laufen	2006	Pa FW202	221	215	87	87	231	263		196	198	138	150	190	193	189	189	287	291			219	219		
51	709	6	Laufen	2006	Pa FW203	221	215	87	87	227	229	171	173	194	200	144	144	193	193	189	189	283	297	235	235	219	219	
51	709	7	Laufen	2006	Pa FW204			87	89						Non	None	144	144	196	196					237	237		
51	709	8	Laufen	2006	Pa FW205	215	221	87	87	227	229	171	175	194	200	144	144	193	193	189	189	283	295	235	235	219	219	
51	709	9	Laufen	2006	Pa FW206	215	221	87	87	231	263	171	187	196	198	138	150	190	193	189	189	287	291	235	235	219	219	
51	709	10	Laufen	2006	Pa FW207	215	221	83	87	227	229	169	173	194	200	144	144	193	193	189	189	283	295	235	235	219	219	
63	Guardi	1	Laufen	2006	Pa FW208	221	227	79	87	235	261	161	163	192	196	138	144	190	208	189	241	287	293	235	249	219	228	
63	Guardi	2	Laufen	2006	Pa FW209	221	239	79	87	229	229	157	173	186	190	144	147	193	211	189	221	281	305	235	255	219	234	
63	Guardi	3	Laufen	2006	Pa FW210										Non	None	f	141	144									
63	Guardi	4	Laufen	2006	Pa FW211	221	239	79	87	215	229	157	175	186	190	144	147	193	211	189	221	281	305	235	255	219	234	
63	Guardi	5	Laufen	2006	Pa FW212	221	227	79	87	235	261	161	161	192	196	138	144	190	208	189	241	287	293	235	249	219	228	
63	Guardi	6	Laufen	2006	Pa FW213	221	239	79	87	215	229	157	175	186	190	144	147	193	211	189	221	281	305	235	255	219	234	
63	Guardi	7	Laufen	2006	Pa FW214	221	239	79	87	215	229	157	175	186	190	144	147	193	211	189	221	281	305	235	255	219	234	
63	Guardi	8	Laufen	2006	Pa FW215	221	239	79	87	215	229	157	175	186	190	144	147	193	211	189	221	281	305	235	255	219	234	
63	Guardi	9	Laufen	2006	Pa FW216	221	239	79	87	229	229	157	173	186	190	144	147	193	211	189	221	281	305	235	255	219	234	
63	Guardi	10	Laufen	2006	Pa FW217	221	221	81	87	215	251	161	175	174	198	144	147	193	211	189	241	283	283	253	253	219	228	
70	Sirio	1	Laufen	2007	Pa FW218	215	221	87	87	229	229	159	175	200	204	132	144	190	193	189	189	283	283	235	235	219	219	
70	Sirio	2	Laufen	2007	Pa FW219	221	227	87	87	231	251	157	167	196	212	144	147	190	211	189	221	277	283	235	249	219	231	
70	Sirio	3	Laufen	2007	Pa FW220	215	221	87	87	229	229	159	173	200	204	132	144	190	193	189	189	283	283	235	235	219	219	
70	Sirio	4	Laufen	2007	Pa FW221	215	221	87	87	229	229	159	175	200	204	132	144	190	193	189	189	283	283	235	235	219	219	
70	Sirio	5	Laufen	2007	Pa FW222	215	221			237	237	153	173	204	210	132	144	190	193	189	189	283	283	235	235	219	219	
70	Sirio	6	Laufen	2007	Pa FW223	215	221			237	237	153	173	204	210	132	144	190	193	189	189	283	283	235	235	219	219	
70	Sirio	7	Laufen	2007	Pa FW224	215	221	87	87	229	229	159	173	200	204	132	144	190	193	189	189	283	283	235	235	219	219	
70	Sirio	8	Laufen	2007	Pa FW225	221	227	87	87	229	229	151	159	156	164	168	174	190	193	195	195	281	305	233	235	216	222	
70	Sirio	9	Laufen	2007	Pa FW226	215	221	87	87	229	229	159	173	200	204	132	144	190	193	189	189	283	283	235	235	219	219	
70	Sirio	10	Laufen	2007	Pa FW227	215	221	83	87	229	229	159	173	200	204	132	144	190	193	189	189	283	283	235	235	219	219	
73	Klon 58	1	Laufen	2008	N	Pa FW228	227	233	81	81	237	241	165	178	196	214	153	159	190	193	187	207	250	303	263	273	222	243
73	Klon 58	2	Laufen	2008	N	Pa FW229	233	233	105	113	231	245	167	178	198	202	132	186	202	202	209	281	281	287	287	225	225	
73	Klon 58	3	Laufen	2008	N	Pa FW230	227	233	81	81	237	241	165	178	196	214	153	159	190	193	207	251	301	303	263	273	222	243
73	Klon 58	4	Laufen	2008	N	Pa FW231	227	233	79	81	237	241	165	178	196	214	153	159	190	193	207	251	301	303	263	273	222	243
73	Klon 58	5	Laufen	2008	N	Pa FW232	227	233	79	81	237	241	165	178	196	214	153	159	190	193	207	251	301	303	263	273	222	243
73	Klon 58	6	Laufen	2008	N	Pa FW233	233	233	105	113	231	245	167	178	198	202	132	186	202	202	209	209	281	281	287	287	225	225
73	Klon 58	7	Laufen	2008	N	Pa FW234	209	233	79	79			159	161	172	182	162	186	190	193	193	209	281	305			225	228
73	Klon 58	8	Laufen	2008	N	Pa FW235	227	233	79	81	237	241	165	178	196	214	153	159	190	193	207	251	299	303	263	273	222	243
73	Klon 58	9	Laufen	2008	N	Pa FW236	233	233	103	115	231	245	167	178	198	202	132	168	202	202	209	209	281	281	287	287	225	225
73	Klon 58	10	Laufen	2008	N	Pa FW237	233	233	103	113	231	245	167	178	198	202	132	168	202	202	209	209	281	281	287	287	225	225

5 Ergebnisse

5.1 Kurzumtriebseignung von Altklonen

Die Untersuchungen zeigen, dass alte Pappelsorten grundsätzlich für KUP geeignet sind. Allerdings ist nur von einem sehr geringen Anteil auszugehen.

Der Auszug aus dem Ergebnis einer Höhenaufnahme vom Pappelklonprüffeld Lehm bach zeigt die mittlere Höhe ausgewählter Pappelklone nach der ersten Vegetationsperiode (s. Abb. 2). Es wird deutlich, dass in einigen Altklonen Potenzial für den Anbau in Kurzumtriebsplantagen steckt. Im Vergleich zu heutigen, zugelassenen und geprüften Standardklonen für den Kurzumtrieb wie „Max 1“, „Max 3“ und „Hybride 275“ kann man exemplarisch am Klon „Weser 4“, das ist ein *Populus trichocarpa* Klon aus den 1960er Jahren, erkennen, dass ein Altklon mit den heutigen Standardklonen im ersten Jahr des ersten Umtriebs mithalten kann.

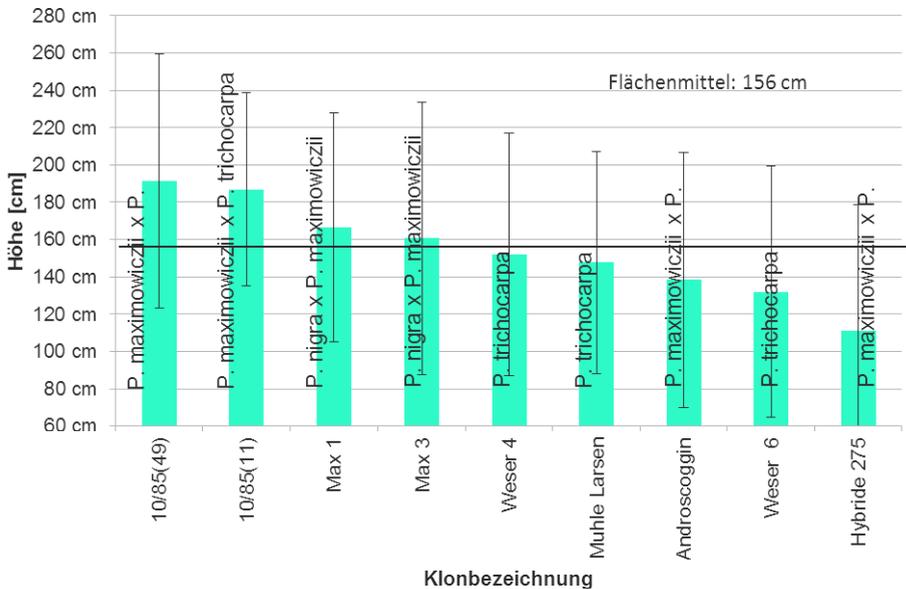


Abbildung 2: Mittlere Höhe der Pappel Klonprüfung Lehm bach 2010 (1-jährig); Ergebnisauszug aus der Aufnahme vom 04.11.2010

Auch beim Bewertungskriterium Pappelblattnestbefall schneiden die beiden Weserklone 4 und 6 besser ab als „Hybride 275“ und „Mühle Larsen“.

Im Übrigen ist die Verwendung von Altklonen für Kurzumtriebszwecke nichts Neues. Die heutigen Standardklone für den Anbau in Energiewäldern sind leistungsfähige Altklone aus den 1960er Jahren. Mit den Klonen Matrix 11, Matrix 24 und Matrix 49 sind im Jahr 2010 zwei Klone aus den 1980er Jahren für den Anbau in Kurzumtriebswäldern zugelassen worden (s. Tab. 10).

Tabelle 10: Übersicht über ausgewählte praxisrelevante Pappelklone für den Kurzumtrieb und ihre Entstehungszeit

Klonbezeichnung/Sorte	Züchtungszeitraum
Matrix-Klone	1980er Jahre
Weser-Klone, Hybride 275, Max-Klone	1960er Jahre
Muhle Larsen, Androscoggin	1950er Jahre

5.2 Auswertung der Bewertungsmatrix – Weiter zu untersuchende Altklone

Mehr als 270 Altklone wurden in die Bewertung einbezogen. Da einige Sorten nicht mehr vorhanden waren, konnten noch 245 Altklone mit Hilfe der Bewertungsmatrix bewertet werden (s. Abb. 3).

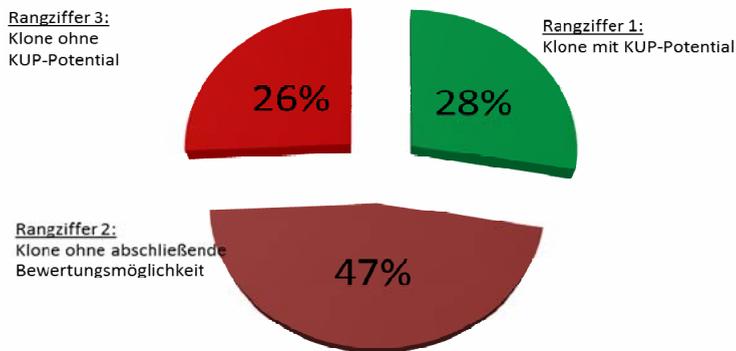


Abbildung 3: Zuordnung von Altklonen zu den Kategorien „Klone mit Kurzumtriebspotenzial“, „Klone mit mittlerem Kurzumtriebspotenzial bzw. nicht bewertbar“ und „Klone ohne Kurzumtriebspotenzial“

Nach Einschätzung ihrer Entwicklung auf alten Versuchsfeldern, in Mutterquartieren oder nach Bewertung von Hinweisen in alten Aufzeichnungen hatten 26 % der Klone keine Eignung für den Anbau in Kurzumtriebsplantagen (Sorten mit Rangziffer 3).

Bei 47 % der Klone konnte nur eine mittlere Kurzumtriebseignung (Rangziffer 2) festgestellt werden oder es waren keine auswertbaren Hinweise und Daten über den Klon vorhanden. Die Klone mit den Rangziffern 2 und 3 werden im laufenden Selektionsverfahren nicht weiter berücksichtigt, da sie nach Einschätzung nicht das Leistungsniveau aktuell zugelassener Klone erreichen.

Mit Kurzumtriebspotenzial wurden 28 % der untersuchten Altklone eingestuft, das sind 68 Klone. Von den besten 25 Klonen ist unter vertretbarem Aufwand

Steckholzmaterial zur Vermehrung und anschließenden Anlage einer Klonprüfung in der kommenden Projektphase vorhanden.

Einige bekannte Klone, denen die Rangziffer 1 („Mit Kurzumtriebspotenzial“) zugeordnet werden konnte, sind 121/66, Oxford, 252/63(16), 126/66, 256/63(22), Ogy, Katrop, Hybride 194, Offenburg 1, Wimm 2, Wettstein, Weser 4, Weser 7, 255/63(17), Lingenfeld, 267/63(12), 4/94, 73/65, 267/63(3), 124/66, 253/63(58), Floßgrün Speyer, Brühl 7, 14/65, Rhederbachpappel und 624/52.

Literatur

- BUGDAHL, V. (1990): Methoden der Entscheidungsfindung, Würzburg, Vogel Verlag und Druck KG, 145 S.
- HABERFELLNER, R.; NAGEL, P.; BECKER, M.; BÜCHEL, u. MASSOW, A. VON (1999): Systems Engineering. Methodik und Praxis 10. Auflage. Zürich: Verlag Industrielle Organisation Zürich.
- HOFMANN, M. (2003): Geschichte des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten. Vom Deutschen Pappelverein zum Förderverein für nachwachsende Rohstoffe e.V. Herausgegeben von Förderverein für nachwachsende Rohstoffe e.V. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten. Online verfügbar unter <http://www.pappelforschung.de>, zuletzt aktualisiert am Die Aug 19 18:23:33 CEST 2003
- KNUST, C. (2009): Kurzumtriebsplantagen - Stand des Wissens. In: REEG, T.; BEMMANN, A.; KONOLD, W.; MURACH, D. u. SPIECKER H. (Hrsg.): Anbau und Nutzen von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, S. 3–9
- ROHMEDER, E. (1955): Pappelbestandsgründung im engsten Verband durch Stecklingsverwendung auf bisher landwirtschaftlich benutztem Gelände. Ergebnis eines siebenjährigen Versuches. Allgemeine Forstzeitschrift, Jg. 10, H. 29/30, 348-352
- TUBES, M. u. SCHIRMER, R. (2010): FastWOOD Verbundprojekt: Sind alte Pappelsorten für den Kurzumtrieb geeignet? In: AFZ-Der Wald, H. 22, 32–34
- WEICH, T. u. UNSELD, R. (2010): Evaluierung und Aufnahme von älteren Pappelsorten-Versuchen. Auftrag im Rahmen des Verbundvorhaben FastWOOD „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb“ Teilprojekt: „Erfassung von Pappelklonen in Baden-Württemberg“. Abschlussbericht.

Korrespondierender Autor:

Randolf Schirmer

Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP)

Forstamtsplatz 1

83317 Teisendorf

E-Mail: poststelle@asp.bayern.de

URL: www.asp.bayern.de

Martin Tubes

ehemals Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (ASP)

Erzeugung triploider Individuen und intersektioneller Hybriden bei verschiedenen Pappelarten

Breeding triploid clones and intersectional hybrids of different poplar species

Dietrich Ewald, Kristina Ulrich und Heike Liesebach

Zusammenfassung

Ziel der Arbeiten ist die Schaffung triploider Aspen und Pappeln mit erhöhter Wuchsleistung für die Biomasseerzeugung auf Kurzumtriebsplantagen. Als Voraussetzung für die durchzuführenden Kreuzungen zur Erzeugung von triploiden Pflanzen und intersektionellen Hybriden wurden leistungsfähige Elternklone ausgewählt.

Die bisher erfolgreichste Methode zur Triploidisierung war die Induktion und Anreicherung diploiden Pollens ($2n$). Durch gezielte Thermobehandlung der Pollenmutterzellen während der Reifeteilung konnte $2n$ -Pollen erzeugt und durch fraktionierte Siebung mit einer speziellen Siebmaschine angereichert werden. Ebenso war eine Anreicherung von $2n$ -Pollen aus natürlichen Pollengemischen möglich. Der diploide Pollen wurde für gezielte *in vitro*-Bestäubungen sowie für gelenkte Kreuzungen im Gewächshaus verwendet. Die Selektion der entstandenen triploiden Pflanzen erfolgte anhand phänotypischer Merkmale und mit Hilfe der

Flowcytometrie. Insgesamt wurden vier triploide Klone durch *in vitro*-Bestäubung erzeugt, von denen bisher zwei vermehrt werden konnten und ein mit dem triploiden Hybrid-Aspenklon „Austria“ vergleichbares Wachstum zeigen. Durch gelenkte Kreuzungen mit gesiebten Pollen wurden drei triploide Nachkommen einer Aspenkreuzung und vier triploide Klone einer intersektionellen Pappel-Kreuzung (*P. deltoides* x *P. „Androskoggin“*) hergestellt.

Mit dem Ziel der Verbesserung von Resistenz- und Toleranzeigenschaften und der Übertragung der Fähigkeit zur Stecklingsbewurzelbarkeit auf die Nachkommen wurden verschiedene intersektionelle Kreuzungen (*Populus* x *Aigeiros* und *Populus* x *Tacamahaca*) durchgeführt. Die Erzeugung wüchsiger Hybridindividuen zeigte, dass diese Kombinationen prinzipiell möglich sind. Erste Untersuchungen zur Stecklingsbewurzelbarkeit der Hybriden sind erfolgversprechend.

Stichworte: *Populus*, triploid, *in vitro*-Bestäubung, intersektionelle Kreuzung, diploider Pollen

Abstract

The aim of this research is to breed triploid aspen and poplar with higher growth potential for biomass production in short rotation coppice plantations. A prerequisite for undertaking crossbreeding to produce triploid plants and intersectional hybrids is the selection of parent clones with high performance potential.

To date, the induction and enrichment of diploid pollen (2n) has proven the most successful method for triploidisation. By thermally treating the pollen mother cells during meiotic division, 2n pollen could be produced and then enriched by separating the fractions with a special sieving machine. The enrichment of 2n pollen from natural pollen mixtures was also possible. The diploid pollen was used in controlled *in vitro* pollination as well as for controlled crossbreeding in green houses. The selection of the resulting triploid plants was made on the basis of phenotypic characteristics and by flow cytometry. In total, four triploid clones were generated from *in vitro* pollination, of which, so far, two could be reproduced and demonstrated growth comparable to the triploid hybrid aspen clone “Austria”. Through controlled crossbreeding with separated pollen, three triploid plants of an aspen cross and four triploid clones of an intersectional poplar cross (*P. deltoides* x *P. „Androskoggin“*) were produced.

Various intersectional crossbreeding has been conducted (*Populus* x *Aigeiros* and *Populus* x *Tacamahaca*) with the aim of improving resistance and tolerance characteristics, and transferring the rooting capacity of shoot cuttings to the progeny. The breeding of fast-growing hybrids has shown that these combinations are feasible in principle. Preliminary investigations of the rooting capacity of cuttings from hybrids give cause for optimism.

Keywords: *Populus*, triploid, *in vitro* pollination, intersectional crossbreeding, diploid pollen

1 Einleitung

Triploide Gehölze werden schon lange genutzt. Besonders aus dem Obstbau sind viele Beispiele bekannt, wie die Apfelsorten „Kaiser Wilhelm“ (1864) und „Gravensteiner“ (1669) oder die Birne „Gute Luise“ (1778). Die Pflanzen wurden damals als Zufallssämlinge gefunden, die Vervielfachung des Chromosomensatzes jedoch erst viel später nachgewiesen.

Im forstlichen Bereich sind triploide Bäume seit 1935 bekannt, als eine stark wüchsige Pappel mit Gigasmerkmalen von Müntzing in Schweden gefunden wurde, die später als triploid charakterisiert werden konnte (MÜNTZING 1936).

Triploide Pflanzen zeigen oft ein besseres Wachstum und weisen zum Teil Gigas-Merkmale auf, die die Blüten, die Früchte oder auch die Blätter betreffen. Oft liegt eine gestörte Fertilität vor, was im Obstbau zur Züchtung kernarmer oder kernloser Sorten genutzt wird. Gerade bei Forstpflanzen sind noch andere Eigenschaften wie höhere Faserlänge, geringerer Ligningehalt oder die Verbesserung des Resistenzverhaltens z. B. durch veränderte Blattstruktur von Vorteil. Auch werden triploide Pflanzen oft in Zusammenhang mit einer höheren Anpasstheit an extreme klimatische Bedingungen gebracht (DE WET 1980).

Unter natürlichen Bedingungen entstehen triploide Pflanzen, wenn im Verlauf der Pollenbildung bei der Meiose (Reifeteilung) eine der beiden Teilungen (Reduktionsteilung, Äquationsteilung) durch äußere Störungen wie z.B. Temperaturextrema beeinträchtigt wird. So können in den Pollenmutterzellen anstelle der normalen haploiden Gameten unterschiedlich diploide Gameten gebildet werden (VAN DILLEWIJN 1940). Je nach beeinträchtigter Teilungsphase entstehen diploid heterozygote FDR-Pollen (first division restitution) bzw. Pollen mit dem doppelt haploid-homozygoten Chromosomensatz (SDR-Second division restitution). Bei einer Befruchtung mit FDR-Pollen, die - wenn kein crossing over stattgefunden hat - den kompletten Satz der elterlichen Erbinformation besitzen - kommt es neben dem Gen-Dosis-Effekt zur zusätzlichen Erhöhung der Heterozygotie in den triploiden Nachkommen (DE WET 1980). Die gezielte Erzeugung triploider Bäume ist jedoch trotz zahlreicher Untersuchungen nach wie vor schwierig (EWALD 2008).

Eine Steigerung der Leistung von Gehölzen kann neben der Triploidisierung auch durch intersektionelle Kreuzungen erreicht werden. Diese Kreuzungen ermöglichen die Kombination besonderer Eigenschaften wie Wuchsleistung, Fähigkeit zur Stecklingsvermehrbarkeit oder verbessertes Resistenz/Toleranzverhalten bei den intersektionellen Hybriden. Die durchgeführten intersektionellen Kreuzungen, die hier beschrieben werden, sind vorwiegend solche, die durch

konventionelle Kreuzungen nicht oder nur schwer realisierbar sind. Die *in vitro*-Methode des Embryo Rescue (Embryonenrettung) bildet deshalb ein wichtiges Werkzeug bei diesen Arbeiten. Auch besteht hierbei die Möglichkeit, die Kreuzung geeigneter Aspen- bzw. Pappelklone mit besonderen Eigenschaften in Kombination mit der Verwendung von diploidem Pollen (Triploidisierung) durchzuführen.

2 Erzeugung triploider Aspen und Pappeln

2.1 Herstellung und Anreicherung diploider Pollen

Eine Möglichkeit zur Erzeugung triploider Pflanzen ist die Bestäubung normaler, diploider Pflanzen mit diploiden Pollen. Diploider Pollen kann in gewissen Anteilen zum einen durch gezielte Thermobehandlung der Pollenmutterzellen erzeugt werden. Dieser Pollen ist dann etwa um ein Drittel größer. Eine alternative Möglichkeit ist die Verwendung natürlich entstandener und durch Siebung angereicherter größerer (diploider) Pollen. Nachteilig ist dabei die geringere Keimfähigkeit der diploiden Pollen im Vergleich zu haploiden Pollen (KANG u. ZHU 1997).

2.1.1 *Thermobehandlung männlicher Blüten zur Erhöhung des Anteils diploider Pollen*

MASHKINA et al. (1989) konnten zum ersten Mal bei Pappeln zeigen, dass durch Temperatursprünge während der Prophase der Meiose die Erzeugung eines erhöhten Anteils an diploiden Pollen möglich ist. Um den Zeitpunkt des für die Thermobehandlung günstigsten Meiosestadiums (Bouquet-Stadium, Leptotän/Zygotän, MASHKINA et al. 1989) genau abschätzen zu können, wurde zuerst das Blühverhalten der männlichen Blüten durch mikroskopische Analyse der Pollenmutterzellen und phänologische Betrachtungen eingehend untersucht. Blütenzweige, bei denen das entsprechende Stadium vorlag, wurden in Anlehnung an die Arbeiten von MASHKINA et al. (1989) 3 h bei 38 °C im Wärmeschrank behandelt. Die entstandenen Pollen wurden nach Karminessigsäurefärbung mikroskopisch vermessen und mit der unbehandelten Kontrolle verglichen. Zur Anreicherung der diploiden Pollen erfolgte eine Aussiebung der entsprechenden Größenfraktion mit einer speziellen Siebmaschine.

2.1.2 *Siebung von Pollen zur Anreicherung natürlich entstandener diploider Pollen*

Durch ungünstige Witterungseinflüsse wie z. B. starke Temperaturschwankungen in der Winterperiode kann es zur Schädigung der Blüten kommen, so dass eine erfolgreiche Thermobehandlung im Wärmeschrank nicht möglich ist (keine Pollenfreisetzung). In diesem Fall können aus normal geerntetem Pollen durch Siebung

mit der Siebmaschine bestimmte Fraktionen angereichert werden, die einen höheren Anteil natürlich induzierter diploider Pollen enthalten. Aufgrund vorangegangener Untersuchungen wurde hier die Fraktion 32-45 μm verwendet, die der Größe normaler diploider Pollen entspricht (s. Abb. 1).

Die angereicherten größeren (diploiden) Pollen wurden für *in vitro*-Bestäubungen (IVB) und auch für spontane Kreuzungen verwendet. Bei der IVB wurde eine zusätzliche manuelle Größenselektion der Pollen unter dem Stereomikroskop vorgenommen.

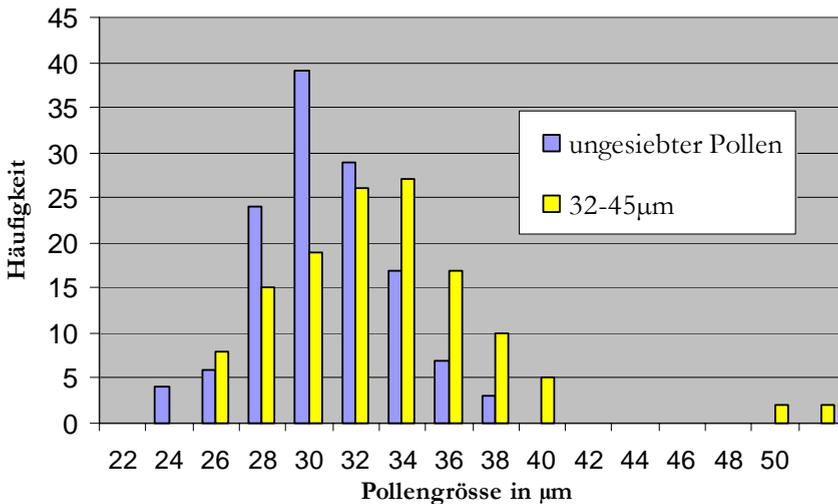


Abbildung 1: Fraktionierung der Pollen des Pappelklons P. „*Androskoggin*“ mit der Siebmaschine

2.2 *In vitro*-Bestäubung (IVB)

Zur Vorbereitung der IVB wurden weibliche Aspenblüten im „fängischen“ Stadium im Gewächshaus entnommen und unter der Laminarbox präpariert. Dann wurden die Fruchtknoten unter dem Stereomikroskop abgetrennt und auf ein spezielles Nährmedium überführt. Die entsprechenden Pollenkörner wurden unter dem Mikroskop aus einer Glaspetrischale aufgenommen und auf die Narben übertragen. Da die Pollenkörner einzeln aufgenommen werden, ist hier eine zusätzliche Größenselektion möglich. Pro Narbe wurden 5 bis 8 Pollenkörner aufgelegt (s. Abb. 2).



Abbildung 2: Pollenkörner auf der Narbe des Fruchtknotens einer Aspe (links), Präparation der Embryos aus den reifen Fruchtknoten (rechts)

Die Fruchtknoten wurden täglich kontrolliert und bei Pilzinfektionen, wenn erforderlich, auf neues Medium umgesetzt. Nach ca. 14 Tagen wurden die Fruchtknoten mit einem Mikroskalpell geöffnet, die angelegten Samen entnommen und auf einem modifizierten MS-Medium (MURASHIGE u. SKOOG 1962) kultiviert (s. Abb. 2). Bei sichtbarer Wurzelbildung wurden die Keimlinge dann auf Vermiculit mit mineralischer Nährlösung überführt. Nach Ausbildung der ersten Blätter konnte mit der flowcytometrischen Analyse und der Selektion der triploiden Pflanzen begonnen werden.

Insgesamt war die Ausbeute an triploiden Pflanzen bei der IVB relativ gering und lag bezogen auf die Anzahl der jeweils bestäubten Fruchtknoten bei 0,2 % bis 0,5 %. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die bisher im Projekt durch IVB entstanden triploiden Klone (s. Tab. 1).

Tabelle 1: Triploide Klone, die durch *in vitro*-Befruchtung entstanden sind

Klonbezeichnung	verwendeter Pollen	Jahr der Entstehung	Anzahl Fruchtknoten
L40 x L2 Nr.1 ([<i>P. tremula</i> x <i>P. tremuloides</i>] x [<i>P. tremula</i>]) ("♂Tripi")	Thermopollen	2009	516
L40 x L311 Nr.1 ([<i>P. tremula</i> x <i>P. tremuloides</i>] x [<i>P. tremula</i>])	gesiebter Pollen	2010	192
L328 x L449 (<i>P. tremula</i> x <i>P. tremula</i>)	gesiebter Pollen	2011	208
ARB4M x ARB2M Nr.1 ([<i>P. tremula</i> x <i>P. tremuloides</i>] x [<i>P. tremula</i> x <i>P. tremuloides</i>])	gesiebter Pollen	2010	240

Die Kreuzung L40 x L2 Nr.1 wurde 2010 im Containerversuch (24er Multitopfpaletten) in der Baumschule getestet und zeigte ein mit der triploiden Astria (*P. tremula* x *P. tremuloides*) vergleichbares Wachstum. Der zweite triploide Klon (L40 x L311 Nr.1) wurde im April 2011 in 12er Multitopfpaletten gepflanzt und Anfang Juni in die Baumschule überführt.

Der Klon ARB4M x ARB2 Nr.1, der aus der Kreuzung eng verwandter Eltern stammt (Inzuchtkreuzung), wies schon bei der *in vitro*-Vermehrung ein sehr schlechtes Wachstum auf und wurde verworfen.

2.3 Spontane Kreuzung mit gesiebtm Pollen und Selektion mittels Flowcytometrie

Neben den *in vitro*-Bestäubungen wurden die selektierten (gesiebten) Pollen auch für gelenkte Kreuzungen verwendet.

Im Frühjahr 2011 wurde Saatgut der Kombination L40 x L311 (*[P. tremula* x *P. tremuloides]* x *[P. tremula]*), das 2010 durch Bestäubung mit gesiebtm Pollen der Aspe L311 (Fraktion 32-45 µm) erzeugt worden war, ausgesät und in 104er Paletten übertragen. Aus insgesamt 460 flowcytometrisch untersuchten Pflanzen konnten 3 triploide Klone selektiert werden (Nr. 3, 38, 277), die im Juni umgetopft und in die Baumschule überführt wurden. Anfang August betrug die Größe der Pflanzen 146 cm, 123 cm bzw. 85 cm.

Auch Saatgut der intersektionellen Kreuzung S39 x P. „Androscoggin“ (*[P. deltooides* x *[P. maximowiczii* x *P. trichocarpa]*), die einen dreifachen Hybriden darstellt und 2010 mit gesiebtm P. „Androscoggin“-Pollen (32-45 µm-Fraktion) durchgeführt worden war, wurde im Februar 2011 zur Auslese von „Bestleistern“ und triploiden Pflanzen ausgesät. Drei Klone dieser Kombination waren vorher über 2 Jahre getestet worden und zeigten neben einem sehr langen Wuchsintervall eine hohe Rostresistenz. Aus insgesamt 500 untersuchten Sämlingen dieser Kombination wurden vier triploide Klone mittels Flowcytometer selektiert (Nr. 152, 176, 261, 314) und in die Baumschule überführt.

Die Ausbeute an triploiden Pflanzen bezogen auf die Gesamtzahl untersuchter Pflanzen lag bei den beiden getesteten Kombinationen mit 0,7 % bzw. 0,8 % deutlich über der Ausbeute der IVB-Versuche.

Die triploiden Pflanzen aus den gelenkten Kreuzungen wurden bereits rück-etabliert und *in vitro* vermehrt. Im nächsten Jahr werden Wachstum und Resistenzverhalten dieser Klone im Freiland getestet.

2.4 Auffinden triploider Pflanzen auf alten Versuchsflächen

Bei der Auswahl geeigneter Kreuzungseltern wurden auf einer Versuchsfläche nahe Waldsiefersdorf zwei gut geformte und wüchsige männliche Graupappeln gefun-

den (Bezeichnung Buchhorst 1 und 2, Volker Schneck). Beide Pappeln wiesen eine geringe Pollenbildung auf. Mikrosatellitenanalysen zeigten bei beiden Klonen an drei Genorten 3 Allele, was möglicherweise ein Hinweis auf Triploidie ist. Außerdem erwiesen sich die beiden Klone als verwandt und einer der beiden Klone mit dem unter L84 laufenden Graupappelklon aus dem Mutterquartier in der Baumschule identisch (LIESEBACH et al. 2010a). Aus den vorliegenden Informationen zu Klon L84 wurde ersichtlich, dass 1967 zwei Graupappelklone unter dem Namen Putzar 1 und 2 in einem Bestand im Mecklenburg Vorpommern (Putzar) ausgewählt worden waren (Prof. Joachim, persönliche Mitteilung). Die Bezeichnung war später in L83 und L84 geändert worden. Der Klon L83 ist gegenwärtig nicht mehr auffindbar. Somit handelt es sich bei diesen beiden Individuen mit hoher Wahrscheinlichkeit um die Klone L83 und L84. Der in Waldsiedersdorf angelegte Versuch kann also nicht älter als 44 Jahre sein. Die Untersuchung mit dem Flowcytometer bestätigte die Vermutung, dass beide Klone triploid sind. Beide Klone stammen mit hoher Wahrscheinlichkeit von einem gleichen Elternteil ab, welches zur Triploidie beider Individuen führte. Gegenwärtig wird versucht, Gewebekulturen beider Klone anzulegen, um sie in künftige Versuche einbeziehen zu können.

3 Intersektionelle Kreuzungen

Aus verschiedenen Arbeiten zur Pappelkreuzung ist bekannt, dass einige Kombinationen intersektioneller Kreuzungen nicht oder nur sehr schwer möglich sind, unter anderem auch Kreuzungen zwischen der Sektion *Populus* und den Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca*. RONALD (1982) zeigte jedoch, dass Kreuzungen in unidirektionaler Richtung möglich sind, sofern die Mutter aus der Sektion *Populus* stammt und eine Hybridaspes ist. Aus diesem Grund wurde an einem Beispiel getestet, inwieweit dies auch mit unserem Material möglich ist. Ziel der Arbeiten ist neben guten Wachstumseigenschaften, verbesserter Resistenz und Trockentoleranz vor allem die Übertragung der Fähigkeit zur Stecklingsbewurzelbarkeit auf die Nachkommen.

Nach Kreuzung der Hybridaspes L328 mit einer Schwarzpappel S13 (*Populus* x *Aigeiros*) kam es zur Samenbildung und Samenentwicklung (Keimung), die anfänglich verzögert war, unter Dauerrotlichtbedingungen aber gefördert werden konnte. Im Gewächshaus zeigte sich eine große Variationsbreite im Wuchs. Die wüchsigsten Individuen (1,30 m) wurden verklont. Zuvor waren alle Individuen durch Mikrosatellitenanalyse getestet worden (LIESEBACH et al. 2010a, 2010b). Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde eine schwachwüchsige Pflanze als triploid eingestuft, die den mütterlichen Chromosomensatz verdoppelt enthält. Auch diese Pflanze wurde in die Verklonung eingebracht, da sie möglicherweise zur Bildung diploider Gameten verwendet werden kann.

Erste wiederholende Untersuchungen solcher Kombinationen in diesem Jahr zeigten, dass intersektionelle Kreuzungen prinzipiell möglich sind, in vielen Fällen

aber nur einen geringen Samenansatz zeigen und häufig auf die *in vitro*-Technik des „embryo rescue“ (Embryonenrettung) zurückgegriffen werden muss.

Zur intersektionellen Kreuzung zwischen Aspen bzw. Hybridaspen und *P. pseudosimonii* (Sekt. *Tacamahaca*) wurde von Prof. Yang (Landwirtschaftliche Universität Baoding) Pappelpollen aus der Züchtungsstation Tongliao (Innere Mongolei) zur Verfügung gestellt. *P. pseudosimonii* wurde in die Kreuzungen einbezogen, um die Trockentoleranz und die sehr hohe Bewurzelungsfähigkeit auf die Hybriden zu übertragen. Bei der Kreuzung der Aspe L290 x *P. pseudosimonii* war die Zahl der entstandenen Hybridindividuen zwar sehr gering, dennoch konnten wüchsige Exemplare gefunden und über Gewebekultur *in vitro* vermehrt werden. Der Klon L290 x *P. pseudosimonii* Nr. 5 wurde bei Einzelexemplaren bis 120 cm hoch (Mittelwert 90,6 cm) und kommt somit für die weitere Prüfung im Containerversuch in Betracht. Die beiden Klone L290 x *P. pseudosimonii* Nr. 2 (bis 50 cm) und L328 x *P. pseudosimonii* Nr. 1 (bis 30 cm) sind aufgrund ihrer geringen Wachstumsleistung perspektivisch nur als potenzielle Kreuzungspartner von Interesse. Weitere Vergleichstests zur Einschätzung von Wachstum und Resistenz (Rostbefall) der Hybridklone sind geplant.

4 Bestimmung des Wachstums von *in vitro* vermehrten Aspen- und Pappelhybriden in Containerversuchen

Um eine frühzeitige Beurteilung des Wachstums der erzeugten Klone im Vergleich zu bekanntem Referenzmaterial zu erhalten, wurden im Frühjahr 2010 und 2011 Containerversuche in der Baumschule angelegt. Die ausgewählten Klone wurden *in vitro* etabliert und im Winterhalbjahr vor vermehrt. Die Pflanzen kamen Mitte März/Anfang April in die unsterile Erdkultur (24er bzw. 12er Multitopfpaletten) ins Gewächshaus. Dort wurden sie abgehärtet und nach Ende der Frostperiode Anfang Juni ins Freiland gebracht. In einem beregneten Schattenzelt erfolgte die weitere Anzucht, die Anpassung an die Lichtverhältnisse im Freiland und später die weitere Aufzucht bis zur Messung im Herbst.

Die Ergebnisse der Untersuchungen von 2010 (s. Abb. 3) zeigen, dass einige der erzeugten Klone den ausgesäten Aspennachkommenschaften sowie anderen, zu Vergleichszwecken mit vermehrten Klonen, in der Wachstumsleistung überlegen sind. Das beste Wachstum konnte bei dem mixoploiden Klon L447 „Irmgard“ (Graupappel, durch Colchizinbehandlung entstanden) und der Aspenkreuzung L316 x L9 Nr. 21 (mixoploid, mit thermobehandeltem Pollen erzeugt) festgestellt werden. Eine gute und mit dem triploiden Klon „Austria“ vergleichbare Leistung zeigte auch der durch *in vitro*-Bestäubung mit thermobehandeltem Pollen erzeugte triploide Klon L40 x L2 Nr. 1 („Tripi“). In die Versuche wurden ebenfalls selektierte und verklonte Sämlinge einbezogen, deren Wachstumsleistung im Baumschulbeet nach Ende des ersten bzw. zweiten Jahres deutlich über der durchschnittlichen

Wuchsleistung anderer Nachkommenschaften lag (z. B. L40freiA, ein frei abgeblühter Sämling der Mutter L40.)

Die ausgewählten mixoploiden Klone erwiesen sich auch nach längerer *in vitro*-Kultur sowie bei der stichprobenartigen Prüfung der Pflanzen im Gewächshaus als genetisch stabil.

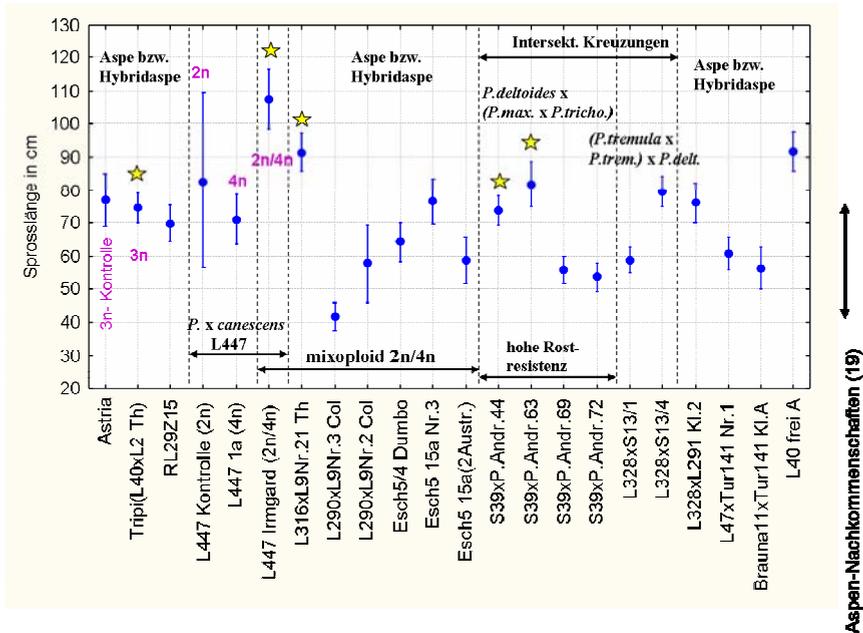


Abbildung 3: Wuchsleistung verschiedener Klone in 24er Multitopfpalietten über die Wachstumsphase des Jahres 2010 (März-Sept.) im Vergleich zu 19 Aspen-Nachkommenschaften (zur gleichen Zeit ausgebracht, Pfeil rechts)

Bei den Klonen aus intersektionellen Kreuzungen erwiesen sich zwei Klone aus der Kombination *P. deltooides* x (*P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*) mit der Mutter S39 als sehr gut im Wachstum (Klon Nr. 63 und Nr. 44). Die Ergebnisse der Versuche des Jahres 2011 (s. Abb. 4) bestätigen die gute Wuchsleistung der mixoploiden Klone (L316 x L9 Nr.21, L447 „Irmgard“ und zusätzlich L290 x L9 Nr. 2). Der 2010 erzeugte triploide Klon L40 x L311 Nr. 1 (siehe Tab. 1) zeigte eine Leistung, die über der anderer triploider Vergleichsklone lag.

Der Klon „Tripi“ (2009) hatte in diesem Jahr zwar höhere durchschnittliche Wurzelhalsdurchmesser (6,4 mm) als z. B. die Vergleichsklone 3NCK (*(P. bolleana* x *P. tomentosa)* x *P. tomentosa*); 6,2 mm) und Klon741 (*(P. alba* x [*P. davidiana* + *P. simonii*] x *P. tomentosa*); 5,7 mm), war aber - wahrscheinlich bedingt durch ungünstige Temperatureinflüsse bei der Überführung ins Freiland - im Wachstum stecken geblieben.

Insgesamt gestatten die Containerversuche mit mikrovermehrten Pflanzen in der Baumschule über zwei Jahre einen raschen Vergleich der Klone untereinander als auch im Vergleich mit Referenzklonen und erlauben somit eine erste Selektion wuchsüberlegener diploider, mixoploider und triploider Pflanzen. Auch der Aspekt der Anfälligkeit dieser Pflanzen gegenüber biotischen Schädlingen lässt sich im Vergleich der Klone durch Bonituren erfassen.

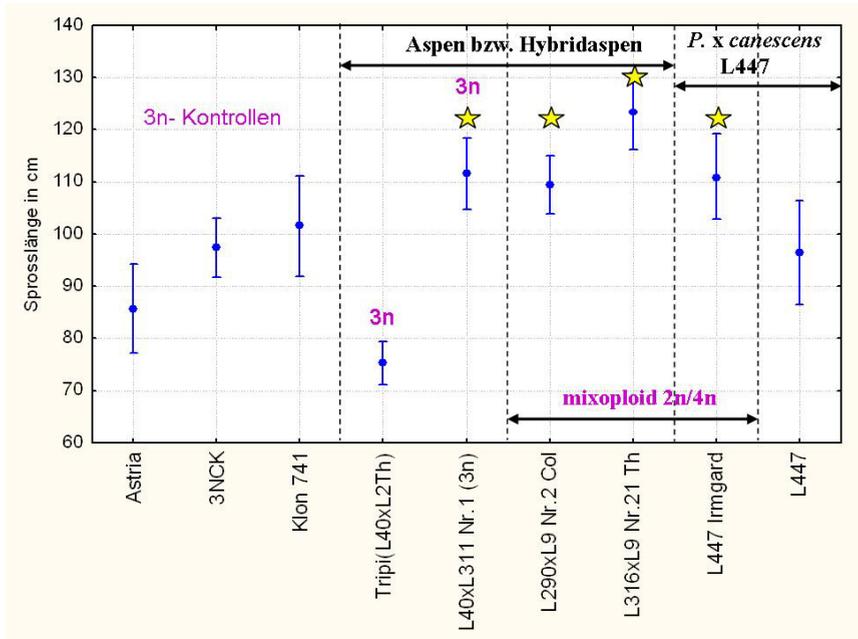


Abbildung 4: Wuchsleistung verschiedener Klone in 12er Multitopfpaletten über die Wachstumsphase des Jahres 2011 (März-Sept.)

5 Untersuchungen zur Stecklingsbewurzelbarkeit

Aspenklone oder andere Mitglieder der Sektion *Populus* sind normalerweise nicht oder nur schwer über Stecklinge vermehrbar (THÜMLER 1957). Für Graupappeln wurde jedoch eine bessere Bewurzelungsfähigkeit als für reine Aspen ermittelt (SCHRÖCK 1958). Damit stellt sich bei jedem erzeugten neuen Material mit Vertretern dieser Sektion diese Frage nach der Stecklingsbewurzelbarkeit. Aus diesem Grunde wurde für den mixoploiden Graupappelklon „Irmgard“ (L447 2n/4n) und den intersektionellen Hybridklon (Hybridaspes L328 x *P. deltoides* S13/1 Klon Nr. 4) in einem ersten Versuch die Vermehrung über Holzstecklinge geprüft. Aufgrund der Tatsache, dass es sich lediglich um einjährige Pflanzen handelt, waren die Stecklinge von sehr geringen Dimensionen. Als Vergleich wurde die triploide Hybridaspes „Astria“ verwendet. Geschnitten wurden 10 cm lange Stecklinge mit

einem Durchmesser von 3-8 mm. Sie wurden an der Basis mit Rhizopon (1 % IBA, Indolylbuttersäure) behandelt und in je ein Minigewächshaus in feuchtem Sand abgesteckt (20 °C, 16/8 Hell/Dunkel). Wie erwartet bewurzelte sich der reine triploide Hybrid-Aspenklon „Astria“ nicht. Graupappel und intersektioneller Hybrid wiesen schon nach 4 Wochen eine 100%ige Kallusbildungsrate an der Stecklingsbasis und eine Bewurzelungsrate um die 50% auf.

Auffallend und von den reinen Aspen abweichend ist aber die 100%ige Bildung von Basiskallus bei allen Stecklingen sowohl bei der Graupappel als auch beim intersektionellen Hybriden. Dies spricht dafür, dass bei Stecklingen normaler Dimension (Länge 200 mm, Stärke 10-15 mm) eher eine Bewurzelung zu erreichen sein wird als bei den reinen Aspenklonen. Damit rückt das Ziel näher, auch Vertreter der Sektion *Populus*, oder zumindest Hybriden mit Vertretern dieser Sektion, stecklingsvermehrbar zu erhalten.

6 Schlussfolgerungen

Ein Schwerpunkt der zukünftigen Arbeiten wird in der weiteren Optimierung der Thermobehandlung zur Erzeugung diploider Pollen liegen. Dabei kann möglicherweise eine Variation des Zeitpunktes, der Intensität und der Dauer der Wärmebehandlung zur höheren Ausbeute an diploiden Pollen führen. Auch bei der Pollenfraktionierung ist durch eine präzisere Aussiebung der entsprechenden Pollenfraktionen mit Sieben geeigneter Maschenweite in kleinerer Abstufung eine Optimierung möglich. Zur Einschätzung der Keimfähigkeit der erzeugten Pollen soll ein Keimtest entwickelt werden, der bisher nur für ganz frisch geernteten Pollen verfügbar ist. Zusätzlich werden weitere Untersuchungen zur Unterscheidung und Einschätzung des Mengenverhältnisses von diploiden und normalen Pollen in Pollengemischen durchgeführt.

Colchizinbehandlungen einzelner Fruchtknoten nach erfolgter Befruchtung brachten bisher nicht die erhofften Erfolge. Sowohl bei den *in vitro*-Bestäubungen als auch bei den konventionellen Kreuzungen ist vor allem die Auswahl geeigneter, leistungsfähiger Partner von Bedeutung. Bei der Erzeugung und Nutzung diploider Pollen soll auf bereits bewährte (beste) Kreuzungskombinationen zurückgegriffen werden.

Bei den intersektionellen Kreuzungen wird weiterhin das Ziel verfolgt, bestimmte Eigenschaften wie Stecklingvermehrbarkeit (Kombination Aspappel), Trockentoleranz oder Resistenz gegenüber bestimmten Schaderregern auf die Nachkommen zu übertragen. So sollen weitere Kreuzungen von Hybridaspn und Pappeln mit Pollen von *P. simonii* durchgeführt werden, um trockenolerante Nachkommen zu erzeugen. Kombinationen mit *P. deltoides* sollen vor allem zur Verbesserung der Wuchsleistung und des Resistenzverhaltens führen. Auch bei intersektionellen Kreuzungen soll der Aspekt der Triploidie künftig nicht außer acht gelassen werden.

Literatur

- DE WET, J.M.J. (1980): Origin of polyploids. In: LEWIS, H.W. (ed.): Polyploidy - Biological Relevance. 3-15. Plenum Press, New York-London
- EWALD, D. (2008): Erzeugung und Nutzung diploider Pollen bei Gehölzen. Vorträge aus GPZ-Arbeitsgemeinschaften 74, 83-89
- LIESEBACH, H.; SCHNECK, V. u. EWALD, E. (2010a): Clonal fingerprinting in the genus *Populus* L. by nuclear microsatellite loci regarding differences between sections, species and hybrids. *Tree Genet Genomes* 6, 259-269
- LIESEBACH, H.; NAUJOKS, G. u. EWALD, D. (2010b): Successful hybridisation of hybrid aspen (*Populus tremula* × *P. tremuloides*) and eastern cottonwood (*P. deltoides*). *Sexual Plant Reproduction* 24, 189-98
- KANG, X.Y. u. ZHU, Z. (1997): A study on the 2N pollen vitality and germinant characteristics of white poplar. *Acta Botanica Yunnanica*, 19, 402-406
- MASHKINA, O.S.; BURDAEVA, I.M.; BELOZEROVA, M.M. u. VYUNOVA, L.N. (1989): A method of inducing pollen in woody species. *Lesovedenie* 1, 19-25
- MURASHIGE, T. u. SKOOG, F. (1962): A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 15, 473-497
- MÜNTZING, A. (1936): The chromosomes of a giant *Populus tremula*. - *Hereditas* 21, 383-393
- RONALD, W.G. (1982): Intersectional hybridization of *Populus* sections *Leuce-Aigeiros* and *Leuce-Tacamahaca*. *Silvae Genetica* 31, 94-99
- THÜMLER, K. (1957): Untersuchungen zur vegetativen Vermehrung von *Populus tremula* L. durch Grünstecklinge mit Hilfe synthetischer Wachstumsstoffe. In: Beiträge zur Pappelforschung II, Wissenschaftliche Abhandlungen Nr. 27, Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, Akademie-Verlag Berlin, 179-204
- SCHRÖCK, O. (1958): Die Graupappel und ihre vegetative Vermehrung. *Züchter* 28, 71-80
- VAN DILLEWIJN, C. (1940): Cytologische Studien in der Gattung *Populus* L. *Genetica* 22, 131-182

Korrespondierender Autor:

Dr. Dietrich Ewald
Johann Heinrich von Thünen- Institut (vTI)
Institut für Forstgenetik
15377 Waldsiedersdorf
Eberswalder Chaussee 3a
E-Mail: dietrich.ewald@vti.bund.de

Dr. Kristina Ulrich
Dr. Heike Liesebach
Johann Heinrich von Thünen- Institut (vTI)
Institut für Forstgenetik

Holzanatomie, Physiologie und Verwendbarkeitseigenschaften – „Moderne“ Züchtungsziele für den Agrarholzmarkt?

Wood anatomy, physiology and applicable characteristics
– “modern” breeding goals for short rotation forestry?

Matthias Meyer, Alexander Solger und Doris Krabel

Zusammenfassung

Wuchsphysiologie und Ertrag stehen in engem Zusammenhang mit der hydraulischen Architektur der Pappeln im Kurzumtrieb. Insbesondere die Trockenheitstoleranz an dauerhaft von defizitärer Wasserversorgung gekennzeichneten Standorten ist sehr wichtig, jedoch nicht direkt messbar. Daher müssen die Trockenheitstoleranz erklärende „Ersatz“-Eigenschaften (Proxies) gefunden werden. Dazu zählen in der Pflanzenzüchtung vor allem Erträge unter Trockenheit, aber auch physiologische Anpassungsmerkmale. Die Dendromasse-Ertragsbestimmungen für einzelne Genotypen gestalten sich schwierig, weil sie – im Gegensatz zu einjährigen Kulturpflanzen – langjährigen Entwicklungstrends unterworfen sind, aber ebenfalls für eine große Anzahl an Individuen realisiert werden müssen. Dies erfordert einen sehr viel höheren Aufwand als im Vergleich zu einjährigen Pflanzen. Es bietet sich daher die Nutzung des Jahrringarchivs an, in welches Gehölze Informationen über ihren Entwicklungsverlauf aber auch über ihre Reaktionsfähigkeit auf

Trockenjahre oder andere Ereignisse „niederschreiben“. Die zu untersuchenden jahrringbezogenen oder holzanatomischen Eigenschaften sind zudem auch wichtige Merkmale, die die Holzerträge und Verwertbarkeit erklären. Durch Unterschiede zwischen Akzessionen, Sorten oder Genotypen in der Ausprägung dieser Merkmale lassen sich genetische Unterschiede hinsichtlich der Wasserhaushaltsreaktionen abbilden und im Hinblick auf ihre standortbezogene Anbaueignung oder züchterische Selektion bewerten.

Die Arbeiten im Teilvorhaben 5 des Verbundes FastWOOD zielen auf die physiologische und holzanatomische Charakterisierung der Sortenunterschiede sowie deren Bedeutung für die hydraulische Architektur der Sorten und die Verwendbarkeit der Dendromasse ab. Dabei wurden bewährte, aber auch neue Akzessionen, welche im Verbund bearbeitet werden, berücksichtigt. Zwei weitere Arbeitspakete dienen der Suche nach neuem, potenziell widerstandsfähigem Pappelmaterial aus in natürlicher Verjüngung vorhandenen Beständen sowie der Recherche nach früheren Forschungsergebnissen und der Sichtung von Literaturquellen, um schwer zugängliche oder ältere Literatur mit Relevanz für die Physiologie besser zu erschließen.

Zu den grundlegenden Ergebnissen unserer Arbeit gehört eine Charakterisierung einer Auswahl von bezüglich ihres Anbauumfanges in Deutschland wichtigen Sorten. Die Ergebnisse zeigen, dass der mit statistischen Methoden messbare Effekt des genetischen Faktors „Sorte“ aus der Gruppe der ausgewählten Sorten mehr Einfluss auf die Variabilität der Zelllängen hat als der Faktor der Sektionszugehörigkeit. Am ehesten unterscheiden sich jedoch die Aspen (*Populus* Sektion *Populus*) von den übrigen untersuchten Sorten der inter-sektionalen Hybriden (*Populus* Sektion *Tacamahaca* × *P.* Sektion *Aigeiros*) und der Balsampappelhybriden (*Populus* Sektion *Tacamahaca*). Korrelationsanalysen von Faserlängenwerten der Sorten für den Jahrring 2003 mit dem Gesamtertrag (zehnjährige Umtriebszeit) zeigen, dass die Faserlänge in Jahrringen trockener Vegetationsperioden als Weiser für das Ertragspotenzial einer Sorte fungieren kann.

Die Ergebnisse der Jahrringbreitenentwicklung in der ersten Umtriebsperiode (zehn Jahre) lieferten Hinweise, dass Aspenindividuen – gemessen an ihren geringeren Rückgängen der Jahrringbreite im Trockenjahr 2003 – toleranter gegenüber Trockenheit sind. Dagegen sind sie in gut wasserversorgten Jahren potenziell auch nicht so ertragreich wie andere Pappeln.

Stichworte: *Populus*, Faserlänge, Gefäßzelle, hydraulische Architektur, Trockenheitstoleranz, juveniles Holz, Dendrochronologie

Abstract

Growth physiology and yield are closely linked to the hydraulic architecture of poplars in short rotation coppice plantations. In particular, drought tolerance on sites with permanent shortage of available water is very important, yet not directly

measurable. Therefore proxy characteristics representing drought tolerance must be identified. In plant breeding, such characteristics include yield under drought conditions and physiological adaptation traits. The determination of dendromass yield for individual genotypes is difficult because, in contrast to one-year-old crops, not only does it require long-standing development trends, but it requires these data for a large number of individuals. Thus a far greater input of resources would be necessary compared to herbaceous crops. Instead annual growth ring records may be used, from which one can discern the tree growth patterns from the wood, including the ability to respond to drought years or other events. The investigation of annual growth ring or wood anatomy characteristics is also important in explanations of wood yield and wood usability. Through the degree of differences between the characteristics of accession, clones or genotypes, the genetic differences in the hydrological response can be identified and analysed in relation to site-specific plantation suitability or selection breeding.

As part of the FastWOOD project, subproject 5 aims to characterise differences in clone physiology and wood anatomy, and define their importance for the hydraulic architecture of clones and dendromass usability. In this research both proven clones and new accessions, which have been investigated in the project, were considered. Two additional research tasks will focus on identifying new, potentially more resistant poplar clones from the natural regeneration in existing stands, and reviewing past research results and literature to incorporate relevant physiological information from earlier, or less accessible sources into the current research.

The primary results from this study were the characterisation of a selection of the most important clones in Germany based on the area of established plantations. The results showed that, for the clones selected, statistically the genetic factor “clone” had a greater influence on the variability in cell length than the factor of Section. However, aspen (*Populus* Section *Populus*) differed markedly from the other clones investigated of the intersectional hybrids (*Populus* Section *Tacamahaca* × *P.* Section *Aigeiros*) and the balsam poplar hybrids (*Populus* Section *Tacamahaca*). Correlation analyses of fibre length of clones for the 2003 annual growth ring with a total yield (10-year rotation period) showed that fibre length in annual growth rings of dry growing seasons can serve as an indicator for yield potential for a particular clone.

The results of the annual growth ring width patterns in the first rotation period (10 years) indicated that aspen individuals – measured by a lesser reduction in their annual growth ring width in the drought year 2003 – are more tolerant to drought. In contrast, in well water supplied years their yield potential is lower than that of other poplars.

Keywords: *Populus*, fibre length, vessel element, hydraulic architecture, drought tolerance, juvenile wood, dendrochronology

1 Einleitung

1.1 KUP-Pappeln aus Sicht der Gehölzphysiologie

Unter dem Begriff Energiewende in Deutschland lässt sich ein gesellschaftlicher Prozess subsumieren, welcher den Wechsel der Energieversorgung hin zu erneuerbaren Quellen und weg von der Nutzung der Atomenergie bedeutet. Über die entsprechenden Gesetzespakete zum Atomausstieg und zur Energiewende hat der deutsche Bundestag am 30. Juni 2011 abgestimmt und die Beschlüsse gefasst. Mit Wirkung vom 06.08.2011 sind die Gesetze in Kraft (veröffentlicht im Bundesgesetzblatt Nr. 43 vom 05.08.2011). Auch wenn diese Gesetze eher technische Fragen unter anderem des Stromnetzausbaues, der Offshore-Windenergie oder der Energieeffizienz betreffen, kann möglicherweise auch von diesen politischen Prozessen und Entwicklungen eine beschleunigende Wirkung für die Entwicklung der Kurzumtriebsplantagen (KUP), d. h. des Interesses der Landwirte für die Nutzung von schnellwachsenden Baumarten auf Agrarflächen ausgehen. Neben den zurzeit politisch vordergründig erscheinenden Fragestellungen des Atomausstiegs sind aber die Linderung der Auswirkungen des vorhergesagten Klimawandels sowie politische Ziele zur Reduktion des Netto-CO₂-Ausstoßes, eine größere Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern bzw. Rohstoffen aber auch zum Teil dramatische Nachfrageentwicklungen im Industrie- und Energieholzmarkt in Deutschland bedeutender für die Kurzumtriebsplantagen. Alle genannten Aspekte gereichen dazu, Vorteile von KUP gegenüber anderen Biomassekulturen herauszustellen. Im Vergleich zu allen anderen landwirtschaftlichen Kulturen weisen KUP i. d. R. ein überlegenes Verhältnis von Energie-Input zu Energie-Output auf (s. SCHNEIDER 2007). Die Ursache hierfür ist eine langjährige Eingriffsruhe, in der dem System der KUP keine Energie durch Maschineneinsatz, Pflanzenschutzmittel und Dünger zugeführt werden muss, welche die Energiebilanz schmälert. Daneben kann die Beruhigung des Agrarökosystems positive Auswirkungen auf die Habitatqualität einer Reihe wilder Tier- und Pflanzenarten haben. Dendromasse, das Hauptprodukt der KUP-Kulturen, ergänzt das Holzangebot. Waldholzressourcen, welche künftig als sehr knapp angesehen werden müssen, können durch die Agrarholzproduktion entlastet werden. Parallelnutzungen von KUP-Flächen zur Haltung von Haustieren scheinen ebenfalls möglich.

Dennoch haben sich die KUP-Flächen noch nicht auf große Anbauflächen ausgeweitet, was zu einem erheblichen Teil mit ökonomischen Aspekten in Verbindung gebracht werden kann. Auch hier ist vor allem der langfristige Charakter der KUP im Vergleich mit einjährigen Kulturen zu nennen, da letztere annuelle Erträge bzw. Deckungsbeiträge von einzeln betrachteten Anbauflächen ermöglichen.

Aus Sicht der Gehölzphysiologie ergibt sich ein weiterer bedeutender Aspekt, welcher mit dem Wasserhaushalt der Pappeln (*Populus* spp.) in Verbindung steht.

Insgesamt betrachtet stehen die Netto-Biomasserträge (atro) von KUP denen von Maiskulturen oder auch anderen Kulturpflanzen etwas nach (BOEHMEL et al. 2008). Aber speziell in Bezug auf die Wassernutzungseffizienz der Biomasseproduktion mit Pappeln ist festzustellen, dass Pappeln in aller Regel mehr Wasser als Süß-Gräser (*Poaceae*) wie Mais oder *Miscanthus* transpirieren müssen, um dieselbe Menge Biomasse zu erzeugen (s. BUNGART 1999). Letztere betreiben die C4-Photosynthese, welche unter normalen Bedingungen eine überlegene intrinsische Wassernutzungseffizienz der C4-Pflanzen bewirkt. Allgemein sind daher hohe Produktivitätsraten der Gattungen *Populus* und *Salix* an einen hohen Wasserverbrauch gekoppelt (MONCLUS et al. 2005, TSCHAPLINSKI et al. 2006, ZSUFFA et al. 1996). Dieser hohe Anspruch kann jedoch auf vielen potenziell verfügbaren Anbauflächen, welche im agrarischen Anbau-Konkurrenzgefüge für Pappelanbau verfügbar gemacht werden können, dauerhaft oder zeitweilig nicht in ausreichendem Maße befriedigt werden (PETZOLD et al. 2010). Es handelt sich oft um ertragsärmere oder Grenzertragsböden, welche neben einer geringen Nährkraft (eher unproblematisch) nur eine geringe Wasserhaltefähigkeit oder schlechtere Wasserversorgung in der Vegetationsperiode aufweisen. Besonders nach dem Verpflanzen während der ersten Umtriebsphase kommt es zu Ertragseinbußen und hohen Ausfällen, wenn die Bodenfeuchte nicht ausreicht, um ein standortgemäßes Wurzelsystem auszubilden (ROBISON u. RAFFA 1998). Auf Grenzertragsböden wie beispielsweise den altpleistozänen Sanden im Norden Sachsens und Süden Brandenburgs ist eine optimale Wasserversorgung nur dann möglich, wenn die Wurzeln der Bäume das Grundwasser erreichen. Insbesondere unter den vorhergesagten Bedingungen des Klimawandels (IPCC 2007, RAHMSTORF u. SCHELLNHUBER 2006, WATSON et al. 2000) kann eine befriedigende wirtschaftliche Ertragsstabilität von KUP auf Äckern mit den derzeit zugelassenen Pappelsorten deshalb nur bei ausreichender natürlicher Wasserversorgung oder unter ergänzender Bewässerung realisiert werden.

Da die Jahrringbreiten den Volumen-Ertrag mitbestimmen und die Holzanatomie die Rohstoffeigenschaften des Holzes erklären, lassen sich aus einem Teil der von uns untersuchten Größen auch Verwertbarkeitseigenschaften ableiten.

1.2 Lösungsansätze

Vor oben erläuterten Hintergrund – aber auch zum Zwecke des schonenden Umgangs mit dem natürlichen Wasserhaushalt in Agrarlandschaften mit KUP generell – sehen wir Züchtungsbedarf mit dem Ziel einer verbesserten Toleranz gegenüber dauerhaft leichten Wasserdefiziten bzw. kurzfristigen Trockenphasen. Dabei muss das Zuchtziel als Reduktion der Ertragsausfälle unter Trockenheit definiert werden, denn viele Adaptionen von Waldbäumen an Wasserdefizite gehen sonst mit einem mehr oder weniger deutlichen Ertragsrückgang einher. Für den praktischen Pappelanbau hat unsere Arbeit zum Gegenstand, eine möglichst

genaue wasserhaushaltsphysiologische Charakterisierung vorhandener und neuer Sorten / Akzessionen ihrer Wasserhaushaltsreaktion zu erstellen.

Doch ist die Trockenheitstoleranz nicht direkt messbar und keine physikalische Größe (s. FISCHER u. MAURER 1978). Es müssen stattdessen Eigenschaften gemessen werden, welche entweder die Trockenheitsreaktionen von Bäumen reflektieren oder aber welche selbst Teil einer Anpassung sind. Zudem kann man viele – zweifelsohne sehr wichtige – Eigenschaften der hydraulischen Architektur und Physiologie oft nur exemplarisch und nur mit großem Aufwand messen, was für eine breite Anwendung in der praktischen Züchtung und die Untersuchung sehr vieler Akzessionen hemmend ist. Dazu gehören beispielsweise die Messungen der stomatären Leitfähigkeit oder der Photosyntheseleistung, aber auch die mehrjährige Biomasseentwicklung (Wägung größerer Bäume!) unter trockenen Bedingungen. Vergleichbare Messergebnisse für viele Genotypen im Blockdesign an kontrastierenden Standorten oder über die gesamte mehrjährige Wuchspanne sind aus praktischen Gründen oft nicht realisierbar.

Unsere Arbeitsgruppe hat deshalb im Laufe früherer Forschungsprojekte begonnen, sich auf die Untersuchung des so genannten Jahrringarchivs von KUP-Bäumen zu spezialisieren. In dieses Archiv „schreiben“ die Bäume Informationen über ihre Entwicklung und Reaktionen auf ihre Umwelt, so auch Trockenheit, nieder. Die holzanatomischen Eigenschaften, wie beispielsweise die Jahrringbreite oder Zelldimensionen hängen streng von den klimatischen Bedingungen ab und wurden oft als Proxies für Klimarekonstruktionen oder die Dendrochronologie genutzt (s. dazu TREYDTE et al. 2006, SCHWEINGRUBER 1988). Langjährige Messungen in-situ sind nicht nötig, denn die erforderlichen Holzproben können relativ einfach nach der Ernte gewonnen, problemlos gelagert und retrospektiv untersucht werden. Die Auswahl potenziell geeigneter Jahrringeigenschaften und die zugrunde liegenden Kriterien sind andernorts genauer beschrieben (MEYER 2010). Die im Verbund FastWOOD, Teilvorhaben 5, zur Anwendung kommenden Jahrringanalysen und holzanatomischen Untersuchungen sind im Methodenteil des folgenden Kapitels erläutert.

2 Material und Methoden

2.1 Herangehensweise und Wahl der Untersuchungseigenschaften

Pappelsorten müssen – im Gegensatz zu Weiden – entsprechend dem Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG vom 22. Mai 2002 (BGBl. I S. 1658), letzte Änderung vom 9. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1934)) zugelassen sein, wenn sie in KUP in Deutschland angebaut werden sollen. Die deutsche Registrierstelle für geprüftes (zugelassenes) Vermehrungsgut ist das Regierungspräsidium Kassel. Eine Kurzübersicht der in Deutschland zugelassenen Sorten gibt beispielsweise die Bundes-

anstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE 2008). In dieser Kurzveröffentlichung werden 58 in Deutschland zugelassene Pappelsorten der drei großen Pappel-Sektionen und intersektionaler Hybriden sowie weitere elf Sorten genannt, welche Zulassungen in anderen Mitgliedstaaten haben und von denen in Deutschland Mutterquartiere bestehen. Die Zahl der im tatsächlichen KUP-Anbau bedeutenden Sorten ist jedoch deutlich geringer, da die Verfügbarkeit geeigneter Mutterquartiere bzw. Baumschulkapazitäten je nach Sorte teils sehr beschränkt ist. Somit sind Pappelsorten nach wie vor knapp. Für die Untersuchungen im hier vorgestellten Teilvorhaben wurde eine Auswahl von Sorten getroffen, die zu den bedeutendsten im tatsächlichen Anbau gehören. Aus zwei Gründen wurde diese Auswahl vorgenommen.

Einerseits ist die Anzahl der tatsächlich wissenschaftlich nutzbaren KUP-Flächen in Deutschland begrenzt und insbesondere in älteren Beständen sind oft nur für häufige Sorten verfügbar. Andererseits sind – abgesehen vom Projekt Proloc – nur selten absolut vergleichbare Pflanzverbände vorzufinden, sodass die Chance, Sorten an mehreren Standorten in Deutschland unter vergleichbaren Pflanzabständen zu untersuchen für häufige Sorten höher ist.

Die gewählten Sorten (s. Kap. 2.2) wurden eingehend bezüglich der Radialzuwachsentwicklung, der Faser- und Gefäßgliedlängen sowie der für die Versorgung der Kronen mit Wasser besonders wichtigen Querschnittsfläche der Gefäßlumina im Holz der Jahrringe untersucht. Alle untersuchten Merkmale stehen auf klar nachvollziehbare Weise mit der Anpassungsfähigkeit bzw. Angepasstheit des Pflanzenwasserhaushaltes in Zusammenhang. Ein höchstmöglicher Ertrag unter Trockenheit (nicht das Ertragspotenzial insgesamt) ist der wichtigste Weiser für Trockenheitstoleranz in der klassischen landwirtschaftlichen Züchtung (FERNANDEZ 1992). In der forstlichen Wachstumskunde spielt der Radialzuwachs eine entscheidende Rolle bei der Ermittlung von Holzerträgen. Umgekehrt werden Jahrringbreitensequenzen im Rahmen der Dendrochronologie auch dazu genutzt, die Wasserverfügbarkeit bzw. hydroklimatische Parameter während der Entstehung des Jahrringholzes in weit zurückliegenden Zeitperioden zu rekonstruieren (TREYDTE 2002). Die Ausprägung der Faser- und Gefäßgliedlängen hängt vom Innendruck während der Differenzierung dieser Zellen und damit von der Wasserverfügbarkeit während der Kambiumaktivität ab (HSIAO 1973). Somit kann angenommen werden, dass die Zelllängen Trockenreaktionen reflektieren. Die Gefäßglieder als jene Zellen, die das System der Gefäße bilden, in welchen der Wasserferntransport in der Sprossachse realisiert wird, beeinflussen durch ihre Lumenweite auch die hydraulische Durchlässigkeit des Holzes. Sie sind deshalb – über eine bloße Reflexion der Wasserverfügbarkeit zu ihrem Entstehungszeitpunkt hinaus – auch anpassungs- sowie leistungsrelevant in Bezug auf die hydraulische Architektur der Pappelsorten.

Bei der Untersuchung dieser holzanatomischen Eigenschaften muss beachtet werden, dass sich die langlebigen Waldbaumarten bestimmten Entwicklungstrends

folgend verändern. Beispielsweise ändern sich die physiologisch relevanten Holzmerkmale und Jahrringzuwächse mit zunehmendem Kambiumalter während der frühen Entwicklung der ersten Jahre, der so genannten Juvenilitätsphase, typischen Trends folgend (CARLQUIST 2001, KRAMER u. AKÇA 2002, KRAMER u. KOZLOWSKI 1979, ZOBEL u. VAN BUIJTENEN 1989). Um die Wirkung von Trockenheit zu verstehen, müssen die Veränderungen von Untersuchungseigenschaften im Jahrringarchiv von Bäumen immer im Kontext der Wechselwirkungen von Effekten der Trockenperioden und des Kambiumalters betrachtet werden. Das gilt insbesondere für KUP-Bäume, da der überwiegende Teil der Umtriebszeit von KUP in die juvenile Phase fällt. In unseren Arbeiten richten wir viele Untersuchungen auf diejenigen Jahrringe aus, welche in trockenen Vegetationsperioden bzw. in kontrastierenden „Normal-“ Perioden gebildet worden sind. Es wird untersucht, wie sich der Einfluss der Trockenperioden auf die Holzeigenschaften des zugehörigen Jahrringes aber auch auf die weiteren Verläufe der Juvenilitätstrends auswirkt. Dadurch ergibt sich ein Eindruck vom Ertragspotenzial und der Fähigkeit zu kurz- und langfristiger Anpassung der Bäume an trockene Standorte.

Insbesondere das Jahr 2003 war in Deutschland, aber auch auf der gesamten nördlichen Erdhalbkugel von einer lang anhaltenden und außergewöhnlich starken Sommerdürre gekennzeichnet (CIAIS et al. 2005; KÜCHLER 2004; REBETEZ et al. 2006). Im östlichen Deutschland waren davon auch Grundwasserleiter stark betroffen. Aus diesem Grunde können die im Jahr 2003 gebildeten Jahrringe als besonders interessant und aussagekräftig gelten. Dazu kontrastierend kann die vorhergehende Vegetationsperiode 2002 als normal bis gut wasserversorgt beschrieben werden. Insbesondere ein Starkregenereignis im August des Jahres 2002 in Sachsen sorgte in diesem Bundesland für ein kurzfristiges Verfügbarwerden von größeren Wassermengen in den Grundwasserleitern.

Darüber hinaus muss beachtet werden, dass es auch innerhalb von Trieben bzw. Stämmen sehr deutliche räumliche Unterschiede in der Ausprägung der Holzeigenschaften gibt. So sind beispielsweise die Unterschiede zwischen verschiedenen orientierten radialen Richtungen im Stammquerschnitt, aber auch zwischen verschiedenen Stammhöhen bekannt. Um vergleichbare Messergebnisse erzielen zu können, muss dabei auf eine absolut einheitliche Beprobung geachtet werden (s. Abschnitt 2.3). Die Ausbildung von Reaktionsholz als Ursache für radiale stamminterne Unterschiede ist weitestgehend bekannt und ist wesentlich von der Hauptwindrichtung abhängig. Pappeln zeigen dabei, wie Laubbäume im Allgemeinen, die Ausbildung von Zugholz auf der Luvseite des Stammes (in Deutschland in der Regel West bis Südwest). Dagegen sind Gesetzmäßigkeiten über Unterschiede der Holz Anatomie, welche sich zwischen nördlich und südlich orientierten Rädien ergeben, nur wenig untersucht. Da diese Unterschiede bei der Nutzung von holz-anatomischen Eigenschaften als Proxies für Trockenheitstoleranz von KUP-Bäumen möglicherweise ebenfalls Beachtung finden müssen, wurde diesen bei der Charakterisierung der Pappelsorten besonderes Augenmerk geschenkt.

2.2 Sortenmaterial und Standortbedingungen

Der für das Teilvorhaben wichtigste und als Referenz dienende Probenatz stammt von einer inzwischen rückumgewandelten KUP in Methau (Gemeinde Zettlitz, Kreis Mittelsachsen), welche im Rahmen eines anderen Projektes des Verbundpartners Staatsbetrieb Sachsenforst (Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft in Graupa, Referat Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung) im Frühjahr 1999 angelegt worden war (WOLF u. BÖNISCH 2004). Untersucht wurden von jeder Sorte sieben bis zehn Bäume, welche im selben Pflanzverband sortenrein gepflanzt und nach wissenschaftlichen Kriterien ausgewählt worden waren. Die Sortenauswahl setzte sich aus drei *Populus*-Hybridklonsorten mit inter-sektionaler genetischer Abstammung (*Tacamabaca* × *Aigeiros*), vier intra-sektionalen Balsampappelhybridsorten (*Tacamabaca*) sowie zwei Vollgeschwister- bzw. Vollgeschwister-Klonmischsorten der Sektion *Populus* (Aspen- und Weiß-Pappeln) zusammen. Die Sortengruppierung kann auch auf andere Weise erfolgen. So handelt es sich bei den neun Sorten um sieben Hybridpappel-Klonsorten (*Populus* spp. cv. ‚Androscoggin‘, ‚Hybride 275‘ (syn. ‚NE 42‘), ‚Max 1‘, ‚Max 4‘, ‚Matrix 21‘, ‚Muhle Larsen‘, ‚Rochester‘) sowie zwei zusätzliche Aspensorten (*Populus* Sektion *Populus*, cv. ‚Graupa III‘ und cv. ‚Münden 1-20‘). Je Sorte wurden sieben bis zehn Bäume untersucht.

Methau befindet sich im Naturraum des Mittelsächsischen Löß-Hügellandes, einer überwiegend von Agrarlandschaft geprägten Region Mitteldeutschlands. Diese Region profitiert von vergleichsweise guten, jedoch nicht besten Böden und einem mittleren Jahresniederschlag von 770 mm. Eine eingehende Standortbeschreibung findet sich bei anderen Autoren (PETZOLD et al. 2010). Wie bereits erwähnt, war die Vegetationsperiode 2003 am Standort Methau von extremen Abweichungen vom langjährigen Mittel der klimatischen Wasserbilanz, bzw. genauer, durch Dürre gekennzeichnet (KÜCHLER 2004). Für die KUP-Bäume in Methau stellten sich daher die Jahre 2002 und 2003 als aufeinander folgende Vegetationsperioden mit kontrastierender Wasserversorgung dar. Diese Vegetationsperioden fallen für die untersuchten Bäume mit ihrem fünften bzw. sechsten Lebensjahr (Kambiumalter) zusammen, wobei die beiden Aspensorten ein Jahr älter waren. Sie waren aus Saatgut in der Baumschule seit 1998 aufgezogen, die Bestände der übrigen Sorten mit Steckhölzern begründet worden. Insgesamt vollzogen die Bäume bis zu Ihrem vierten bzw. fünften Lebensjahr eine eher normale juvenile Entwicklung für Deutschland sowie eine schwerwiegende Störung des Wasserhaushaltes im Jahr 2003.

2.3 Holzprobengewinnung

Von den Versuchsbäumen wurden Stammfußscheiben, bzw. –stücke in etwa 10 cm über dem Boden, jedoch über dem Wurzelanlauf gewonnen. Dadurch wird einerseits eine Beprobung einer einheitlichen und damit wissenschaftlich vergleich-

baren Stammposition sichergestellt und andererseits, dass sämtliche vom Baum angelegten Jahrringe untersucht werden können. Auch können die Proben vergleichsweise einfach während oder sogar nach der Ernte von den Stöcken entnommen werden. Oberseiten und Nordpfeil wurden auf jeder Stammscheibe markiert um gleich orientierte Proberiegel ausformen zu können. Von den Proberiegeln (s. Abb. 1) wurden mikroskopische Holzquerschnittspräparate über die beiden Radien bzw. deren Abschnitte gefertigt. Damit konnten die Gefäßlumina und etwaige holzanatomische Besonderheiten der Jahrringbildung untersucht werden. Auch ca. 0,5 mm starke Radialschnitte (durch das Mark gehend) wurden mit einer Zwillingsskreissäge (Dendrocult, Walesch Electronic GmbH, Effretikon, Schweiz) gefertigt. Von diesen wurden die Jahrringabschnitte mit einem Skalpell separiert und einzeln für die Zelllängenuntersuchungen mazeriert. Als Mazerationreagens zur Auflösung des Holzzellverbandes diente die Jeffrey'sche Mazerationlösung (TRENDELENBURG u. MAYER-WEGELIN 1955).

Die Messungen und Datenauswertungen erfolgten für alle Untersuchungsmerkmale teilautomatisch unter Zuhilfenahme spezieller Softwareprogramme aus dem Bereich der Dendrochronologie, Holzanatomie bzw. botanischen Mikroskopie (LINTAB Messtisch, Fa. Rinntech, Heidelberg; WinCELL, Fa. Regent Instruments, Québec, Kanada; Zeiss Axiovision AC, Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Jena).

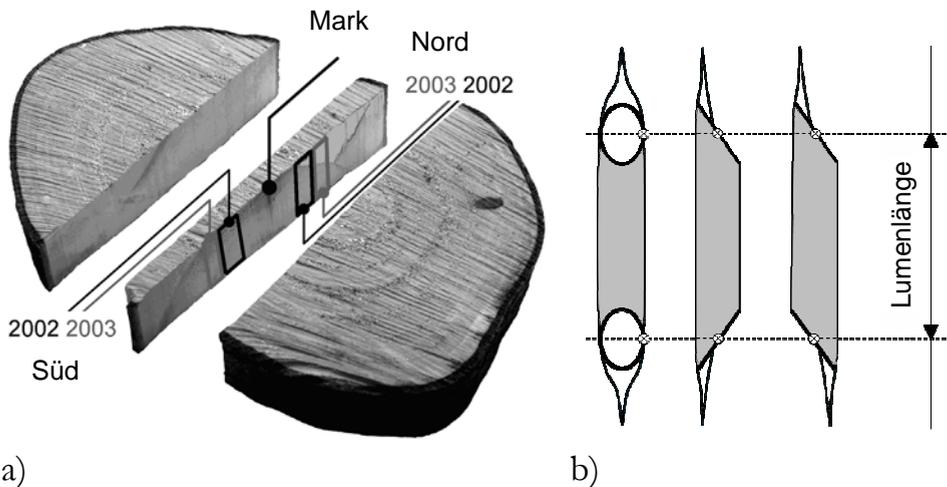


Abbildung 1: a) Schema der Präparation jahrringspezifischer Holzproben (nördlich oder südlich orientiert) für die Jahrringe 2002 and 2003. b) Schema der Gefäßzelllumen-Längenmessung ohne Einbeziehung der Gefäßzell-Enden. Damit wird ausschließlich der hydraulisch wirksame Bereich der Gefäßzell-Lumina betrachtet.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Radialzuwachs

Die erste Untersuchung, die am Querschnitt der Stammscheiben durchgeführt wurde, ist die Messung der Radialzuwächse (i_r) sowie der Mark- und Rindendicken getrennt nach Himmelsrichtungen. Die Ergebnisse für die i_r weisen für die Sorten unterschiedliche mittlere Entwicklungstrends auf (s. Abb. 2). Der Kulminationszeitpunkt der i_r liegt bereits im Jahr 2002, danach sinken die Radialzuwächse generell ab, was einerseits durch das Eintreten des Bestandesschlusses, andererseits durch den gesetzmäßigen Juvenilitätstrend und den Einfluss des Kambiumalters zu erklären ist. In den folgenden Jahren heben sich in allen Sorten die Jahre 2003 und 2006 durch deutlich niedrigere Radialzuwächse ab. In beiden Fällen handelt es sich um Extremjahre, die Sommerdürren aufgewiesen haben. Weitaus weniger stark oszillieren die Werte der Aspenarten (*Populus* Sektion *Populus*) „Graupa III“ und „Münden 1-20“ sowohl in Bezug auf die i_r -Steigerung in guten Wuchsjahren als auch in Bezug auf den i_r -Einbruch in Trockenjahren. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Aspen zwar ein geringeres Ertragspotenzial als die ertragreichen Hybridpappelsorten anderer Sektionen haben, jedoch zumindest am Untersuchungsstandort eine bessere Trockenheitstoleranz in den Jahren 2003 und 2006 vorweisen können. Im Dürrejahr („Jahrhundertssommer“) 2003 hatten die Aspen sogar den höchsten Radialzuwachs aller Sorten.

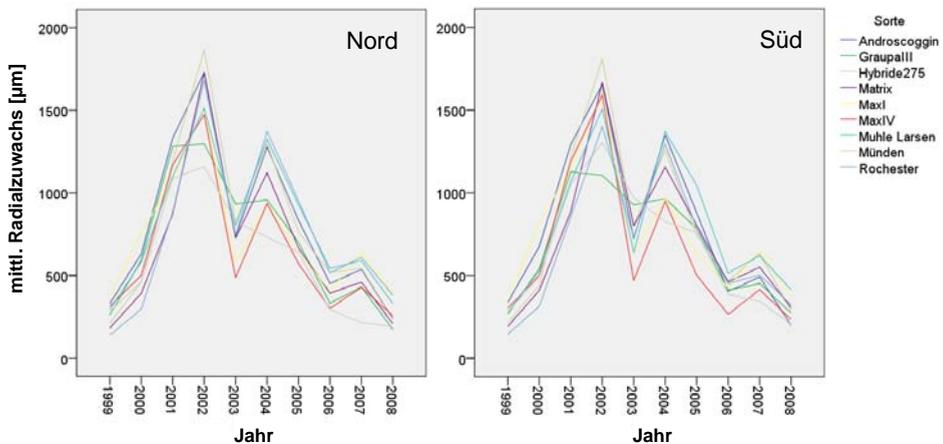


Abbildung 2: Mittlere Radialzuwächse (in μm) 1999 bis 2008 von zwei Aspenarten („Graupa III“ und „Münden 1 bis 20“) sowie sieben Pappelsorten anderer Sektionen der Gattung *Populus* getrennt nach nördlicher und südlicher Radialrichtung auf den Stammscheiben. Stichprobenumfang je Sorte = 10. Standort: Versuchs-KUP „Methau 2“ (Gemeinde Zettlitz, Sachsen).

Erklärbar wäre dies beispielsweise durch einen besseren Schutz des Xylems der Aspen als desjenigen der Pappeln anderer Sektionen vor Embolien bei extrem negativen Wasserpotenzialen (BLAKE et al. 1996). Aspen sind außerdem nicht azonal entlang von Flussökosystemen verbreitet, sondern erreichen auf der Nordhalbkugel, besonders auf Brachen, in ruderalen Sukzessionsfluren und Waldrändern bzw. -lücken eine flächendeckende Verbreitung. Diese Fähigkeit, auch trockenere Standorte zu besiedeln, dürfte auf eine größere Unabhängigkeit von der Bodenwasserverfügbarkeit als bei anderen Pappeln zurückzuführen sein (THÜMMLER 1957). In Taigawäldern können sie sogar waldbildend und sehr viel älter und stärker als in Mitteleuropa werden (LATVA-KARJANMAA et al. 2007, SMILGA 1986).

Inwieweit eine unterschiedliche Bestandesbegründung (Aspe: Sämlinge; übrige Pappeln: Steckholz) einen Einfluss auf die Jahrringentwicklung genommen hat, konnte bisher nicht geklärt werden. Unterschiede in den Radialzuwächsen zwischen Nord und Süd wurden nicht ersichtlich.

3.2 Längen der Libriformfaser- und Gefäßgliedzellen

Ein zentrales Ergebnis ist, dass die statistische Effektstärke des Faktors „Sorte“ größer in der Gruppe der untersuchten Sorten ist als diejenige des Faktors „Botanische Sektion“. Die Ergebnisse, insbesondere für die Jahrringe 2002 und 2003 ergaben sehr deutliche Sortenunterschiede, zum einen in der Veränderung der Faser- und Gefäßgliedlängen (FL und GL) vom Jahrring 2002 zum Jahrring 2003 und zum anderen in dem Verhältnis der FL und GL zwischen den nördlich und südlich in der Stammscheibe ausgerichteten Radialproben (s. Abb. 3). Es war ursprünglich erwartet worden, dass sich die Sorteneffekte auf die mittleren Faserzelllängen der Bäume den Effekten der Artzugehörigkeit oder zumindest der Sektionszugehörigkeit unterordnen lassen. Das konnte für den bisherigen Umfang an Sorten nicht bestätigt werden. Bereits zwischen den beiden untersuchten Sorten der Sektion der Zitterpappeln („Graupa III“ und „Münden 1 bis 20“) unterschieden sich die sortenspezifischen Zelllängenwerte sehr deutlich. Die Unterschiede dieser Sorten zwischen den nord- und den südexponierten Proben ist sowohl bei Fasern als auch bei Gefäßgliedern gering. Größere Unterschiede zwischen Nord und Süd waren nur bei wenigen Sorten, jedoch auch nicht immer konsequent in beiden Jahrringen (2002 und 2003) zu beobachten (siehe Faserlänge „Max 1“ 2002 und 2003; „Muhle Larsen“ 2002).

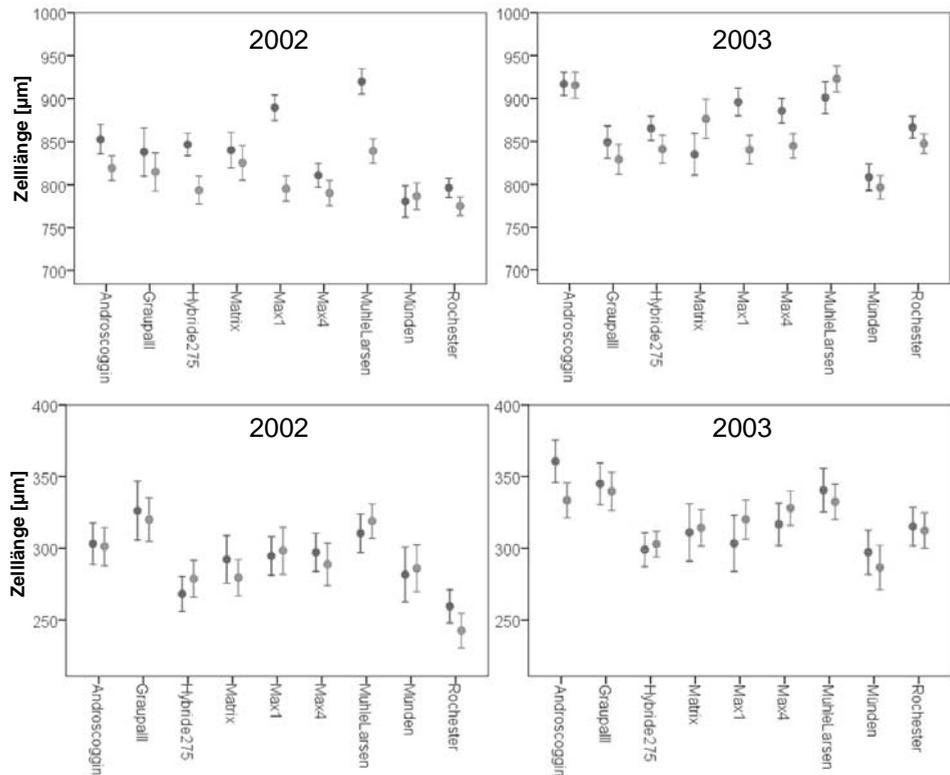


Abbildung 3: Ergebnisse der Faserzell- (obere Diagramme) und Gefäßgliedlängenuntersuchungen (untere Diagramme) zu den verschiedenen Pappelsorten in Stammfußnähe (Jahringproben 2002 und 2003 in ca. 10 cm Höhe und über dem Wurzelanlauf, entsprechend Kambiumalter 5 und 6). Hellgrau: Mittelwert mit 95%-Konfidenzintervall für südexponierte Radialproben. Dunkelgrau: zu hellgrau korrespondierende Werte für nordexponierte Radialproben. Wuchsort der Bäume: Versuchs-KUP „Metbau 2“ (Gemeinde Zettlitz, Sachsen)

Einen signifikanten Nord-Süd-Unterschied gab es nur bei der Sorte ‚Max 1‘ im Jahring 2002. Doch wiesen die drei Sorten ‚Max 1‘, ‚Max 4‘ und ‚Rochester‘ der Gruppe der inter-sektionalen Hybridsorten (*Populus* spp., Sektion *Tacamahaca* \times *Aigeiros*) im Mittel kürzere Faserzellen in den südexponierten Jahringproben 2002 und 2003 auf. Für die Gefäßgliedlängenwerte aller Sorten konnte dagegen festgestellt werden, dass es keine Unterschiede zwischen Nord und Süd gegeben hat.

Eine weitere Erkenntnis ist ebenfalls für alle Sorten aber auch für beide Zellarten ersichtlich: Obwohl im Jahr 2003 ein klarer Dürrestresseffekt anhand der Radialzuwachsbrüche belegt werden konnte (Ergebnisse zu Radialzuwachsen im vorhergehenden Zwischenbericht), stiegen die mittleren Zelllängenwerte an. Das steht im Kontrast dazu, dass sich die Zellen unter Trockenheit kleiner ausdifferenzieren, da bei schlechter Wasserversorgung der Zellinnendruck schwächer ausfällt.

Die hierzu abweichenden Ergebnisse lassen sich auf die Juvenilität der Bäume zurückführen. Dem Juvenilitätstrend folgend stiegen die mittleren Zelllängenwerte an. Dieser Trend wurde im Gegensatz zu den belegten Radialzuwachsbrüchen nicht durch die Trockenheitseffekte übertroffen, sondern nur gedämpft. So „zeichnet“ der Radialzuwachs unter Trockenheit offensichtlich stärker als die Zelllängen. Das könnte bedeuten, dass Zelllängenmessungen in Jahrringen von Bäumen, die standortbedingt nicht ihre volle Leistung entfalten konnten, einen Hinweis auf ihr tatsächliches Ertragspotenzial an guten Standorten liefern.

Im Verhältnis der Sorten untereinander lässt sich für einige sagen, dass sie Unterschiede in ihrer Reaktion der Zelllängen auf Trockenheit zeigten. So wies ‚Androscoggin‘ bei recht einheitlichen Zelllängen in Nord und Süd den deutlichsten Zelllängenanstieg von 2002 zu 2003 auf. Da auch der Radialzuwachs im Dürrejahr 2003 tendenziell zu den besseren gehörte, kann gefolgert werden, dass dieser Klon ein im Sinne eines besseren Ertrages unter trockenen Bedingungen gutes Ergebnis erzielte. Diese Sorte scheint darüber hinaus generell etwas längere Fasern aufzuweisen, wie unsere Untersuchungen an Material von Standorten anderer Verbundpartner ergaben. Die Sorte ‚Hybride 275‘ zeigte mit leicht kürzeren Fasern aber längeren Gefäßgliedern im südexponierten Stammteil ebenfalls einen deutlichen Anstieg der Zelllängen im Ring 2003. Auch hier kann mit ergänzendem Blick auf die Radialentwicklung von einer nicht ungeeigneten Sorte für die untersuchten Standorteigenschaften einschließlich der Dürreperiode 2003 ausgegangen werden. In wieweit diese Erkenntnisse auf andere Standorte übertragbar sind, ist noch schwer abzuschätzen. Eindeutige Vergleiche dazu können im Folgeprojekt erwartet werden.

Anhand der Faser- und Gefäßgliedlängendaten (Fl, Gl) für die Jahrringe 2002 und 2003 wurden Varianzanalysen durchgeführt, bei denen die Effektstärken jeweils dreier fester Faktoren geschätzt wurden. In jeder Varianzanalyse wurden die Faktoren ‚Himmelsrichtung‘ (Faktorstufen ‚Nord‘ oder ‚Süd‘), ‚Jahr‘ (‚2002‘ oder ‚2003‘) sowie ein genetischer Faktor festgelegt. Als genetischer Faktor wurde entweder der Faktor ‚Sorte‘ oder aber ‚Sektionszugehörigkeit‘ gewählt. In jedem Paar der sich ergebenden Varianzanalysen war der Effekt der Sektionszugehörigkeit geringer. Beispielsweise erklärte der Faktor ‚Sorte‘ 16,1 % der Variation der Fl-Daten. Der Faktor ‚Sektionszugehörigkeit‘ erklärte 6,4 %. Die Effektstärken der übrigen Faktoren blieben dabei in etwa gleich. Die Himmelsrichtung nahm dabei nahezu keinen Einfluss, der Faktor ‚Jahr‘ hingegen erklärte etwa 9 % der Variation bei beschriebener Faktorenkombination.

Weiterhin wurden Korrelationsanalysen für die Variablenpaare aus ‚Fl-Jahrringmittel‘ und ‚Radialzuwachs‘ bzw. ‚Fl-Jahrringmittel und ‚Nord-Süd-Durchmesser‘ durchgeführt. Dabei ergab sich für den Jahrring 2003 ein signifikanter Zusammenhang mit einem Korrelationskoeffizienten $r = 0,710$ (Fl Nord) bzw. $r = 0,709$ (Fl Süd). Korrelationen zwischen den korrespondierenden Werten aus ‚Fl-Jahrringmittel‘ und ‚Radialzuwachs‘ konnten jedoch nicht wenig nachgewie-

sen werden. Die Korrelationen für die FI-Jahringmittel 2002 waren deutlich geringer ausgeprägt als für 2003. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass die mittlere Faserlänge in Jahrringen, welche unter sehr trockenen Bedingungen angelegt worden sind, ein Weiser sein könnte, der mit dem allgemeinen Ertragspotential einer Sorte, zumindest jedoch mit dem Stammfußdurchmesser am Ende einer mittleren Umtriebszeit korrespondiert.

Aus dem insgesamt uneinheitlichen Zelllängen-Verhalten der Sorten – auch unabhängig von ihrer Sektionszugehörigkeit – kann geschlossen werden, dass sich innerhalb der bekannten zugelassenen Sorten, aber erst recht in künftig zu sammelnden bzw. neu zu züchtenden Akzessionen vielfältige faserbezogene Sorteneigenschaften entwickeln lassen. Das bedeutet weiterhin, dass wenn künftig im KUP-Anbau eine bestimmte Zelleigenschaft, wie zum Beispiel eine bestimmte Holzfaserlängenentwicklung, gewünscht ist, nicht automatisch der Anbau nur einer bestimmten Pappelart in Monokultur erforderlich sein muss. Vielmehr scheint sich eine Perspektive zu ergeben, mehrere verschiedene Sorten / Klone mit verschiedenem Arthintergrund und mit vergleichbaren Eigenschaften bereitstellen zu können. Dies wiederum würde die Betriebssicherheit der KUP erhöhen, denn eine Erhöhung der genetischen Bestandesvariabilität von KUP bedeutet auch uneinheitliche Resistenzeigenschaften oder Widerstandskraft gegen ungenügende Standortbedingungen. Auf den Gesamtbestand bezogen würde daher bei Eintreten der widrigen Umstände wie Parasitenbefall oder Trockenheit nur ein Teil der Bäume, nicht aber der gesamte Bestand ausfallen.

3.3 Gefäßlumenquerschnittsfläche

Die Untersuchung der Gefäßquerschnittsflächen in den Jahrringen der Bäume hat zum Ziel, Unterschiede in der Gestaltung der Leitfähigkeit des Xylems für den Saftstrom zu erfassen. Prinzipiell wurden im Teilvorhaben dieselben Bäume wie bei den übrigen holzanatomischen Analysen die Jahrringe 2002 und 2003 bearbeitet. Das Schneiden, Färben, mikroskopische Fotografieren und die computergestützte Nachbearbeitung der Dateien sowie die Auswertung der Querschnittsfotografien mit Software aus der Dendrochronologie zur Bildmustererkennung (s. Abb. 4) sind inzwischen als Standardmethodik für die KUP-Bäume in unserer Arbeitsgruppe etabliert.

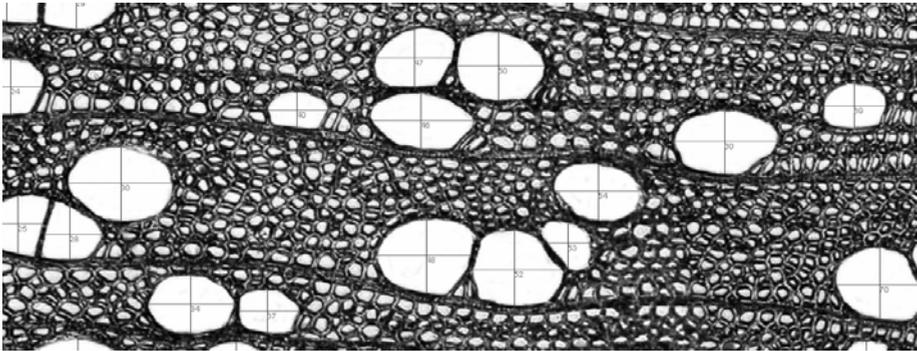


Abbildung 4: Ausschnitt aus einer fertig analysierten Bilddatei eines mikroskopischen Jahrring-Querschnittsfotos. Die Software WinCELL (Regent Instruments, Québec, Kanada) erkennt Gefäßlumensflächen. Anhand weiterer Algorithmen werden deren Flächeninhalte und Schwerpunkte bestimmt.

Die Grundlagen und Ziele der Holzquerschnittsanalyse können wie folgt zusammengefasst werden:

Der Querschnitt der Gefäßlumina und damit die Wasserleitfähigkeit der Gefäßzellen ist von der Wasserverfügbarkeit und dem Zellinnendruck bei der Differenzierung des Holzes abhängig. Entscheidend für den Ertrag einer Sorte oder Akzession ist die Reaktion ihrer Holz Anatomie bezüglich ihrer Saftstromleitung, mit der der Ferntransport von Wasser aus der Wurzel zum Transpirationsort an den Blättern gewährleistet wird. Mit der vierten Potenz der Gefäßlumensradien steigt die Durchlässigkeit für den Saftstrom zur Krone. Aber es steigt dabei auch die Gefährdung für Embolien, also für das Eindringen von Luft in die Gefäße bei Wassermangel. Sicherheit vor Embolien ist besser bei kleineren Gefäßen gewährleistet. Somit stehen Sicherheit und Effizienz in einer Wechselbeziehung und ergeben spezifische hydraulische Architekturen, die sich zwischen einzelnen Arten, Sektionen und Genotypen unterscheiden (s. RUST 1999).

Ein bestmöglicher Schutz vor Embolien in Verbindung mit einer effizienten Saftstromleitung ist ganz besonders auf Anbauflächen mit dauerhaft defizitärer Wasserversorgung und dem Vorkommen temporärer Dürren von Nöten. Die dahingehende Charakterisierung wesentlicher etablierter und im Projekt neu gezüchteter Akzessionen sowie ein Beitrag zur Optimierung der Trockenheitsreaktion der KUP ist unser Untersuchungsziel. Ähnlich den intra-annualen Trends und Juvenilitätstrends der Zelllängen (siehe Kap. 3.2) müssen auch bei der Gefäßlumenquerschnittsfläche Trends beachtet werden. Der intra-annuelle Trend, insbesondere in jenen Jahrringabschnitten, welche in sommerlichen Phasen unter teilweisem Wassermangel gebildet wurden, kann Aufschluss über die Trockenheitstoleranz einer Akzession bieten.

Abbildung 5 vermittelt einen Eindruck von den mittleren intra-annualen Trends der Sorten ‚Rochester‘ und ‚Münden 1 bis 20‘, die in den Bäumen auf der

Versuchsplantage „Methau II“ ermittelt wurden. Erstere ist eine intersektionale Hybridklonsorte (*P. maximowiczii* × *P. nigra* var. *plantierensis*), letztere eine Klonmischsorte der Aspen-Hybridklone ‚Münden 1‘ bis ‚Münden 20‘ (Sektion *Populus*). Um die Vergleichbarkeit der Entfernung der Gefäße vom Jahrringbeginn zu ermöglichen, musste diese Entfernung relativiert, das bedeutet prozentual bezogen auf die Jahrringweite abgebildet werden (PARK et al. 2006). In die Mittelwertkurve flossen alle in den Querschnitten vorhandenen Gefäßlumenquerschnittsflächen der für die Sorten untersuchten Bäume ein (Bäume je Sorte: n = 7 bzw. n = 10). Gemessen wurde beginnend am Frühholzbeginn und endend an der Jahrringgrenze am Spätholz. Die Mittelung in einem Jahrringsegment erfolgte gleitend über die Gefäße mit aufeinander folgenden Entfernungswerten vom Jahrringbeginn. Prinzipiell wurde ersichtlich, dass es durchaus einen parallelen Verlauf der Gefäßlumenentwicklung zwischen beiden Sorten im Jahresverlauf gibt. Dieser lag für die Bäume der Sorte ‚Münden 1 bis 20‘ teils deutlich (ca. 20 %) unter dem der ‚Rochester‘-Bäume. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine sorten- oder sektionstypische hydraulische Architektur zurückzuführen.

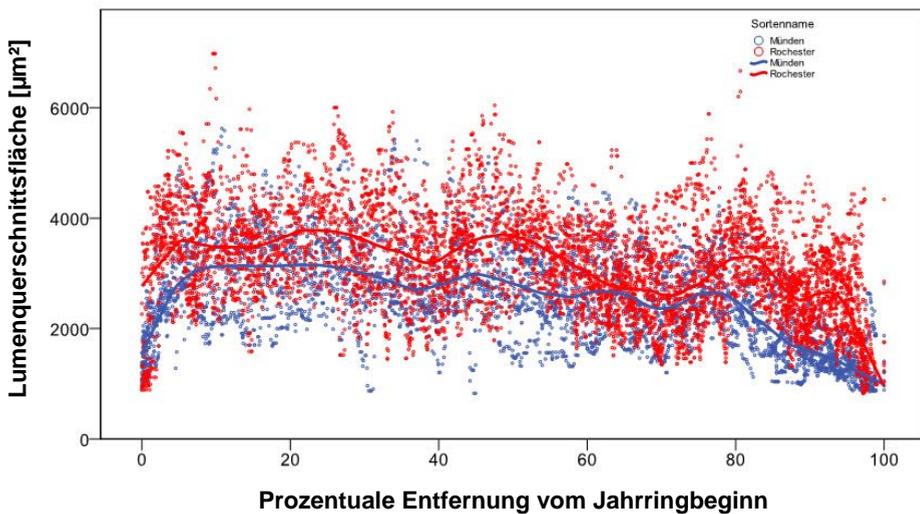


Abbildung 5: Mittlere intra-annuelle Trends der Gefäßlumenquerschnittsfläche für jeweils mehrere einfließende Bäume der Sorten ‚Münden 1 bis 20‘ (blau) und ‚Rochester‘ (rot). Eingehende Jahrringe sind 2002 und 2003. Punkte zeigen Lage und Lumenquerschnittsflächen der Einzelgefäße.

Untersuchungen der Gleichläufigkeit der Kurven sind in der dendrochronologischen Bearbeitung intra-annueller Trends noch nicht fest etabliert, da es sich hierbei um ein in der Entwicklung befindliches Gebiet handelt. Insbesondere scheint die Frage der Intensität des Zellwachstums Probleme zu bereiten. Dankenswerterweise konnten wir Einsicht in Daten aus Permanent-Umfangmessungen an wenigen Bäumen der Sorte ‚Max 1‘ in der Plantage „Methau II“ von

Juli bis Oktober 2008 nehmen (PETZOLD pers. Komm. und PETZOLD et al. 2010). Darin wurde für die Bäume ein sehr einheitliches Timing der Reaktion der Umfangentwicklung auf Wasserverfügbarkeit sichtbar. Doch schon innerhalb dieser kleinen Gruppe sechs genetisch identischer Bäume (Klonsorte ‚Max 1‘) war das auf die Niederschlagsereignisse gleichzeitig folgende Umfangwachstum unterschiedlich stark ausgeprägt. Dieser Effekt erschwert das intra-annuelle Datieren von Messdatenreihen wie den für Gefäßlumenquerschnittsflächen.

Möglicherweise erscheint der Gefäßlumenquerschnittstrend im Jahrringholz der Sorte ‚Rochester‘ gegenüber ‚Münden 1 bis 20‘ deshalb auch etwas nach hinten versetzt. Um die Lösung dieses Problems bemühen wir uns auch im Austausch mit dendrochronologischen und standortkundlichen Arbeitsgruppen anderer Institutionen. Die bisherige Haupte Erkenntnis der vorliegenden Untersuchungen ist in der oben beschriebenen Unterschiedlichkeit vor allem der Aspen (*Populus* Sektion *Populus*) von den Sorten anderer Sektionen (*Populus* Sektion *Tacamahaca*, Sektion *Aigeiros*) zu sehen.

3.4 Sammlung neuen Pflanzenmaterials und dessen Etablierung

Nachfolgend sind die wichtigsten Hintergründe und Vorgehensweisen beschrieben:

Grundgedanke ist, dass die seit mehr als 100 Jahren in Deutschland angebaute Pappel-(Hybrid-)Sorten untereinander und mit heimischem Material hybridisierten und sich verjüngt haben. Die überlebenden Individuen der aufgelaufenen Naturverjüngung müssen unter hiesigen Bedingungen dem durch Standort, Witterung und Schädlinge vorgegebenen Selektionsdruck widerstanden haben. Sie sind daher hypothetisch als Partner mit größerer Robustheit für das Kreuzen mit elitären jedoch weniger widerstandsfähigen Akzessionen anzusehen. Besonders die Naturverjüngung an schwierigen Standorten lässt geeignete Eigenschaften erwarten. So wurden Zielregionen unter Zuhilfenahme von Datenbanken, im Internet öffentlich zugänglicher Satellitenbilder und Literatur vornehmlich im klimatisch kontinentalen und standörtlich schwächeren Norden und Osten Deutschlands aber auch am Oberrhein gewählt. Auf vielen Freiflächenarten wurde beprobt, so beispielsweise in Tagebaurestflächen, auf Industriebrachen oder ehemaligen Bahnanlagen mit offenen, zumeist mineralischen Bodenoberflächen, auf denen Pappeln zumindest keimen und überleben können. Im laufenden Projektjahr 2011 wurde die Suche verstärkt auf Kiestagebaue konzentriert, die möglichst im Kerngebiet Wasserflächen des Nassabbaues aufweisen, weil beobachtet worden war, dass sich hier am ehesten (offensichtlich aus wind- und wasserverbreiteten Diasporen) aufgelaufene Naturverjüngung finden lässt. In diesem Jahr wurde in solchen Tagebaubiotopen auch erstmalig flächendeckend aufgelaufene Naturverjüngung der *Salicaceae* (Weiden, *Salix* spp. und Pappeln, *Populus* spp.) vorgefunden. Dabei gab es im nordöstlichen Deutschland nahezu ausschließlich Weiden und einige Zitterpappeln

(*P. tremula*) in den vorgefundenen Pionierbeständen der natürlichen Sukzession in Mischung mit Birke und Kiefer. Im Oberrheingraben wurden ebenfalls in etwa gleichteiliger Mischung mit Weiden und einigen Silber-Pappeln (*Populus alba*) vor allem Pappeln gefunden, die den äußeren Merkmalen nach den *Populus*-Sektionen *Tacamahaca* und/oder *Aigeiros* zuzuordnen sind.

Dank der Genehmigung des Eigentümers in einem dem Rhein nahen Kies- tagebauggebiet konnten wir in Uferlage Jungpflanzen werben und in die Versuchs- baumschule überführen. Es konnten knapp 100 gut bewurzelte Pappeljung- pflanzen in Töpfen ausgepflanzt werden. Die Jungbäume wurden ähnlich den geworbenen Stecklingen der beprobten älteren Naturverjüngung aufgezogen und werden im Falle guter Wuchseigenschaften zur weiteren Versuchsvermehrung verwendet und später holzanatomisch-physiologisch charakterisiert werden. Jedoch zeigte sich unter den sächsischen Bedingungen ein sehr starker Blattrost-Befall (*Melampsora* sp.). Auch das geworbene Stecklingsmaterial liegt oft durch die schwierige Situation am Naturstandort in keiner besonders guten Pflanzenqualität vor, sodass das Material zunächst vermehrt und im Gewächshaus etabliert werden muss.

Da der Ursprung des gesammelten Materials nicht gesichert ist und das Pappelmaterial beispielsweise als kleines Wurzelstück mit Baufahrzeugen unbeab- sichtigt verbracht worden sein kann, wurden alle Proben zur DNA-Extraktion bereitgestellt und die DNA zu Identitätsanalysen an Partner im Projekt übergeben.

Die Stecklinge wurden vermessen (unterer und oberer Mindestdurchmesser, Länge etc.) und nach vorheriger Position des Steckholzes im einjährigen Zweig kategorisiert (nicht basal oder terminal (= „normal“), „terminal“, „basal“). Die Auf- zucht erfolgte im Gewächshaus des Versuchs- und Lehrobjektes Hetzdorf der TU Dresden (Inst. für Waldbau). Im Frühsommer beginnend wurden die Bäume zur Abhärtung in einem Schattenkamp untergebracht. Die Bewässerung wurde lang- sam abnehmend den natürlichen Gegebenheiten angeglichen. Im Spätsommer wurde unter Mithilfe des Land- und Forstwirtschaftsbetriebes Uhlemann (Tham- menhain, Kreis Nordsachsen) auf dessen freundlichst zur Verfügung gestellter Ackerfläche ein erster Versuchsanbau angelegt. Ziel des Versuchs ist, unter gegeb- en Standortbedingungen die Anwuchserfolge und Überlebenschancen zu beob- achten sowie die Wuchsleistung zu evaluieren. Von diesem Material können wieder- um Stecklinge gewonnen werden, sofern sich das Material als vielversprechend und genetisch nicht identisch zu vorhandenen Sorten herausstellt. Beim Pflanzen wurde jede bewurzelte Stecklingspflanze erneut vermessen, um vorläufig festzu- stellen, mit welcher Art von Stecklingsmaterial aus der Naturverjüngung die besten Erfolge der Etablierung zu gewährleisten sind. Die Ergebnisse sind auszugsweise nachfolgend dargestellt (s. Abb. 6).

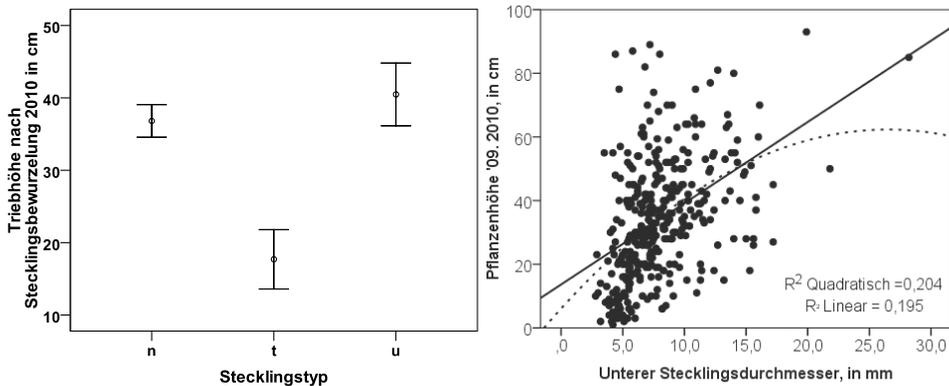


Abbildung 6: Daten für bewurzelte Stecklingspflanzen nach Topfetaablierung. Linkes Diagramm: Triebhöhen der bewurzelten Stecklingspflanzen gegen Ende des Sommers 2010 (Sept.) getrennt nach Stecklingen unterschiedlicher Ursprungsposition im Ausgangstrieb; n = normal, nicht basal oder terminal geworbene Stecklinge, u = basal geworbene Stecklinge, t = terminal geworbene Stecklinge.

Rechtes Diagramm: Streudiagramm der Wertepaare des unteren Stecklingsdurchmessers beim Stecken und der Triebhöhe am Ende der Topfetaablierung bei Pflanzung, Regressionen (linear / quadratisch).

Wie für die zumeist an schwierige Bedingungen angepassten Mutterpflanzen erwartet, wurde deutlich, dass die dünnen Terminalstecklinge kürzere Triebe hervorbringen. Sehr wahrscheinlich ist dies auf relativ geringe Speicherkapazitäten (z. B. Stärke) in den Terminalstecklingen zurückzuführen, um die im Verhältnis dazu relativ großen Knospen zu versorgen. Die höchsten Ausfallprozente hatten ebenfalls die aus terminalen Enden der Ausgangstriebe geworbenen Steckhölzer. Die aus den basalen Bereichen stammenden Stecklingspflanzen hatten die geringsten Ausfallprozente und waren am längsten. In beiden letztgenannten Gruppen waren jedoch deutliche Unterschiede zwischen den neuen Akzessionen zu beobachten, die sich sehr wahrscheinlich durch unterschiedliche genetische Eigenschaften erklären lassen. Zudem wurde festgestellt, dass sich die Durchwurzelung der Topfballen deutlich zwischen den Stecklingen verschiedener Mutterbäume unterschied und diejenigen Pflanzen mit längeren Trieben teils nur eine geringe Durchwurzelung aufwiesen. Wir gehen davon aus, dass der Erfolg, neue Pflanzen aus nicht optimalen Stecklingen zu generieren, auch davon abhängt, wie die in der Pflanze gespeicherten Stoffe eingesetzt werden. Wird beispielsweise ein starker Trieb, dafür jedoch nur eine mäßig entwickelte oder geringe Wurzel getrieben, so kann es zu Unverhältnissen kommen, die die Pflanze auch später noch zum Absterben bringen kann. Unsere Beobachtungen lassen auch hierbei auf unterschiedliche genetische Hintergründe schließen, welche ein verschieden ausgewogenes Spross-Wurzel-Verhältnis hervorrufen.

Die im rechten Diagramm der Abbildung 6 dargestellten Wertepaare der unteren Stecklingsdurchmesser beim Stecken mit den zugehörigen Triebblängen gegen Ende der Vegetationsperiode zeigen einen schwachen, nicht signifikanten Zusammenhang zwischen diesen beiden Eigenschaften, der zudem eher nicht linear zu sein scheint. Es ist aus früherer Pappelforschung und aus dem Baumschulwesen bekannt, dass sich das Austriebsvermögen zwischen Pappelsorten und Ausgangsmaterial unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Ursprungsposition am Mutterbaum unterscheidet und dabei auch die Durchmesser der Stecklinge eine Rolle spielen (KRÜSSMANN u. BEHRENS 1997, ZALESNY et al. 2003). So hatten wir einen deutlich stärkeren rechnerischen Zusammenhang zwischen den beiden Eigenschaften erwartet. Dass dem nicht so ist, kann höchst wahrscheinlich auf genetische Unterschiede im Zusammenwirken mit Effekten des physiologischen Zustandes der Mutterpflanze zurückgeführt werden, welche sich auf das Verhältnis von Wurzel- und Triebbiomasse auswirkten.

3.5 Literaturrecherche

Überlegungen zum Anbau „schnellwachsender Baumarten“ in Kurzumtriebsplantagen sind nicht neu, denn mit dem Fortschritt der Pappelzüchtung in den 1930er Jahren wurde angesichts befürchteter Holzknappheit auch immer wieder die Möglichkeit eines verstärkten Pappelanbaus diskutiert (GRUSS u. BECKER 1993). Ergebnisse dieser Diskussionen waren die sogenannten „Pappelwellen“ zu Beginn der 1950er Jahre (GRUSS u. BECKER 1993); später in den 1970er Jahren standen „nachwachsende Rohstoffe“ mehr oder weniger im Fokus des wissenschaftlichen Interesses, aus Sorge vor einer globalen Holzknappung und in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts aus der Notwendigkeit heraus, sich aus Klimaschutzgründen mit schnellwachsenden Baumarten als hochwirksame CO₂ Senke zu beschäftigen.

Im Rahmen der Literaturrecherche und -zusammenstellung, als Bestandteil eines Arbeitspaketes, wurde das Augenmerk auf Themen gelenkt, die insbesondere Aussagen zur Pappelholzanatomie machen und hier speziell zur sorten- oder klon-spezifischen Kennung von Zellgrößen. Der Hintergrund dieser spezifischen Suche ist der, dass insbesondere eine Vielzahl auch älterer Untersuchungen aus den 1950er und 1970er Jahren diese Thematik unter dem Aspekt der Verwendbarkeits-eigenschaften bereits aufgegriffen haben und die Ergebnisse für züchterische Zwecke ausgewertet worden sind. Diese wertvollen Ergebnisse sind oftmals in Berichten, Dissertationen oder anderen Projektbeschreibungen dokumentiert, jedoch in vielen Fällen nicht öffentlich zugänglich publiziert worden.

Mit Hilfe der Zuarbeit des Projektpartners Staatsbetrieb Sachsenforst und der Forstlichen Zweigbibliothek der Universität Göttingen konnte Einsicht in zunächst insgesamt 53 Berichte und Dissertationen zum Thema Pappelzüchtung genommen werden. Davon stammten neun Dokumentationen aus dem Zeitraum

1948 - 1959, 17 aus den Jahren 1960 - 1968, 16 aus dem Zeitraum 1970 - 1978, sechs Publikationen aus den Jahren 1980 - 1988 sowie fünf Berichte bzw. Dissertationen wurden nach 1990 veröffentlicht. Diese Dokumente, die sicherlich nur einen Bruchteil dessen erfassen, was tatsächlich an Forschungsarbeit geleistet und publiziert worden ist (auch als „graue Literatur“), spiegelt dennoch o. g. „Pappelwellen“ wieder. Die Schwerpunktthemen der bis Ende der 1960er Jahre angefertigten Forschungsarbeiten konzentrierten sich im Wesentlichen auf Fragen zur Auslese von besonders ertragsstarken Genotypen und deren waldbaulicher Behandlung sowie Fragen zum Einfluss von Witterung und Klima auf Schäden und Krankheiten. Darüber hinaus wurden Fragen zur Vermehrung, Pflege und Düngung untersucht. Beginnend in den 1970er Jahren nahm das Interesse an Pappeln in Bezug auf die Verwertung des Holzes in der Span- und Faserplattenindustrie zu. Ebenso fokussieren sich Anstrengungen auf die Suche nach Möglichkeiten, die dafür notwendigen Eigenschaften züchterisch zu beeinflussen. Problemstellungen zur Physiologie des Wasserhaushaltes und der Bedeutung für die Ausprägung holzspezifischer Merkmale wurden in drei Untersuchungen angesprochen.

Literatur

- BLAKE, T.J.; SPERRY, J.S.; TSCHAPLINSKI, T.J. u. WANG, S.S. (1996): Water relations. In: STETTLER, R.; BRADSHAW, H.D.; HEILMAN, P.E. u. HINCKLEY, T.M. (ed.): *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*. NRC Research Press, Ottawa, Canada, 515-539
- BLE (2008): Zugelassene Klone und Klonmischungen der Pappel (*Populus* spp.) (Info leaflet). Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung - Referat 324, Deichmanns Aue 29, 53179 Bonn, 2 S.
- BOEHMEL, C.; LEWANDOWSKI, I. u. CLAUPEIN, W. (2008): Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural Systems* 96 (1-3): 224-236
- BUNGART, R. (1999): Erzeugung von Biomasse zur energetischen Nutzung durch den Anbau schnellwachsender Baumarten auf Kippsubstraten des Lausitzer Braunkohlereviere. Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung. Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Cottbus, 159 S.
- CARLQUIST, S. (2001): *Comparative Wood Anatomy. Systematic, Ecological, and Evolutionary Aspects of Dicotyledon Wood*, 2. Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 448 S.
- CIAIS, P.; REICHSTEIN, M.; VIOVY, N.; GRANIER, A.; OGEE, J.; ALLARD, V.; AUBINET, M.; BUCHMANN, N.; BERNHOFER, C.; CARRARA, A.; CHEVALLIER, F.; DE NOBLET, N.; FRIEND, A.D.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GRUNWALD, T.; HEINESCH, B.; KERONEN, P.; KNOHL, A.; KRINNER, G.; LOUSTAU, D.; MANCA, G.; MATTEUCCI, G.; MIGLIETTA, F.; OURCIVAL, J.M.; PAPALE, D.; PILEGAARD, K.; RAMBAL, S.; SEUFERT, G.; SOUSSANA, J.F.; SANZ, M.J.; SCHULZE, E.D.; VESALA, T. u. VALENTINI, R. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 437 (7058): 529-533
- FERNANDEZ, G.C.J. (1992): Effective Selection Criteria for Assessing Plant Stress Tolerance. In: KUO, C.G. (Hrsg.) *Adaptation of food crops to temperature and water stress*. Asian Vegetable Research and Development Center, Taipei, Taiwan, 257-270
- FISCHER, R.A. u. MAURER, R. (1978): Drought Resistance in Spring Wheat Cultivars.1. Grain-Yield Responses. *Australian Journal of Agricultural Research* 29 (5): 897-912

- GRUSS, K. u. BECKER, G. (1993): Anatomische und technologische Eigenschaften des Holzes ausgewählter Pappelklone und ihr Einfluss auf ihre industrielle Verwertung. In: HÜTTERMANN A (Hrsg.): Anbau von Pappel bei mittlerer Umtriebszeit. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 92-112
- HSIAO, T.C. (1973): Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 24: 519-570
- IPCC (2007): Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: METZ, B.; DAVIDSON, O.R.; BOSCH, P.R.; DAVE, R. u. MEYER, L.A. (Hrsg.). Cambridge University Press, Cambridge and New York, 851 S.
- KRAMER, H. u. AKÇA, A. (2002): Leitfaden zur Waldmessenlehre, 4. Auflage. J. D. Sauerländers Verlag, Frankfurt am Main, 266 S.
- KRAMER, P.J. u. KOZŁOWSKI, T.T. (1979): Physiology of Woody Plants. Academic Press, New York, San Francisco, London, 811 S.
- KRÜSSMANN, G. u. BEHRENS, V. (1997): Die Baumschule: ein praktisches Handbuch für Anzucht, Vermehrung, Kultur und Absatz der Baumschulpflanzen. 6., völlig neubearb. Aufl., Parey, Berlin, 982 S.
- KÜCHLER, W. (2004): Die Dürreperiode 2003 in Sachsen. Aktuelle Information. Landesamt für Umwelt und Geologie, online: http://www.smul.sachsen.de/umwelt/download/klima/duerrebericht_2003_2.pdf, Dresden, 34 S.
- LATVA-KARJANMAA, T.; PENTILA, R. u. SIITONEN, J. (2007): The demographic structure of European aspen (*Populus tremula*) populations in managed and old-growth boreal forests in eastern Finland. Canadian Journal of Forest Research - Revue Canadienne de Recherche Forestiere 37 (6): 1070-1081
- MEYER, M. (2010): Trockenheitsreaktionen und holzanatomische Eigenschaften der Zitter-Pappel (*Populus tremula* L.) - Physiologie und QTL-Mapping Dissertation. Fakultät für Forst-, Geo- u. Hydrowissenschaften, Technische Universität Dresden. Forstwissenschaftl. Beiträge Tharandt, 31, Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, 174 S.
- MONCLUS, R.; DREYER, E.; DELMOTTE, F.M.; VILLAR, M.; DELAY, D.; BOUDOURESQUE, E.; PETIT, J.M.; MARRON, N.; BRECHET, C. u. BRIGNOLAS, F. (2005): Productivity, leaf traits and carbon isotope discrimination in 29 *Populus deltoides* x *P. nigra* clones. New Phytologist 167 (1): 53-62
- PARK, Y.I.; DALLAIRE, G. u. MORIN, H. (2006): A method for multiple intra-ring demarcation of coniferous trees. Annals of Forest Science 63 (1): 9-14
- PETZOLD, R.; SCHWÄRZEL, K. u. FEGER, K.H. (2010): Transpiration of a hybrid poplar plantation in Saxony (Germany) in response to climate and soil conditions. online first. date of publication: 2010-12-21. European Journal of Forest Research, DOI 10.1007/s10342-010-0459-z: 12 p
- RAHMSTORF, S. u. SCHELLHUBER, H.J. (2006): Der Klimawandel. Verlag C. H. Beck oHG, München, 144 S.
- REBETEZ, M.; MAYER, H.; DUPONT, O.; SCHINDLER, D.; GARTNER, K.; KROPP, J.P. u. MENZEL, A. (2006): Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis. Annals of Forest Science 63 (6): 569-577
- ROBISON, D.J. u. RAFFA, K.F. (1998): Productivity, drought tolerance and pest status of hybrid Populus: Tree improvement and silvicultural implications. Biomass & Bioenergy 14 (1): 1-20
- RUST, S. (1999): Hydraulische Architektur und Wasserhaushalt von Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) mit begleitenden Untersuchungen an Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.), Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Balsampappelklonen. Dissertation, Brandenburgische Technische Universität, Cottbus, 110 S.
- SCHNEIDER, B.U. (2007): Agroforstsysteme als Option der Biomasseerzeugung. In: FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V. (FNR) (Hrsg.) Symposium Energiepflanzen 2007. Verlag Th. Mann GmbH, Gelsenkirchen, 206-222
- SCHWEINGRUBER, F.H. (1988): Tree Rings - Basics and Applications of Dendrochronology. Reidel, Dordrecht, 276 S.

- SMILGA, J.J. (1986): Осуха (European Aspen). Zinatne, Riga, Lettland (russisch mit engl. Zusammenfassung), 238 S.
- THÜMMLER, K. (1957): Die Vermehrung der Aspe, *Populus tremula* L. Forst und Jagd II/1957 (Sonderheft: Die Pappel): 2-7
- TRENDELENBURG, R. u. MAYER-WEGELIN, H. (1955): Das Holz als Rohstoff. Hanser, München, 541 S.
- TREYDTE, K.S. (2002): Dendro-Isotope und Jahrringbreiten als Klimaproxis der letzten 1200 Jahre im Karakorumgebirge / Pakistan. Dissertationsschrift. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, 167 S.
- TREYDTE, K.S.; SCHLESIER, G.H.; HELLE, G.; FRANK, D.C.; WINIGER, M.; HAUG, G.H. u. ESPER, J. (2006): The twentieth century was the wettest period in northern Pakistan over the past millennium. *Nature* 440 (7088): 1179-1182
- TSCHAPLINSKI, T.J.; TUSKAN, G.A.; SEWELL, M.M.; GEBRE, G.M.; DONALD, E.T.I. u. PENDLEY, C. (2006): Phenotypic variation and quantitative trait locus identification for osmotic potential in an interspecific hybrid inbred F-2 poplar pedigree grown in contrasting environments. *Tree Physiology* 26 (5): 595-604
- WATSON, R.T.; NOBLE, I.R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, D.J. u. DOKKEN, D.J. (2000): Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 388 S.
- WOLF, H. u. BÖNISCH, B. (2004): Anbau schnellwachsender Gehölze auf stillgelegten landwirtschaftlichen Flächen. In: BEGEMANN, F. (Hrsg.): Produktvielfalt durch Ressourcenvielfalt - Potenziale genetischer Ressourcen - Tagungsband eines Symposiums vom 24-25 September 2003 im Gustav-Stresemann-Institut in Bonn. Informationszentrum Biologische Vielfalt des ZADI, Bonn, 122-132
- ZALESNY, R.S.; HALL, R.B.; BAUER, E.O. u. RIEMENSCHNEIDER, D.E. (2003): Shoot position affects root initiation and growth of dormant unrooted cuttings of *Populus*. *Silvae Genetica* 52 (5-6): 273-279
- ZOBEL, B.J. u. VAN BUIJTENEN, J.P. (1989): Wood Variation - Its Causes and Control. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 361 S.
- ZUFFA, L.; GIORDANO, E.; PRYOR, L.D. u. STETTLER, R.F. (1996): Trends in poplar culture: some global and regional perspectives. In: STETTLER, R.; BRADSHAW, H.D.; HEILMAN, P.E. u. HINCKLEY, T.M. (eds.): *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation*. NRC Research Press, Ottawa, Canada, S. 515-539

Korrespondierende Autorin:

Prof. Dr. habil. Doris Krabel
 Technische Universität Dresden
 AG molekulare Gehölzphysiologie
 Piener Str. 7
 01737 Tharandt
 E-Mail: krabel@forst.tu-dresden.de
 URL: www.forst.tu-dresden.de/Botanik

Dr. Matthias Meyer
 Alexander Solger
 Technische Universität Dresden, AG molekulare Gehölzphysiologie

Untersuchungen zur Pathotypenstruktur des Pappelblattrosts *Melampsora larici-populina* auf neu angelegten Versuchsflächen mit Schwarz- und Balsampappeln und ihre Bedeutung für den Kurzumtrieb

Studies of pathotype structures of poplar leaf rust *Melampsora larici-populina* on black poplar and balsam poplar in new plots: relevance for short rotation coppice

Christina Fey-Wagner, Natalia Klippert und Alwin Janßen

Zusammenfassung

Der Anbau schnellwachsender Pappeln und Weiden ist energetisch, ökologisch und ökonomisch sehr vorteilhaft. Kurzumtriebsplantagen (KUP) werden als eine der aussichtsreichsten Methoden zur Erzeugung von stofflich und energetisch nutzbarer Biomasse eingestuft. Ihre Bedeutung wird in Zukunft in hohem Maße ansteigen.

Im Zuge dieses verstärkten, großflächigen Anbaus dieser schnellwachsenden Gehölze stellt die schmale genetische Basis des zurzeit zur Verfügung stehenden Vermehrungsgutes ein erhebliches Risiko für die Betriebssicherheit der Kurzumtriebsplantagen dar.

Aufgrund genetisch bedingter Krankheitsanfälligkeiten und mangelnder Anpassungsfähigkeit des bisher auf Kurzumtriebsplantagen verwendeten Materials gewannen Blattrost als Pflanzenpathogene in den letzten Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung.

Ziel des FastWOOD-Teilprojektes der NW-FVA ist es daher, für die Biomasseproduktion im Kurzumtrieb geeignete Schwarz- und Balsampappelsorten nicht nur im Hinblick auf gesteigerte Massenleistung, sondern auch auf verstärkte Toleranzeigenschaften gegenüber Pflanzenpathogenen wie dem Pappelblattrost, vornehmlich verursacht durch die Pilzart *Melampsora larici-populina*, zu züchten. Im Zuge dessen wird einerseits bei der Auswahl der Kreuzungseltern deren Blattrosttoleranz berücksichtigt, andererseits wird ab dem Sämlingsalter der Befall mit Pappelblattrost erfasst und die Selektion der neuen Kreuzungsnachkommen auf ihre Toleranzeigenschaften ausgerichtet.

Gesicherte Erkenntnisse über die Eignung neu gezüchteter Klone ergeben sich jedoch erst, wenn im weiteren Verlauf der Prüfung die selektierten Klone unterschiedlichen Standorteigenschaften und Klimabedingungen auf Versuchsflächen verteilt über ganz Deutschland gepflanzt und somit verschiedenen Pathotypen des Pappelblattrostes *Melampsora larici-populina* ausgesetzt wurden.

Unsere Untersuchungen, die auf Blattrostproben von allen in FastWOOD angelegten Schwarz- und Balsampappel-Versuchsflächen basieren, lassen erste Erkenntnisse über die Diversität der *Melampsora larici-populina*-Pathotypen innerhalb Deutschlands zu und geben einen vorläufigen Überblick über die räumliche Verteilung der gefundenen Pathotypen und Rassen.

Stichworte: Pappel, KUP, Pappelblattrost, *Melampsora larici-populina*

Abstract

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 short rotation coppice plantation management.

Therefore the aim of the FastWOOD sub-project of the Northwest German Forest Research Institute (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. On 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, at some stage during the trials, the clones selected are subjected to a broad range of site and climate conditions on study sites 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 clones on study sites investigated in the joint project FastWOOD are assessed annually, commencing the year after planting. Additional *in vitro* investigations of the leaf rust found on all infested poplar clones were carried out to identify all leaf rust pathotypes and races found in Germany. These investigations have provided preliminary findings on the diversity of the *Melampsora larici-populina* pathotypes within Germany, and provide an overview of the spatial distribution of pathotypes occurring.

Keywords: poplar, SRC, poplar leaf rust, *Melampsora larici-populina*

1 Einleitung

Gegenüber landwirtschaftlich erzeugten, nachwachsenden Rohstoffen wie Mais, Getreide oder Raps hat die Verwendung von Pappeln in 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 (JANBEN et al., in diesem Band S. 1 ff.).

Momentan werden überwiegend lediglich 6 Klone ('Max 1', 'Max 3', 'Max 4', 'Hybride 275', 'Muhle Larsen' und 'Androskoggin') auf Kurzumtriebsflächen angepflanzt (JANBEN et al., in diesem Band S. 33 ff.). 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 Adaptionfähigkeit 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 Rindenbrand, der Blattfleckenkrankheit oder dem Pappelkrebs und erhöhen damit die Wahrscheinlichkeit, dass die betroffenen Pflanzen absterben.

Aufgrund des immer größer werdenden Gefahrenpotenzials durch den Pappelblattnrost 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 Pappelblattnrosts *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 die Identifizierung der in Deutschland vorhandenen Blattnrost-Pathotypen, auf die Aufschlüsselung ihrer räumlichen Pathogenstruktur und auf gerichtete Züchtungsbemühungen hin zur größtmöglichen Toleranz der neuen Pappelklone gegenüber *Melampsora larici-populina*.

2 Material und Methoden

2.1 Standorte und Versuchsflächenaufbau

Die Untersuchungen zum Blattnrosttoleranzverhalten wurden an Schwarz- und Balsampappelklonen, die auf sechs Versuchsflächen über ganz Deutschland verteilt im Jahr 2010 angelegt wurden, durchgeführt.

Die Lage der Versuchsflächen sowie weitere Informationen zu den einzelnen Standorten können dem Beitrag von JANßEN et. al. (in diesem Band S. 33 ff.) entnommen werden.

2.2 Pflanzenmaterial

Für die Untersuchungen des Blattnrosttoleranzverhaltens wurden insgesamt 40 Pappelklone der Sektionen *Aigeiros* und *Tacamahaca* verwendet. Die gezielten Kreuz-

zungen basieren vor allem auf den Arten *Populus nigra*, *P. deltoides*, *P. trichocarpa* und *P. maximowiczii*. Das Untersuchungsmaterial enthält 23 Neusorten aus intra- sowie intersektionellen Kreuzungen, einen neuen *P. maximowiczii*- sowie zwei 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. Im Set der Standard-Klone enthalten sind die auf den Proloc-Flächen angepflanzten drei Pappelklone 'AF2', 'Max 1' und 'Hybride 275', um eine bestmögliche Verzahnung mit dem Verbundvorhaben Proloc zu gewährleisten. Informationen zu den untersuchten Klonen können Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Aufstellung des zur Untersuchung des Blattrostresistenzverhaltens verwendeten Klonmaterials auf den 2010 angelegten Versuchsflächen

Sektion	Kreuzung	Anzahl Prüfglieder	Klon-Name
<i>Aigeiros</i>	<i>P. deltoides</i> × <i>P. nigra</i>	1	'Robusta'
<i>Aigeiros</i>	<i>P. deltoides</i> × <i>P. nigra</i>	1	'AF 2'
<i>Tacamahaca</i>	(<i>P. maximowiczii</i> × <i>P. berlinensis</i>) × <i>P. trichocarpa</i>	1	
<i>Tacamahaca</i>	(<i>P. trichocarpa</i> × <i>P. koreana</i>) × <i>P. maximowiczii</i>	2	
<i>Tacamahaca</i>	<i>P. maximowiczii</i>	1	
<i>Tacamahaca</i>	<i>P. maximowiczii</i> (freie Abblüte)	1	
<i>Tacamahaca</i>	<i>P. trichocarpa</i> × <i>P. koreana</i>	1	
<i>Tacamahaca</i>	<i>P. trichocarpa</i>	11	'Trichobel', 'Muhle Larsen', 'Weser 4', 'Weser 6'
<i>Tacamahaca</i>	<i>P. maximowiczii</i> × <i>P. trichocarpa</i>	12	'Androscoggin', 'Hybride 275', 'Matrix 11', 'Matrix 24', 'Matrix 49'
Intersektionell	<i>P. × generosa</i> (freie Abblüte)	1	
Intersektionell	<i>P. nigra</i> × <i>P. laurifolia</i>	1	
Intersektionell	<i>P. nigra</i> × <i>P. maximowiczii</i>	3	'Rochester', 'Max 1', 'Max 3'
Intersektionell	(<i>P. nigra</i> × <i>P. maximowiczii</i>) × <i>P. maximowiczii</i>	1	
Intersektionell	<i>P. trichocarpa</i> × <i>P. deltoides</i>	3	

Die In-vitro-Untersuchung der auf den Versuchsflächen vorkommenden Virulenzen und Pathotypen des Blattrosterregers *Melampsora larici-populina* wurde mit in 2010 gesammeltem Uredosporenmateriale durchgeführt. Beprobte wurden alle auf den Versuchsflächen befindlichen Pappelklone der von Teilprojekt 1 bearbeiteten Arten und Hybriden.

Aufgrund ungünstiger Lagerungsbedingungen des Blattrostsporenmateriels konnten jedoch nur die Proben der in Tabelle 2 aufgeführten Klone reaktiviert und durch den In-Vitro-Test bestimmt werden.

Tabelle 2: Liste des für den In-vitro-Test zur Untersuchung der auf den Versuchsflächen vorkommenden Pathotypen und Rassen des Blattrosterregers *Melampsora larici-populina* zur Verfügung stehenden Klonmaterials

Sektion	Kreuzung	Anzahl Prüfglieder für IV-Test	Klon-Name
<i>Aigeiros</i>	<i>P. deltooides</i> × <i>P. nigra</i>	1	'Robusta'
<i>Aigeiros</i>	<i>P. deltooides</i> × <i>P. nigra</i>	1	'AF 2'
<i>Tacamabaca</i>	<i>P. trichocarpa</i>	4	'Weser 6'
<i>Tacamabaca</i>	<i>P. maximoviczii</i> × <i>P. trichocarpa</i>	1	'Androcoggin'
Intersektionell	<i>P. trichocarpa</i> × <i>P. deltooides</i>	2	

Die In-vitro-Untersuchungen zu den vorkommenden Blattrostvirulenz- und Blattrostpathotypen wurden mit Hilfe elf verschiedener Pappelstandardklone durchgeführt. Das dazu benötigte Pflanzenmaterial wurde der NW-FVA in Form von Steckhölzern vom Instituut voor natuur- en bosonderzoek (Institut für Natur und Forst, INBO) in Geraardsbergen, Belgien, überlassen und ist der Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3: Übersicht der für den In-vitro-Test verwendeten Standardklone. Sortiert nach Art bzw. Kreuzung

Sektion	Kreuzung	Klon-Name
<i>Aigeiros</i>	<i>P. deltooides</i>	'87 B 12'
<i>Aigeiros</i>	<i>P. deltooides</i> × <i>P. nigra</i>	'A4A'
<i>Aigeiros</i>	<i>P. deltooides</i> × <i>P. nigra</i>	'Brabantica'
<i>Aigeiros</i>	<i>P. deltooides</i> × <i>P. nigra</i>	'Ogy'
<i>Aigeiros</i>	<i>P. deltooides</i> × <i>P. nigra</i>	'Robusta B'
<i>Aigeiros</i>	<i>P. deltooides</i> × <i>P. nigra</i>	'Robusta F'
Intersektionell	<i>P. deltooides</i> × <i>P. trichocarpa</i>	'Beaupré'
Intersektionell	<i>P. trichocarpa</i> × <i>P. deltooides</i>	'Hazendans'
Intersektionell	<i>P. trichocarpa</i> × <i>P. deltooides</i>	'Hoogvorst'
Intersektionell	<i>P. trichocarpa</i> × <i>P. deltooides</i>	'Rap'
Intersektionell	<i>P. trichocarpa</i> × <i>P. deltooides</i>	'Unal'
Intersektionell	<i>P. trichocarpa</i> × (<i>P. trichocarpa</i> × <i>P. deltooides</i>)	'Grimminge'

2.3 Aufnahme der Feldtoleranzeigenschaften

Alle auf den sechs 2010 angelegten Versuchsflächen befindlichen Klone wurden aufgrund des Entwicklungszyklus des Pilzes (s. Abb. 1) jährlich Ende August/ Anfang September auf ihren Blattrostbefall hin bonitiert.

Der Lebenszyklus des Pappelblattrosts beinhaltet fünf verschiedene Sporentypen auf zwei Wirten: die Lärche als Zwischen- oder Haplontenwirt, auf der die sexuelle Vermehrung stattfindet, und die Pappeln als Haupt- oder Diplontenwirt, auf der die asexuelle Vermehrung abläuft. Widerstandsfähige Teleutosporen überwintern am Boden in der abgefallenen Laubstreu der Pappeln. Im Frühjahr findet in ihnen die Reduktionsteilung statt und haploide Basidiosporen infizieren die frischen Nadeln von Lärchen. In den Lärchennadeln entwickeln sich Pykno- und Aecidiosporenlager, erstere sind schon Anfang bis Mitte Mai (s. Abb. 1, Bild links oben) zu finden. Die Aecidiosporen werden durch Wind übertragen und infizieren die Pappeln. Der Wirtswechsel ist für den Pilz obligatorisch. Der Pilz dringt in die Pappelblätter ein und es werden den gesamten Sommer über Uredosporen an der Blattunterseite (s. Abb. 1, Bild rechts unten) gebildet, die zyklisch immer weitere Pappeln in der Umgebung durch anemochore Verbreitung infizieren. Der Lebenszyklus des Blattrostpilzes schließt sich, indem gegen Ende der Vegetationsperiode an der Blattoberseite die Überwinterungsorgane (Teleutosporen) gebildet werden.

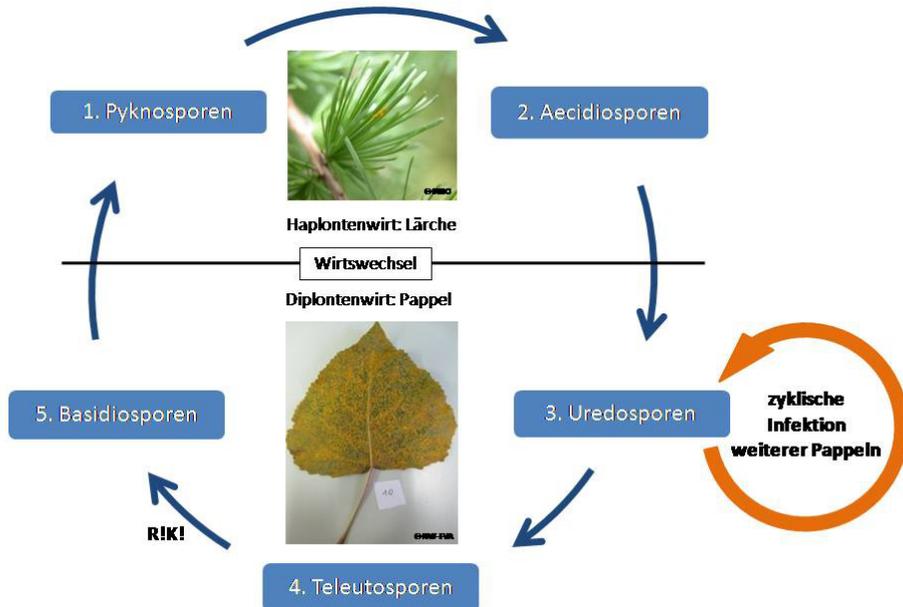


Abbildung 1: Entwicklungszyklus der Rostpilze. K! = Kernteilung, R! = Reduktionsteilung (Meiose)

Für die Erfassung des Pappelblattrostbefalls wurde ein vom INBO in Belgien und der INRA (Institut National de la Recherche Agronomique, Frankreich), entwickeltes Schema (s. Tab. 4 und 5) angewendet.

Tabelle 4: INBO Baum-Bonitursystem für Pappelblattrost (*Melampsora larici-populina*)

Boniturnote	Beschreibung
0	keine Uredinien
0,25	am ganzen Baum nur ein paar Uredinien, schwer zu finden
0,5	schwache Infektion der Blätter bis in 25 % der gesamten Baumhöhe (Leafscore 3)
1	leicht zu detektierende Infektion der Blätter bis in 50 % der gesamten Baumhöhe, darüber schwer zu finden, aber vorhandene Infektion
1,5	Infektion der Blätter bis in 75 % der gesamten Baumhöhe
2	Infektion des gesamten Baumes, aber Blätter sind noch nicht verbräunt
2,5	Infektion des gesamten Baumes und beginnende Verbräunung der unteren Blätter
3	Infektion des gesamten Baumes, Verbräunung der unteren 25 % der Blätter
3,5	Infektion des gesamten Baumes, Verbräunung der unteren 50 % der Blätter und beginnender Blattverlust
4	starke Infektion des gesamten Baumes, bis zu 50 % Blattverlust
4,5	starke Infektion des gesamten Baumes, bis zu 80 % verbräunte Blätter, nur wenige an der Triebspitze noch grün
5	alle Blätter abgefallen

Tabelle 5: INBO Blatt-Bonitursystem für Pappelblattrost (*Melampsora larici-populina*)

Boniturnote	Bewertung
1	keine Uredinien
2	bis zu 10 Uredinien
3	mehr als 10 Uredinien, über die gesamte Blattspreite verstreut, nicht gruppiert
4	Gruppen von Uredinien, die weniger als 10 % der Blattfläche bedecken
5	10 bis 25 % der Blattfläche von Uredinien bedeckt
6	25 bis 50 % der Blattfläche von Uredinien bedeckt
7	50 bis 75 % der Blattfläche von Uredinien bedeckt
8	mehr als 75 % der Blattfläche von Uredinien bedeckt

Bereits ab dem Anlagejahr 2010 wurden alle Prüfglieder auf den Versuchsflächen jährlich auf ihren Blattrostbefall hin überprüft. Die Charakterisierung des Befallsgrades erfolgt über eine Baum- und eine Blattbonitur. Bei der Baumbonitur wird die Stärke des Blattrostbefalls anhand des Schadbildes der gesamten Pflanze eingeschätzt (s. Tab. 4). Für die Blattbonitur wird von mindestens zwei Individuen aus der Kernparzelle das jeweils am stärksten befallene Blatt verwendet (s. Tab. 5).

Die Befallsstärke wurde parzellenweise über alle sechs Wiederholungen erfasst, sodass für jeden Klon ein durchschnittlicher Befallsgrad je Fläche errechnet werden konnte. So wurden auf den Versuchsflächen rund 1.350 Parzellen und insgesamt über 4.000 Einzelblätter bonitiert. Die bewerteten Blätter wurden während der Bonituren eingesammelt.

2.4 In-vitro-Untersuchungen der Pathotypen und Rassen des Pappelblattrosts

Von den über 2.500 eingesammelten Blattrostproben wurde im Labor der In-vitro-Test auf Pathotyp und Rasse durchgeführt. Die Blattrostproben wurden von dem gesammelten Blattmaterial abgeschabt. Die Sporen wurden nach Herkunft und Pappelklon getrennt in Cryoröhrchen gesammelt und für 3 bis 6 Tage bei 4 bis 8 °C über Silikagel getrocknet. Das so vorbereitete Sporenmaterial konnte dann in der Dampfphase über flüssigem Stickstoff gelagert werden. Für die In-vitro-Untersuchungen wurde das Material langsam bei Zimmertemperatur aufgetaut.

Da sich die Untersuchungen des Teilprojekts 1 an der NW-FVA auf den in Deutschland vorherrschenden Erreger des Pappelblattrosts *Melampsora larici-populina* konzentrieren, wurde zunächst mit Hilfe mikroskopischer Untersuchungen diese Art von *Melampsora allii-populina* differenziert (s. Abb. 2a und 2b). Dies geschah anhand mehrerer morphologischer Unterscheidungsmerkmale der mit Lactophenolblau angefärbten Uredosporen und Paraphysenzellen. Durch Aufbringung der Sporen auf ein glucosehaltiges Medium wurde zusätzlich die Keimrate bestimmt (s. Abb. 2c).



Abbildung 2: Mikroskopische Aufnahmen der Uredosporen (2a) und Paraphysenzellen (2b). Keimtest auf glucosehaltigem Medium (2c)

Aus Blättern des Pappelklons 'Robusta' wurden runde Blattscheiben von 3,2 cm Durchmesser, sogenannte Blattdisci, ausgestanzt. Auf diese wurden die Blattrostsporen zur Reaktivierung aufgebracht. Durch Inkubation bei 20 °C im Tag-/Nacht-Lichtzyklus in einer eigens für diesen In-vitro-Test ausgestatteten Klimakammer wurde dieses Blattrostmaterial zur Bildung neuer Uredosporen angeregt. Sporen aus sechs einzelnen Uredinien je Pappelklon und Fläche wurden auf Blattdisci ('Robusta') vereinzelt und vermehrt, bis ausreichend Sporenmateriale für den weiterführenden Test zur Verfügung stand (s. Abb. 3).



Abbildung 3: Vermehrung von Sporenmateriale aus sechs einzelnen Uredinien

Für die Virulenz- und Rasseuntersuchungen wurden elf verschiedene Pappel-Standardklone schon im zeitigen Frühjahr im Gewächshaus in einer sporengeschützten Kabine angezogen (s. Abb. 4a). Jeder dieser vom INBO (Belgien) und der INRA (Frankreich) festgelegten Referenzklone weist eine typische Sensitivität gegenüber verschiedenen Blattrost-Virulenzen auf (s. Tab. 6). Die Kombination der erhaltenen Toleranzreaktionen der einzelnen Standardklone auf die Virulenzen des jeweiligen Blattrostgenotyps gibt Auskunft über den vorliegenden Pathotyp. Die jeweils höchste gefundene Virulenz bestimmt zudem die aus Tabelle 6 ersichtlichen Rassen des Blattrosts. Die Standardklone wurden in der aus Tabelle 6 angegebenen Reihenfolge auf den Testset-Multiwellplatten angeordnet. Daher kann aus den Sensitivitätsreaktionen der elf Standardklone (s. Tab. 6) der Pathotyp und die Rasse ermittelt werden.

Jedes Set, bestehend aus Blattdisci (je 3,46 cm²) der elf Standardklone, wurde mit Blattrostsporen, die aus einer Uredinie je Probe vermehrt wurden, inokuliert. Das Material wurde 10 bis 20 Tage in einer Klimakammer bei 20 °C im Tag-/Nacht-Lichtzyklus inkubiert (s. Abb. 4b).

Dieser Test wurde mit Sporen aus sechs unterschiedlichen Uredinien je Klon und Fläche reproduziert. Bei jedem Test wurde 'Robusta' zweifach als Standard

mitgeführt, um den Erfolg der Inokulation zu verifizieren. Die Reaktion des Standardklons 'Robusta' in Bezug auf Sensitivität, Inkubations- und Sporulationszeit sowie die Größe der Uredinien und ihre Farbe wurden als Bezugsgröße für die Toleranzreaktionen aller Standardklone verwendet.

Die Inkubations- und Sporulationszeit im Vergleich zu 'Robusta' weisen beispielsweise auf das Aggressivitätspotenzial des getesteten Pilzstammes hin. Die gesamte Inkubationszeit über wurden die Blattdisci der Standardklone zweimal täglich auf Veränderungen bzw. Reaktionen hin kontrolliert.

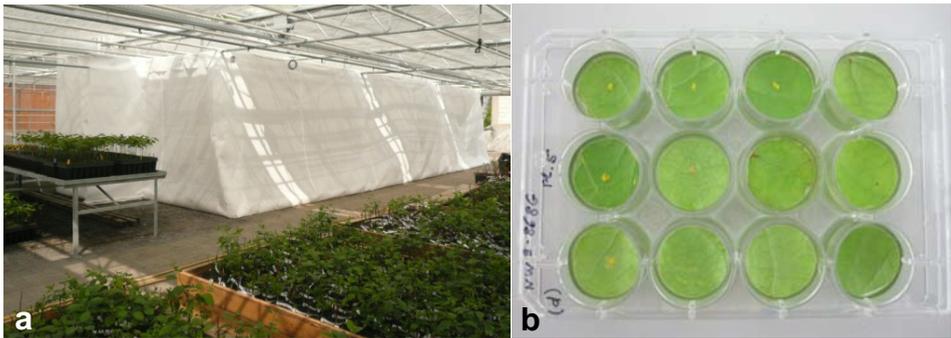


Abbildung 4: Anzuchtzelt der Standardklone im Gewächshaus der NW-FVA (a); mit Blattrost infiziertes Testset, bestehend aus Blattdisci der 11 Standardklone für den In-vitro Test (b)

Tabelle 6: Übersetzung der spezifischen Sensitivität der einzelnen Standardklone in die vom INBO festgelegten Virulenzen und Rassen

Klon	Virulenz	Rasse (INBO)
'Robusta (B, F)'	0	E0
'Ogy'	1	E2
'Grimminge'	2	E3
'Brabantica'	3	
'Unal'	4	E1
'Rap'	5	
'87B12'	6	
'Beaupré'	7	E4
'Hoogvorst', 'Hazendans'	8	E5
'A4A'	2 & 3	

3 Ergebnisse

3.1 Vergleich der Feldtoleranzeigenschaften der Pappelklone auf den Versuchsf lächen

Die Untersuchungen zeigen, dass der Pappelblattrostbefall der einzelnen Klone einer Fläche bereits zwischen den ersten beiden Standjahren zum Teil deutlich differiert. Exemplarisch sind in Abbildung 5 und 6 die Ergebnisse des Rostbefalls auf der am besten bewerteten Fläche in Thammenhain (Sachsen), d. h. die Fläche, die den geringsten Blattrostbefall aufwies, dargestellt. Die Fläche wurde im Frühjahr 2010 etabliert und Anfang September desselben Jahres zum ersten Mal auf den Blattrostbefall hin untersucht. Das Ergebnis der ersten beiden Blattrostaufnahmen von der Versuchsf läche Thammenhain zeigt die mittlere Note der Blattbonitur aller auf der Fläche vorhandenen Pappelklone nach der ersten Vegetationsperiode. Die auf der Versuchsf läche befindlichen Klone wurden in den Abbildungen 7 und 8 in Sektionen gruppiert und nach Arten und Hybriden zusammengestellt. Es wird deutlich, dass im ersten Standjahr alle untersuchten Klone wenig bis keinen Blattrostbefall aufwiesen (Boniturnoten zwischen 1 und 2, s. Tab. 5). Auch die Maximalnoten schwanken bis auf wenige Ausnahmen zwischen 3 und 4 (weniger als 10 % der Blattfläche bedeckt).

Es ist zu erkennen, dass reine *P. trichocarpa* (NW 7-17 C bis NW 7-91 R) oder *P. trichocarpa*-Hybriden (z. B. NW 10-246 N, NW 7-491 S, NW 7-180 W) vermehrt größere Varianzen der Boniturnoten aufweisen. Alle neu gezüchteten Klone reiner Arten sowie auch intra- (z. B. *P. maximowiczii* \times *P. trichocarpa*, *P. trichocarpa* \times *P. koreana*) und intersektionelle (*P. nigra* \times *P. maximowiczii*, *P. trichocarpa* \times *P. deltoides*) Hybriden wiesen im ersten Standjahr keine signifikanten Unterschiede gegenüber den Standardklonen bezüglich des Blattrostbefalles auf (s. Abb. 5).

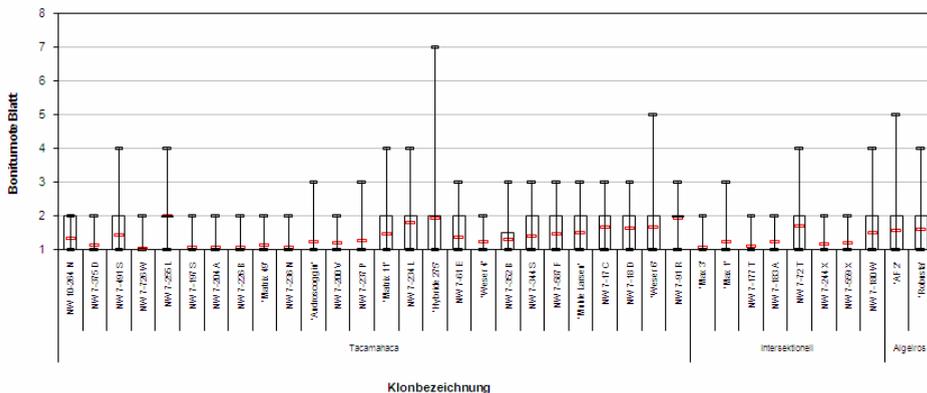


Abbildung 5: Pappelblattrostbefall der Klone auf der Versuchsf läche in Thammenhain (Sachsen) im ersten Standjahr beurteilt anhand der durchschnittlichen Blattboniturnote (Blattrostbonitur Sachsen 2010)

Die Untersuchung im zweiten Standjahr zeigt, dass 44 % aller Klone, unabhängig von der Art oder Kreuzung keinen Anstieg des Blattrostbefalls aufwiesen. Bei 13 % der untersuchten Prüfglieder wurde ein Anstieg des Blattrostbefalls um lediglich eine Boniturstufe festgestellt. Eine deutliche Erhöhung der Boniturnote um 2 und 4 Stufen war bei 38 % der Klone zu verzeichnen. Dabei ist festzuhalten, dass 80 % aller untersuchten Klone maximal eine mittlere Blattboniturnote von 4 aufwiesen. Das bedeutet, dass die Blattflächen der mit Note 4 bewerteten Klone bis zu 10 % durch Blattrost geschädigt waren. Lediglich 5 Klone wiesen eine mittlere Boniturnote zwischen 5 und 6 auf (10-25 % bzw. 25-50 % der Blattfläche befallen).

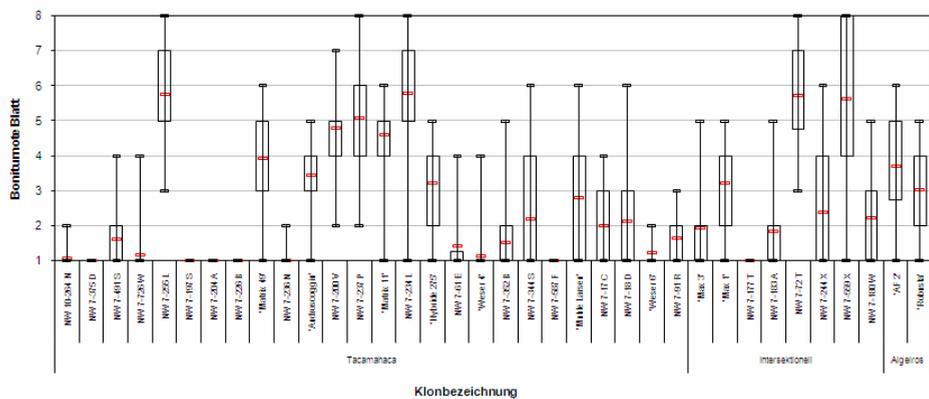


Abbildung 6: Pappelblattrostbefall der Klone auf der Versuchsfläche in Thammenhain (Sachsen) im zweiten Standjahr beurteilt anhand der durchschnittlichen Blattboniturnote (Blattrostbonitur Sachsen 2011)

Ein erster Vergleich des Flächen-Mittelwertes der Blattboniturnoten aller durch FastWOOD im Jahr 2010 angelegten Schwarz- und Balsampappelversuchsflächen zeigt, dass im zweiten Standjahr der Blattrostbefall auf allen Flächen angestiegen ist. Die Klone auf der Versuchsfläche in Baden-Württemberg (Emmendingen) waren bereits im Jahr der Anlage am stärksten mit Blattrost befallen. Dieser Befund bestätigte sich im zweiten Standjahr. Es fällt auf, dass auf der Fläche Sachsen (Thammenhain) in beiden Standjahren der geringste Befall verzeichnet wurde. Bis auf die Versuchsfläche in Hessen (Stölzingen) stieg die durchschnittliche Boniturnote auf allen Flächen um mindestens eine Stufe an. Die südlichsten Flächen in Bayern (Lehmbach) und Baden-Württemberg (Emmendingen) zeigten im Vergleich der ersten beiden Standjahre die höchste Steigerung der Befallsrate um je 2 Boniturstufen.

Die in Abbildung 7 bezeichneten Signifikanzgruppen (A-C) beziehen sich auf den Vergleich der Flächen im jeweils gleichen Standjahr (2010 bzw. 2011). In beiden Standjahren konnten drei Signifikanzgruppen unterschieden werden $\diamond A$, $\diamond B$, $\diamond C$ in 2010 bzw. $\square A$, $\square B$ und $\square C$ im Jahr 2011. In 2010 bildeten die Flächen in Niedersachsen, in Sachsen und in Bayern eine Signifikanzgruppe (s. Abb. 7, $\diamond A$),

die sich von der Fläche in Hessen (s. Abb. 7, $\diamond B$) und der Fläche in Baden-Württemberg (s. Abb.7, $\diamond C$) deutlich unterschied. Die Fläche in Sachsen-Anhalt zeigte keine signifikanten Abweichungen zu den Signifikanzgruppen $\diamond A$ und $\diamond B$. Im zweiten Standjahr näherte sich der Blattrostbefall auf den Flächen in Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Hessen an, so dass diese vier Flächen im Jahr 2011 eine Signifikanzgruppe bildeten ($\square A$). Die Fläche in Bayern zeigte in diesem Standjahr ein signifikant höheren Rostbefall (s. Abb. 7, $\square B$) gegenüber der Signifikanzgruppe $\square A$, aber auch einen signifikant niedrigeren Befall als die Fläche in Baden-Württemberg (s. Abb. 7, $\square C$).

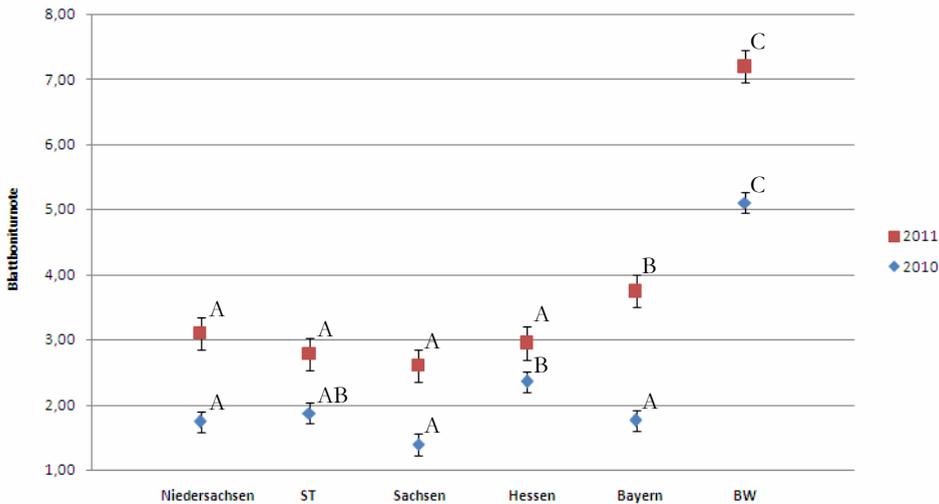


Abbildung 7: Vergleich der mittleren Blattrostbefallsrate der verschiedenen Versuchsflächen der beiden Standjahre 2010 und 2011 (ST = Sachsen-Anhalt, BW = Baden-Württemberg, Buchstaben bezeichnen die Signifikanzgruppen der jeweiligen Aufnahmejahre)

Um die im Bundesgebiet vorkommenden Pathotypen und Rassen von *M. laricipopulina* zu identifizieren, wurden für jede Versuchsfläche In-vitro-Tests (s. Abschnitt 2.4) durchgeführt. Daraus ergaben sich die in Tabelle 7 und 8 aufgelisteten Ergebnisse.

Insgesamt konnten auf fünf Versuchsflächen mit Hilfe der In-vitro-Untersuchungen 16 verschiedene Blattrostpathotypen identifiziert werden. Bei bis zu sechs Standardklonen wurden durch einzelne Pathotypen sensitive Reaktionen hervorgerufen. Der Pathotyp 034 konnte, trotz teilweise geringer Stichprobengröße, auf allen untersuchten Flächen nachgewiesen werden. Dieser Pathotyp kam auf den Flächen in Sachsen-Anhalt (Wallstawe) und Hessen (Stölzingen) als einziger vor. Die Fläche in Bayern (Lehmbach) wies zwei, die Versuchsfläche in Baden-Württemberg dagegen sechs unterschiedliche Pathotypen auf. Aus Tabelle 7 ist zu entnehmen, dass auf der Versuchsfläche Thammenhain in Sachsen die meisten,

insgesamt sieben verschiedene Pathotypen gefunden wurden. Die Blattrostbonitur (s. Abb. 7) auf dieser Fläche ergab hingegen die geringste Befallsrate.

Diese Analysemethode ist für die NW-FVA neu und wurde im Jahr 2010 das erste Mal als Voruntersuchung durchgeführt. Für diese Voruntersuchung wurde Pappelblattrost, der von den verschiedenen Pappelflächen und Sortenschauen der NW-FVA rund um den Standort Hann. Münden stammte, verwendet. Bei diesen Voruntersuchungen konnten neben dem auf allen Versuchsflächen vorkommenden Pathotyp 034 neun weitere Blattrostpathotypen identifiziert werden. Sechs dieser Pathotypen konnten auf keiner der Versuchsflächen nachgewiesen werden.

Tabelle 7: Übersicht über die durch die In-vitro-Untersuchungen identifizierten Blattrost-Pathotypen auf den verschiedenen Versuchsflächen (ST = Sachsen-Anhalt, BW = Baden-Württemberg, HMü = Hann. Münden, N = Stichprobengröße)

Fläche	N	Pathotyp														
ST	14							034								
Sachsen	42		0134	01347		014	03	034	03456					04		
Hessen	7							034								
Bayern	21							034				0356				
BW	14	013	0134	01347	013478			034						04		
HMü	34	0	0134	01347				034		034578	0347		037	04	045	47

Die Übersetzung der Blattrostpathotypen (s. Tab. 6) ergab, dass sich auf den Versuchsflächen bis zu fünf von insgesamt sechs möglichen Rassen nachweisen ließen. Die Rasse E1 wurde auf allen Flächen und bei den Voruntersuchungen in Hann. Münden gefunden. Die Rassen E0 und E5 konnten neben den Voruntersuchungen in Hann. Münden dagegen nur auf den Flächen in Bayern (E0) und Baden-Württemberg (E5) nachgewiesen werden. Die Blattrostasse E4 wurde auf den Versuchsflächen in Sachsen und Baden-Württemberg sowie bei der Voruntersuchung in Hann. Münden gefunden. Die Rasse E3 wurde auf keiner der Versuchsflächen gefunden.

In Hann. Münden und auf der Fläche in Baden-Württemberg konnte die neueste Virulenz 8, die in Belgien bisher nur auf den Klonen 'Hoogvorst' und 'Hazendans' in den letzten Jahren neu aufgetreten ist, festgestellt werden (M. STEENACKERS, INBO, mdl. Mitteilung). Er kam in Hann. Münden auf dem Klon 'Brühl 1' vor, in Baden-Württemberg auf dem Klon 'AF 2'. Dies ist eine Erstbeschreibung der Virulenz 8 in Deutschland. Daher und aufgrund der in dieser Untersuchung enthaltenen geringen Stichprobengröße ist eine Verifizierung des Ergebnisses in den kommenden Untersuchungen notwendig. Es deutet jedoch bereits auf das Eindringen und die Verbreitung neuer Pathotypen in das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland hin.

Tabelle 8: Übersicht über die durch die In-vitro-Untersuchungen identifizierten Blattrostrassen auf den verschiedenen Versuchsflächen (ST = Sachsen-Anhalt, BW = Baden-Württemberg, HMü = Hann. Münden, N = Stichprobengröße)

Fläche	N	Rasse					
			E1	E2		E4	E5
ST	14		E1				
Sachsen	42		E1	E2		E4	
Hessen	7		E1				
Bayern	21	E0	E1				
BW	14		E1	E2		E4	E5
HMü	34	E0	E1	E2		E4	E5

4 Schlussfolgerungen

Aufgrund des immer größer werdenden Gefahrenpotenzials des Pappelblattrostes für die Zuwachsleistung der Klone und die Betriebssicherheit der Kurzumtriebsplantagen sind die Züchtungsbemühungen des Teilprojekts 1 mit Schwarz- und Balsampappelsorten im Verbundprojekt FastWOOD auf die Zulassung neuer Sorten mit verstärkten Toleranzeigenschaften gegenüber dem in Deutschland vorherrschenden Erreger des Pappelblattrost *Melampsora larici-populina* gerichtet.

Bei den in diesem Jahr erstmals durchgeführten In-vitro-Untersuchungen konnten bereits sechzehn verschiedene Blattrospathotypen und fünf von sechs möglichen Blattrostrassen identifiziert werden. Da bei diesen ersten Untersuchungen zum Teil nur geringe Stichprobengrößen ausgewertet werden konnten, ist davon auszugehen, dass nicht alle im Bundesgebiet vorkommenden Pathotypen detektiert wurden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass sich bedingt durch die hohe Anpassungsfähigkeit des Pappelblattrostes *Melampsora larici-populina* im Laufe der weiteren Prüfung neue Pathotypen mit speziellen Virulenzen entwickeln. Je mehr Virulenzen ein Pathotyp aufweist, desto mehr unterschiedliche Arten/Hybriden ist dieser in der Lage zu infizieren. Jedoch bedingen aggressive Blattrostsarten nicht unbedingt komplizierte Pathotypen.

Auch der Einfluss der unterschiedlichen Klima- und Standortbedingungen der Versuchsflächen spielt beim Wachstums- und Verbreitungszyklus des Pappelblattrostes eine nicht zu unterschätzende Rolle, was am Beispiel der Versuchsfläche in Sachsen deutlich wird. Obwohl auf dieser Fläche im Vergleich zu den anderen Versuchsflächen die meisten Pathotypen nachgewiesen werden konnten, wies diese Fläche in beiden bisher bonitierten Standjahren die geringste Befallsintensität auf.

Um all diese unterschiedlichen Faktoren bei der Beurteilung der Blattrosttoleranzeigenschaften der verschiedenen Klone zu berücksichtigen, wird jedes Jahr ab dem Sämlingsstadium über den gesamten Prüfzeitraum der neu gezüchteten Schwarz- und Balsampappelklone der Befall mit Pappelblattrost dokumentiert und

als Selektionskriterium berücksichtigt. Dadurch kann das Toleranzverhalten jedes einzelnen Klons unter der Belastung verschiedener Infektionsstärken kontrolliert und bewertet werden.

Da die im Verbundprojekt FastWOOD neu gezüchteten Klone im ganzen Bundesgebiet einsetzbar sein sollen, besteht die dringende Notwendigkeit, die im ganzen Einsatzgebiet vorkommenden Pathotypen und Rassen dieses wichtigen Pflanzenpathogen kontinuierlich zu identifizieren und für weiterführende In-vitro-Untersuchungen zu sammeln. Bei diesen Untersuchungen sollen aufbauend auf dem In-vitro-Test zur Identifikation der Pathotypen und Rassen die neu gezüchteten Klone auf ihre Resistenzeigenschaften gegenüber definierten Virulenzen hin getestet werden. Diese weiterführenden Untersuchungen werden in der aktuellen zweiten Projektphase Anwendung finden, um die Neuzüchtungen von Schwarz- und Balsampappelklonen bereits im Frühstadium einer Selektion auf ihre Toleranzeigenschaften gegenüber den bereits identifizierten sowie gegebenenfalls neu auftretende Pathotypen zu unterziehen. Damit steht ein weiteres Instrument zur Verfügung, das es ermöglicht, zusammen mit den neu für den Kurzumtrieb zugelassenen Sorten detaillierte Anbauempfehlungen an die Praxis geben zu können.

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)

Korrespondierende Autorin:

Christina Fey-Wagner

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Abteilung Waldgenressourcen

Prof.-Oelkers-Str. 6

34346 Hann. Münden

E-Mail: christina.fey-wagner@nw-fva.de

URL: www.nw-fva.de, www.FastWOOD.org

Natalia Klippert

Dr. Alwin Janßen

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Untersuchungen zur abiotischen Resistenz schnellwachsender Baumarten

Analysis of abiotic resistance of fast growing trees

Marek Schildbach, Heino Wolf und Kai-Uwe Hartmann

Zusammenfassung

Für eine erfolgreiche Ausweitung der Anbaufläche schnellwachsender Baumarten in Deutschland sind – abgesehen von den politischen Rahmenbedingungen – zwei Aspekte entscheidend: die Leistungsfähigkeit und die Betriebssicherheit der Plantagen. Die Betriebssicherheit lässt sich unter anderem durch eine Vorabprüfung neuer Klone auf ihre Toleranz gegenüber biotischen und abiotischen Schäden verbessern.

Bei der Betrachtung des abiotischen Risikos ist u. a. die Fähigkeit der Bäume entscheidend, auch längere niederschlagsarme Zeiten zu überstehen. Im Rahmen des Klimawandels werden extreme Witterungsverhältnisse zu- und die Sommerniederschläge in Deutschland abnehmen. Neben der Trockenheit ist auch das Risiko von Frostschäden zu beachten, besonders wenn Klone aus wärmeren Ländern in Deutschland verwendet werden sollen. Im Rahmen des Verbundprojektes FastWOOD wurden deshalb an verschiedenen Schwarz- und Balsampappelklonen sowie an Aspenklonen Untersuchungen zur Trockenheits- und Frostresistenz durchgeführt.

Die Untersuchungen zur Resistenz gegenüber Trockenheit umfassten zum einen die Erhebung physiologischer Reaktionen auf Trockenheit (Austrocknungsversuche in der Klimakammer), zum zweiten die Erhebung struktureller Parameter der Trockenstresstoleranz und des Wasserhaushaltes (Leitfähigkeitsuntersuchungen mit dem XYL'EM-Messgerät) sowie zum dritten Bonituren von Trockenschäden auf den Versuchsflächen.

Die Frostresistenz wird durch die Ermittlung der Frühfrost-, Winterfrost- und Spätfrostfestigkeit bestimmt. Die Abschätzung der Resistenz gegenüber Früh- und Spätfrost erfolgte mit Hilfe von mehrstufigen Bonituren sowohl des Austriebes als auch des Triebabschlusses. Mit zusätzlichen Frosttests an abgeschnittenen Teilen ein- bzw. zweijähriger Pflanzen im Kälteschrank wurden die durch Frost verursachten Schäden getrennt nach Temperaturstufen erfasst. Damit konnten die Ergebnisse der Bonituren verifiziert und quantifiziert werden.

Stichworte: Trockenheitsresistenz, Frostresistenz, Leitfähigkeitsuntersuchung, Pappel

Abstract

In addition to political requirement two factors are crucial for the successful expansion of plantation areas of fast-growing tree species in Germany: the productivity and reliability of the plantations. The reliability can be enhanced by conducting preliminary trials of new clone tolerance to biotic and abiotic damages.

In an assessment of the abiotic risks, the capability of trees to withstand prolonged periods of low precipitation is essential. An increase in extreme weather conditions and reduction in summer rainfall will result from climate change. In addition to drought, the risk of frost damage must be considered, particularly if clones from warmer countries are cultivated in Germany. Therefore, as part of the FastWOOD project, investigations of drought and frost resistance were conducted on different black poplar, balsam poplar and on aspen clones.

The investigations of resistance to drought comprised, firstly, a survey of physiological responses to drought (drought trials in a climatic chamber), secondly, a survey of structural parameters of drought stress tolerance and tree water budget (xylem conductivity investigations in the XYL'EM apparatus), and thirdly, the classification of drought damage at field trials.

Frost resistance is determined from assessments of early frost, winter frost and late frost hardiness. The estimation of resistance to early and late frost was conducted in a multistage assessment in both the sprouting and shoot growth cessation phases. Additional frost damage was recorded by different temperature steps on cuttings of one and two-year old plants in a climate chamber. In this way, the results of the classification could be verified and quantified.

Keywords: drought resistance, frost resistance, xylem conductivity, poplar

1 Einleitung

Die nachhaltige und betriebssichere Produktion von Biomasse für die energetische und stoffliche Nutzung setzt das Vorhandensein und die Verfügbarkeit eines breiten Spektrums von geeigneten Sorten für verschiedene Standortbedingungen voraus. Neben der Leistungsfähigkeit ist die Resistenz gegenüber biotischen und abiotischen Schadfaktoren ein entscheidendes Kriterium für deren Anbauwürdigkeit. Bei letzteren wird dabei die Toleranz gegenüber Trockenheit zunehmend und gegenüber Frost auch weiterhin eine bedeutende Rolle spielen.

Bedingt durch den Klimawandel werden verstärkt extreme Witterungsverhältnisse auftreten. In Deutschland hat sich die bodennahe Lufttemperatur in den letzten 100 Jahren um 0,9 K erhöht. Seit 1988 können mit Ausnahme des Jahres 1996 alle Jahre gegenüber der zu Grunde gelegten Referenzperiode 1961–1990 als zu warm eingeschätzt werden (KÜCHLER u. SOMMER 2005). Beim Niederschlag ist eine Umverteilung dahingehend zu verzeichnen, dass die Sommer eher trockener, die Wintermonate dagegen in weiten Teilen Deutschlands deutlich feuchter werden (RAPP u. SCHÖNWIESE 1996). In den nächsten Jahrzehnten ist mit einer weiteren Zunahme der Durchschnittstemperatur und einem Rückgang der monatlichen Niederschlagssummen vor allem im Sommer zu rechnen (KÜCHLER und SOMMER 2005). Für Sachsen wird beispielsweise nach aktuellen Szenarien mit dem Klimamodell WEREX für die nächsten 50 Jahre ein Anstieg der mittleren Jahrestemperatur um 2 K prognostiziert. Zudem werden ausgeprägte Hitze- und Dürreperioden weit häufiger auftreten als heute (KÜCHLER u. SOMMER 2005). So zeichnen sich u. a. in Nord- und Ostachsen markante Rückgänge der Regenmengen in den Sommermonaten (Juni-August) um 15 bis 30 % ab.

Bei der Betrachtung des abiotischen Risikos ist daher zum einen die Fähigkeit der Bäume entscheidend, längere niederschlagsarme Zeiten zu überstehen. Zum anderen können trotz der Erhöhung der Durchschnittstemperaturen auch weiterhin im Winter sehr tiefe Temperaturen auftreten. Dies kann bei nicht angepasstem Vermehrungsgut zu Frostschäden führen, besonders wenn Klone aus wärmeren Ländern in Deutschland verwendet werden sollen. Wenn Biomasse aus Kurzumtriebsplantagen eine zunehmende Bedeutung bei der Energie- und Rohstoffversorgung eingeräumt werden soll, besteht daher keine Alternative zu einer umfassenden Prüfung und Evaluierung der vorhandenen und neu gezüchteten Klone, Nachkommenschaften und Sorten auf ihre Trockenheits- und Frostresistenz.

Vor diesem Hintergrund erfolgten im Rahmen des Verbundvorhabens FASTWOOD umfangreiche Untersuchungen zur abiotischen Resistenz schnellwachsender Baumarten. Dabei wurden verschiedene Verfahren und Methoden zur Bestimmung der Toleranz gegenüber Trockenheit und Frost geprüft sowie ihre Vor- und Nachteile bewertet. Im Folgenden werden die Testergebnisse vorgestellt.

2 Material

Für die Untersuchungen zur Trockenheits- und Frostresistenz konnte zum einen auf eine speziell für die Prüfung angelegte Materialanzucht, zum anderen auf Daten einer im Rahmen des Projektes FastWOOD neu begründeten Versuchsfläche sowie auf Daten von Altflächen zurückgegriffen werden.

Im Frühjahr 2009 wurden von 18 in Deutschland bzw. Italien zugelassenen Pappelklonen Steckhölzer in Töpfen herangezogen. Hierbei handelte es sich um verschiedene, häufig in der Praxis angebaute Schwarz- und Balsampappelhybride (s. Tab. 1). Für die kontinuierliche Fortführung der Untersuchungen erfolgte im Frühjahr 2011 die Anzucht weiterer 21 neu gezüchteter aber noch nicht zugelassener Klone und Nachkommenschaften. Das Pflanzenmaterial diente für Austrocknungsversuche in der Klimakammer, Leitfähigkeitsuntersuchungen mit dem XYL'EM-Messgerät sowie Frosttests im Kälteschrank.

Tabelle 1: *Klonmaterial für die Untersuchungen zur Trockenheits- und Frostresistenz*

Klon	Eltern	Sektion
Androscoggin	P. maximowicii x P. trichocarpa	Tacamahaca
Fritzi Pauley	P. trichocarpa	Tacamahaca
Hybride 275	P. maximowicii x P. trichocarpa	Tacamahaca
Muhle Larsen	P. trichocarpa	Tacamahaca
Max 1	P. nigra x P. maximowicii	Aigeiros x Tacamahaca
Max 3	P. nigra x P. maximowicii	Aigeiros x Tacamahaca
Max 4	P. nigra x P. maximowicii	Aigeiros x Tacamahaca
Monviso	P. interamericana x nigra	Aigeiros x Tacamahaca
AF 2	P. x euramericana	Aigeiros
AF 6	P. x euramericana	Aigeiros
AF 8	P. x euramericana	Aigeiros
Harff	P. x euramericana	Aigeiros
Heidemij	P. x euramericana	Aigeiros
I 214	P. x euramericana	Aigeiros
Jacometti 78B	P. x euramericana	Aigeiros
Koltay	P. x euramericana	Aigeiros
Pannonia	P. x euramericana	Aigeiros
Robusta	P. x euramericana	Aigeiros

Ende April 2010 wurde im Rahmen eines Sortenprüfversuchs der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt eine Fläche („Thammenhain II“) im Bereich der

Dahlener Heidehochfläche (Nordsachsen) mit 36 Klone à 312 Steckhölzer angelegt. Aufgrund extrem geringer Niederschlagsmengen zum Anlagezeitpunkt konnte hier die Trockenheitsresistenz in der Etablierungsphase untersucht werden. Da die im Frühjahr 2011 durchgeführte Nachbesserung wiederum einer extremen Trockenheit ausgesetzt war, bestand die Möglichkeit einer Folgeaufnahme der Trockenheitsresistenz der Klone unter natürlichen Bedingungen. Die Felduntersuchungen umfassten dabei die Ermittlung der Ausfallrate und die Bonitur der Trockenschäden.

Im Rahmen eines älteren BMELV-Projekts betreute der Staatsbetrieb Sachsenforst, Referat Forstgenetik/Forstpflanzenzüchtung seit 1998 fünf Beispielflächen für den Pappelanbau für die Papierindustrie mit einer Gesamtfläche von 50 ha (WOLF 2002). Auf diesen Flächen wurden umfangreiche ertragskundliche Erhebungen zur Biomasseproduktion verschiedener Pappel- und Weidensorten über mehrere Jahre durchgeführt (WOLF u. BÖHNISCH 2003). Anhand der Ergebnisse konnte die Wachstumsentwicklung der untersuchten Klone in Abhängigkeit von Trockenheitskennwerten (Niederschlags- und Temperaturwerte) analysiert werden.

3 Trockenheitsresistenz

Die Untersuchungen zur Resistenz gegenüber Trockenheit umfassten zum einem die Erhebung physiologischer Reaktionen auf Trockenheit (Austrocknungsversuche in der Klimakammer), zum zweiten die Erhebung struktureller Parameter der Trockenstresstoleranz und des Wasserhaushaltes (Leitfähigkeitsuntersuchungen mit dem XYL'EM-Messgerät) und zum dritten Bonituren von Trockenschäden auf Versuchsflächen.

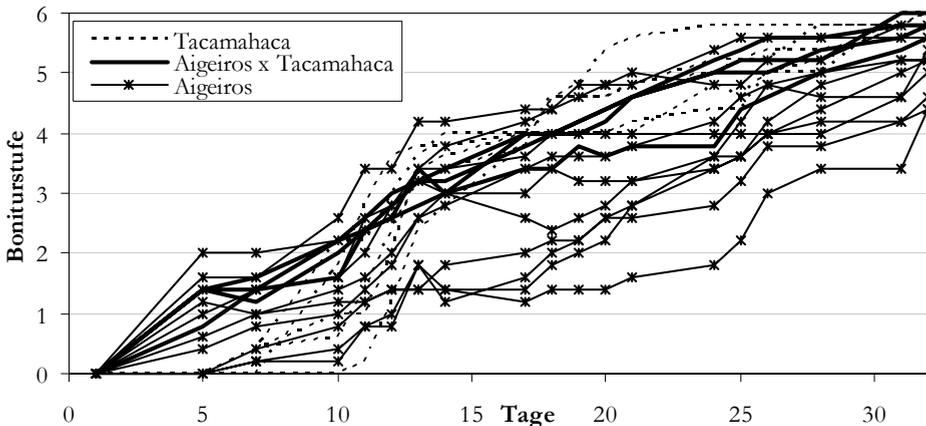
3.1 Austrocknungstest

Austrocknungstests in der Klimakammer bieten den Vorteil, dass sie unabhängig vom tatsächlichen Witterungsverlauf jederzeit mit zuvor definiertem Temperaturregime durchführbar sind. Im Sommer 2010 erfolgten dazu Untersuchungen an 18 in Töpfen abgesteckten Klonen (s. Kap. 2). Dabei wurden jeweils fünf Pflanzen je Klon komplett von der Wasserversorgung abgeschnitten, fünf Bäume pro Klon zur Kontrolle weiterhin gegossen und an je fünf weiteren Pflanzen die Erholungsreaktion nach zwei Wochen Austrocknung und anschließender Wiederbewässerung untersucht. Über einen Zeitraum von 32 Tagen erfolgte alle zwei bis drei Tage an allen Bäumen die Bonitur der Austrocknungsreaktion (s. Tab. 2).

Tabelle 2: *Austrocknungsbonitur*

Boniturnote	Beschreibung
0	Kein Schaden sichtbar
1	Nur vereinzelte Schäden sichtbar
2	Bis 25 % der Blätter geschädigt
3	Bis 50 % der Blätter geschädigt
4	Fast 100 % der Blätter geschädigt
5	Alle Blätter geschädigt
6	Triebspitzen tot (braun)

Dabei zeigte sich, dass die Sektionen Aigeiros und Tacamahaca unterschiedlich auf die zunehmende Austrocknung reagieren (s. Abb. 1). Die Schwarzpappeln weisen recht schnell erkennbare Schäden an den oberen Blättern auf. Später vergilben die Blätter kontinuierlich von unten her und werden abgeworfen. Dabei sind deutliche Klonunterschiede zu erkennen. Im Versuch in der Klimakammer zeigten beispielsweise die Klone Pannonia, AF 2 und Koltay die geringsten Reaktionen auf die Trockenheit; die Klone Robusta sowie Jacometti 78B zeichneten dagegen sehr deutlich.

Abbildung 1: *Ergebnis des Austrocknungsversuches*

Die Klone der Sektion der Balsampappeln zeigten in der ersten Woche überhaupt keine erkennbare Reaktion auf die Austrocknung. Nach etwa 10 Tagen ließen sie jedoch schlagartig die Blätter hängen, wenige Tage später vertrockneten diese Blätter ebenso plötzlich. Die Triebspitze und die obersten zwei bis drei Blätter blieben jedoch noch bis zu zwei Wochen am Leben. Nach vier Wochen Trockenheit erreichten 70 % der Bäume die Boniturstufen 5 bzw. 6. Vier Tage später bei Beendigung des Versuchs waren es 85 %.



Abbildung 2: Pappelklone im Austrocknungsversuch am 18., 25. und 32. Tag

Bemerkenswert sind die Ergebnisse des Erholungsversuchs: Von Beginn der wieder erfolgten Bewässerung an erholten sich die Klone der Sektion *Tacamahaca* innerhalb von 10 Tagen soweit, dass nur noch vereinzelte Schäden feststellbar blieben. Die Klone der Sektion *Aigeiros* hingegen verbesserten ihren Zustand nur langsam. Wie widerstandsfähig die Pappeln insgesamt sein können, zeigte sich an einem Baum des Klons Max 4, der bereits 8 Tage mit Stufe 6 (Triebspitze tot) bonitiert wurde. Nach Abschluss des Versuchs wurde er wieder bewässert und trieb auch wieder aus – selbstverständlich ohne in diesem Jahr noch wesentlich an Höhe zuzulegen.

Die Ergebnisse der Austrocknungstests müssen jedoch vor dem Hintergrund aufgetretener Störeinflüsse bewertet werden. Da in der Klimakammer infolge der Wärmeentwicklung der Tageslichtlampen zum Teil an größeren Pflanzen Blattschädigungen auftraten, die nicht durch Trockenstress verursacht wurden, kam es teilweise zur Überlagerung verschiedener Schadensymptome. Bei diesen Pflanzen konnte daher die Schadwirkung nicht eindeutig Trockenstress zugeordnet werden. Eine gesicherte Aussage zur Trockenheitsresistenz der untersuchten Klone ist daher unter den beengten Verhältnissen dieser Klimakammer nur schwierig möglich. Zukünftige Austrocknungsversuche werden deshalb in einem neu gebauten Gewächshaus durchgeführt in dem diese Störeinflüsse ausgeschlossen werden können.

3.2 Leitfähigkeitsuntersuchungen

Mit Leitfähigkeitsuntersuchungen können strukturelle Parameter der Trockenstresstoleranz erfasst werden. Unter Trockenstress kommt es zu einer Verminderung des Wasserpotenzials in der Pflanze, die zur Beeinträchtigung der normalen Zellfunktionen führen kann (KRAMER 1983). Auswirkungen sind eine Verringerung der Transpiration, die Einstellung des sekundären Dickenwachstums und Embolien im

Xylem (RUST 1999). Bei letzteren wird Luft entgegen den Kapillarkräften durch Poren in den Wänden gezogen („air seeding“-Hypothese, ZIMMERMANN 1983) und die embolisierten Gefäße können kein Wasser mehr leiten. Die Empfindlichkeit solcher Embolien hängt von der Struktur des Xylems ab und kann über Leitfähigkeitsuntersuchungen bestimmt werden. Die Erfassung erfolgt unter Verwendung des XYL'EM-Messgerätes. Dazu werden mittels Druckkammer in Zweigabschnitten künstlich Embolien erzeugt und der Leitfähigkeitsverlust gemessen (SPERRY et al. 1988, RUST 1999, INSTRUTECH 2008). Mit den Messwerten kann dann die Trockenheitsresistenz beurteilt werden. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht im geringen Material- und Platzbedarf sowie der Möglichkeit großer Probendurchsätze. Zudem sind die Untersuchungen im Labor und damit unabhängig vom Witterungsverlauf durchführbar.

In einem ersten Schritt wurden zunächst parallel zu den Austrocknungsversuchen in der Klimakammer frische sowie Trockenstress ausgesetzte Zweigsegmente von ca. 10 cm Länge verschiedener Klone genommen und deren Eingangsleitfähigkeit bestimmt. In Abbildung 3 sind die Werte für drei Klone dargestellt. Dabei zeigt sich, dass ausgetrocknete Zweige infolge von Embolien eine wesentlich geringere Eingangsleitfähigkeit aufweisen als frische. Zudem bestehen zwischen den Klonen deutliche Unterschiede in ihrer Eingangsleitfähigkeit.

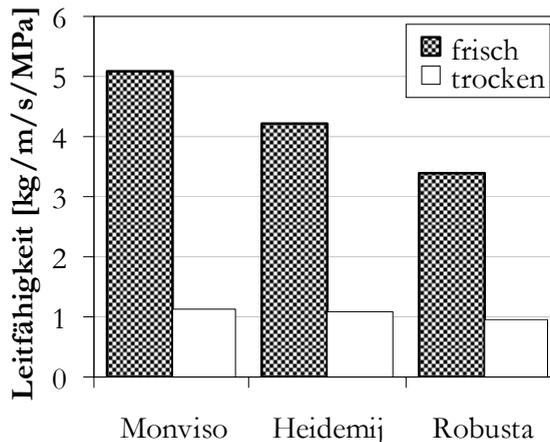


Abbildung 3: Eingangsleitfähigkeit untersuchter Pappelklone

Um Aussagen zur Trockenstresstoleranz verschiedener Klone treffen zu können, ist es üblich, so genannte Leitfähigkeitsverlustkurven zu erstellen (z. B. HACKE u. SAUTER 1995, COCHARD et al. 2007). Dazu werden Zweigsegmente zuvor definierten Druckstufen ausgesetzt und der Leitfähigkeitsverlust bestimmt. In Abbildung 4 sind die Kurven von zwei Klonen dargestellt, die sich im Austrocknungstest als unterschiedlich resistent erwiesen.

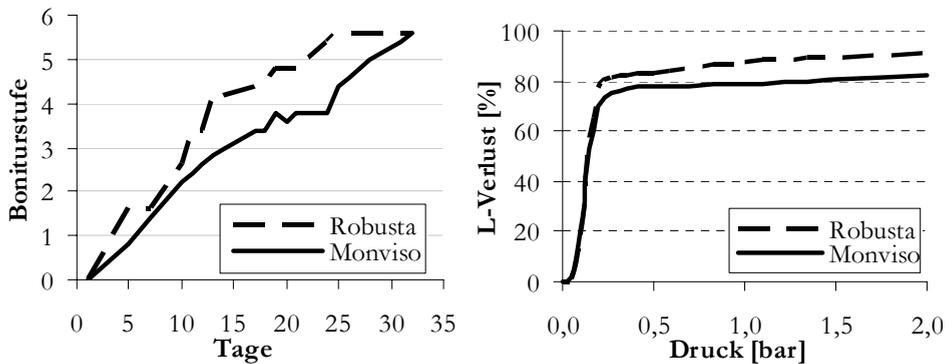


Abbildung 4: Ergebnisse der Trockenheitsuntersuchungen der Klone Robusta und Monviso, links: Austrocknungstest, rechts: Leitfähigkeitsmessung

Der durch geringere Trockenschäden und damit niedrigere Boniturstufen gekennzeichnete Klon Monviso zeigt einen anderen Kurvenverlauf als Klon Robusta. Die Leitfähigkeitsverluste sind ab einer bestimmten Druckeinwirkung kleiner, weisen auf geringere Emboliebildung und damit eine größere Trockenheitsresistenz hin.

Insgesamt wurden bisher für 18 Klone verschiedener Sektionen Leitfähigkeitsverlustkurven erstellt (s. Abb. 5). Dabei sind deutliche Unterschiede erkennbar. Die Kurven der Schwarzpappeln liegen oberhalb der Balsampappeln; die der intersektionellen Klone sind dazwischen angesiedelt. Auffallend sind die Kurven der Aspenklone, die allesamt unterhalb der anderen Sektionen verlaufen. Dies ist vermutlich auf eine Sektionsspezifität in der Xylemsstruktur und damit der Embolieanfälligkeit zurückzuführen. Dazu sollen weiterführende Untersuchungen in Zusammenarbeit mit der TU Dresden erfolgen. Der Unterschied im Verlauf der Leitfähigkeitsverlustkurven deckt sich mit den pflanzenphysiologischen Reaktionen der Sektionen auf Trockenheit bei den Klimakammertests.

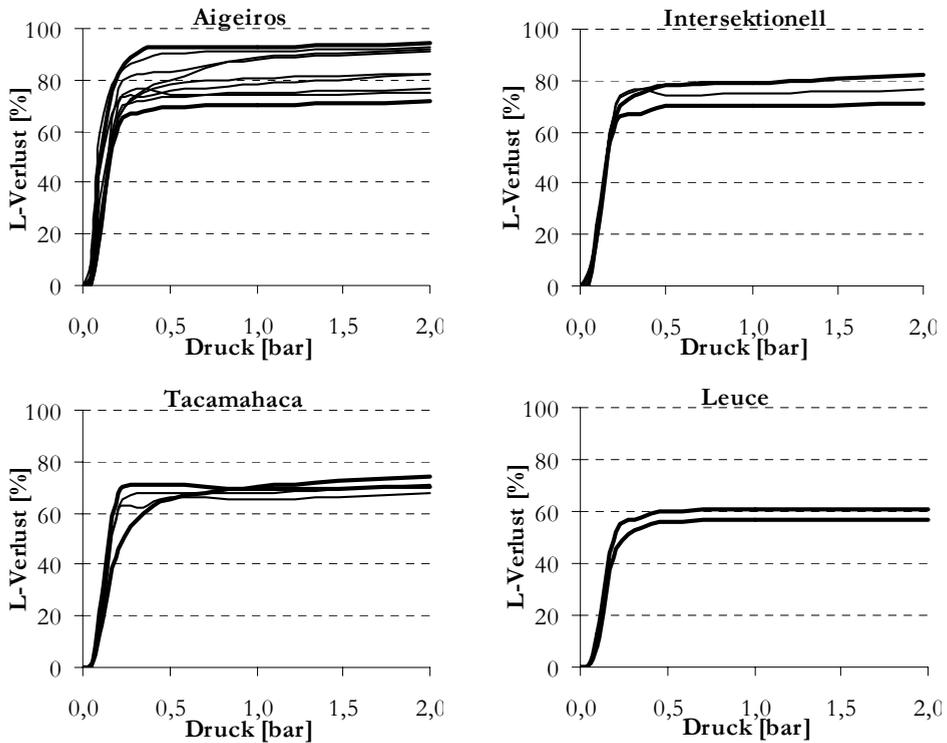


Abbildung 5: Klon-spezifische Leitfähigkeitsverlustkurven innerhalb der untersuchten Sektionen

Bei Betrachtung der Kurvenverläufe innerhalb der einzelnen Sektionen wird deutlich, dass auch hier klon-spezifische Variationen auftreten, die wiederum auf Unterschiede in der Trockenstresstoleranz schließen lassen. Die größere Bandbreite bei den Schwarzpappeln ist dabei auf die höhere Anzahl an untersuchten Klonen zurückzuführen. Bei Vergleich der Leitfähigkeitsverlustmessungen mit den Ergebnissen der Austrocknungsversuche ist nur bei einem Teil der beprobten Klone ein Zusammenhang erkennbar:

- große Trockenschäden/hohe Leitfähigkeitsverluste (z. B. AF 6, Robusta)
- geringe Trockenschäden/geringe Leitfähigkeitsverluste (z. B. Monviso)

Die Verifizierung klon-spezifischer Aussagen zur Trockenstresstoleranz mit Hilfe von Leitfähigkeitsverlustkurven erfordert daher weitere Untersuchungen in Kombination mit Austrocknungstests.

3.3 Trockenheitsbonitur auf Versuchsflächen

Die eindeutigsten Ergebnisse zur Trockenheitsresistenz werden durch die Bonitur von Trockenschäden und Zuwachsverlusten auf Versuchsflächen erzielt, da hier zu 100 % realistische Bedingungen vorliegen. Voraussetzung dafür ist zum einen ein verfügbares Versuchsflächennetz und zum anderen das Auftreten entsprechender Witterung.

3.3.1 Altflächen

Die Untersuchungen auf den Altflächen (s. Kap. 2) zeigen, dass ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Niederschlags- und Zuwachsentwicklung besteht (THIELE 2008). Abbildung 6 veranschaulicht dies am Beispiel von vier Klonen der Versuchsfläche Methau I. Dabei wird deutlich, dass der Radialzuwachs dem vorhandenen Frühjahrsniederschlag folgt. In den Trockenjahren 2000 und 2003 sind bei allen Klonen deutliche Zuwachsverluste von bis zu 60 % zu verzeichnen.

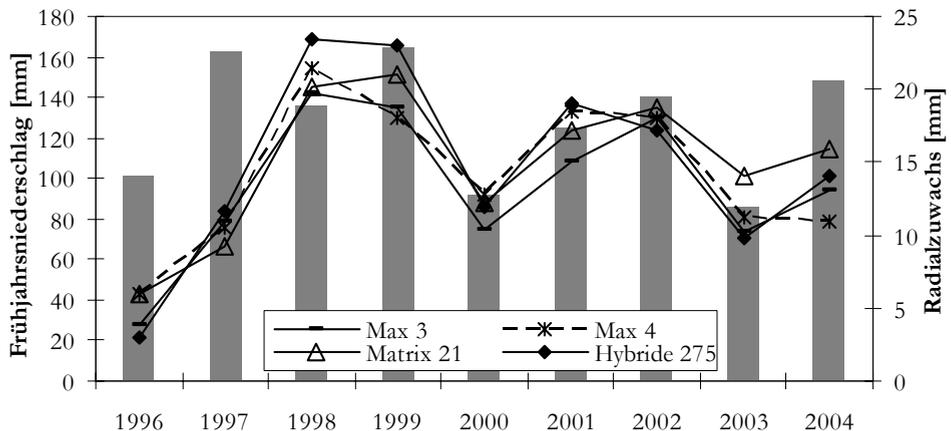


Abbildung 6: Frühjahrsniederschlag (April bis Juni) und Radialzuwachs auf der Versuchsfläche Methau I (nach Daten aus THIELE 2008)

Die unterschiedliche Reaktion der Klone auf Trockenheit kommt in Abbildung 7 zum Ausdruck. Hier ist die relative Wuchsleistung von vier Klonen im Alter 10 (Vergleich der Grundfläche zur mittleren Grundfläche der Versuchsfläche) dem Jahresniederschlag am Standort gegenübergestellt. Auf den durch sehr geringe Jahresniederschläge gekennzeichneten Flächen Skåfchen und Thammenhain (575 mm) liegt die Wuchsleistung der Max-Klone (Max 1 und Max 4) um 40 % über dem Versuchsflächenmittel, die Wuchsleistung der Klone Muhle Larsen und Androscoggin hingegen 10-40 % darunter. Auf Standorten mit höheren Jahresniederschlägen unterscheiden sich diese Klone jedoch kaum noch in ihrer Wuchsleistung.

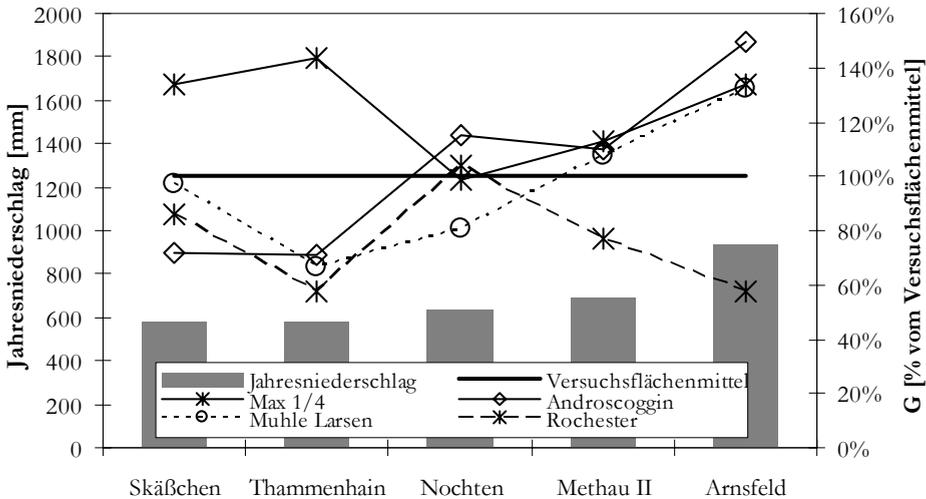


Abbildung 7: Wuchsleistung verschiedener Pappelklone auf Standorten unterschiedlicher Wasserversorgung

3.3.2 Flächenneuanlage

Ein entscheidendes Kriterium für die Beurteilung der Trockenheitsresistenz ist die Stresstoleranz der Pflanzen während der Etablierungsphase. Geringe Resistenz gegenüber Trockenheit kann hier zu hohen Ausfallraten und damit zu Ertragsverlusten bzw. Kosten durch notwendige Nachbesserungen führen.

Während der Anlage der Versuchsfläche Thammenhain (vgl. Kap. 2) im Jahr 2010 herrschte eine extrem ungünstige Witterung. Der Juni und vor allem der Juli waren zu heiß (+ 0,8 bzw. + 3,1 K im Vergleich zum langjährigen Mittel) und trocken. Vom 3. Juni bis zum 3. Juli fielen nur 3 (!) mm Niederschlag, über einen Zeitraum von 7 Wochen (bis 21.7.) nur 22 mm. Infolgedessen kam es zu einer sehr hohen Ausfallrate die wiederum Untersuchungen zur Trockenheitsresistenz der ausgebrachten Klone ermöglichte. Viele Steckhölzer trieben zwar zunächst ca. 30 cm aus, trockneten aber im Juni/Juli zurück. Die dadurch bedingten Ausfälle unterscheiden sich signifikant zwischen den Klonen und variieren deutlich. In Abbildung 8 ist die Rangfolge der untersuchten Klone dargestellt. Der durch größte Trockenschäden gekennzeichnete Klon 352 hat mit ca 75 % fast die fünffache Menge an Ausfällen im Vergleich zum Klon Max 3 (18 %).

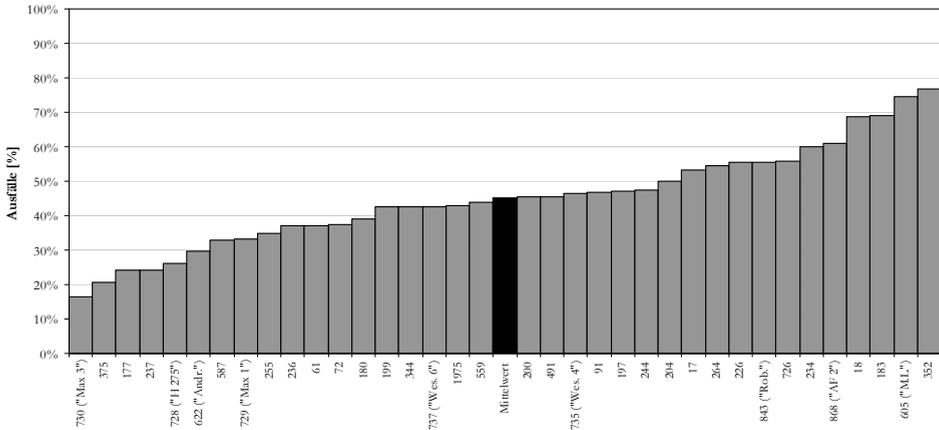


Abbildung 8: Trockenheitsbedingte Ausfälle auf der Versuchsfläche Thammenhain im Anlagejahr

Im Frühjahr 2011 wurde eine Nachbesserung aller Ausfälle auf der Versuchsfläche durchgeführt, wobei wiederum eine ungünstige Witterung auftrat. Von Anfang April bis Mitte Juni fielen mit lediglich 59 mm Niederschlag nur rund die Hälfte des langjährigen Mittels für diesen Zeitraum (122 mm). Dies ermöglichte eine Folgebonitur der Trockenschäden (s. Abb. 9).

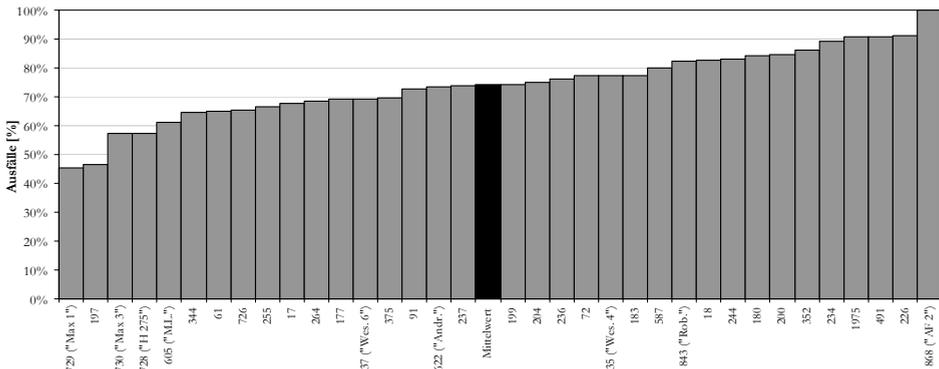


Abbildung 9: Ausfälle der 2011 nachgesteckten Pflanzen auf der Versuchsfläche Thammenhain

Die Ausfallrate variierte wiederum sehr stark zwischen den Klonen und lag mit Werten von 45 % bis 100 % noch über der des vorangegangenen Jahres. Klone die 2010 eine schlechte Anwuchsrate zeigten (z. B. 352, AF 2, Robusta) wiesen auch 2011 hohe Ausfallraten auf. Damit bestätigte sich deren geringere Trockenheitsresistenz in der Anwuchsphase gegenüber den anderen Klonen. Umgekehrt schnitten Klone mit einer geringen Ausfallrate 2010 auch 2011 besser als die übrigen Klone ab (z. B. Max 3, Hybride 275).

Zusätzlich erfolgte 2011 eine Bonitur der Trockenschäden an einjährigen Pflanzen (s. Abb. 10). Auch hier tritt eine deutliche Variation in der Schadausprägung

gung bei den verschiedenen Klonen auf. Dabei zeigt sich, dass die durch eine hohe Ausfallrate bei der Flächenanlage und Nachbesserung gekennzeichneten Klone auch häufig größere Trockenschäden bei den einjährigen Pflanzen aufweisen. Ebenso sind die geringsten Trockenschäden meistens an einjährigen Pflanzen derjenigen Klone zu verzeichnen, die sich auch durch niedrigere Ausfallraten im Anlagejahr auszeichnen.

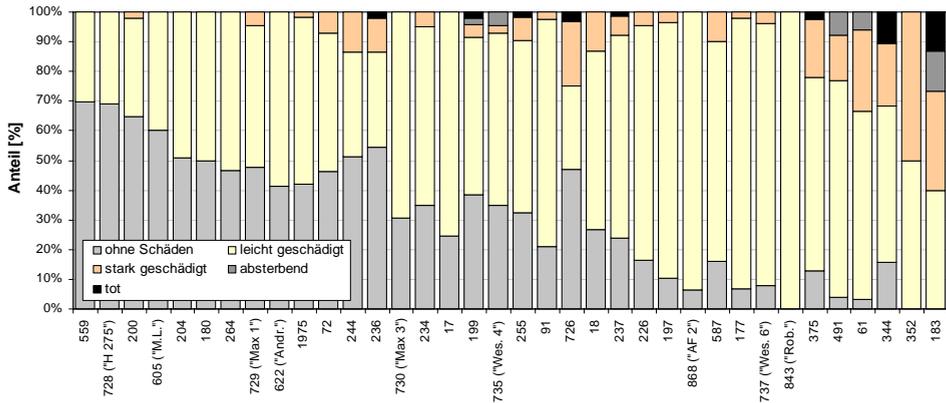


Abbildung 10: Trockenschäden an einjährigen Pflanzen auf der Versuchsfläche Thammenbain

3.4 Fazit der Trockenheitsresistenzuntersuchungen

Mit den Austrocknungstests, Untersuchungen zur hydraulischen Leitfähigkeit und Trockenheitsbonituren auf den Versuchsflächen wurden drei Methoden zur umfassenden Analyse der Trockenheitsresistenz verschiedener Klone getestet. In Tabelle 3 sind am Beispiel der Klone Max 1 und Robusta die mit den jeweiligen Verfahren erhaltenen Ergebnisse gegenübergestellt. Dabei zeigt sich, dass alle drei Methoden Klon Max 1 als trockenheitsresistenter als Klon Robusta ausweisen und damit zur gleichen Kernaussage führen. Betrachtet man jedoch die Einordnung der Ausprägung des jeweiligen Resistenzkriteriums im Vergleich zur untersuchten Grundgesamtheit der anderen Klone können die Verfahren zu abweichenden Aussagen führen (z. B. Klon Max 1: Trockenschäden an einjährigen Pflanzen auf der Versuchsfläche „gering“ aber Reaktion auf Trockenheit in der Klimakammer und Leitfähigkeitsverlust „mittel“). Die Austrocknungstests und Leitfähigkeitsuntersuchungen erfordern in Folgeuntersuchungen eine feinere Justierung und Optimierung. Hier sei einerseits auf die Durchführung der Austrocknungstests im Gewächshaus unter Ausschaltung von Störeinflüssen verwiesen. Andererseits kann durch die Erzeugung weiterer klonspezifischer Leitfähigkeitsverlustkurven die pflanzenbedingte Streuung besser erfasst werden.

Tabelle 3: Ergebnisse der Untersuchungen zur Trockenheitsresistenz für die Klone Max 1 und Robusta

	Max 1	Robusta
Anwuchs bei Trockenheit	gut	schlecht
Trockenschäden an einjährigen Pflanzen	gering	mittel
Reaktion auf Trockenheit in der Klimakammer	mittel	stark
Leitfähigkeitsverlust	mittel	hoch

4 Frostversuche

Die Frostresistenz wird im Wesentlichen durch die Ermittlung der Früh-, Winter- und Spätfrostfestigkeit bestimmt. Dazu wurden verschiedene Untersuchungen an speziell dafür herangezogenem Material (s. Kap. 2) durchgeführt. Diese umfassten Triebabschluss- und Austriebsbonituren sowie Frosttests unter kontrollierten Bedingungen.

4.1 Frühfrost

Die Gefährdung gegenüber Frühfrösten steht im engen Zusammenhang mit dem Wachstumsabschluss im Herbst und bestimmt sich im Wesentlichen dadurch, ob die Klone bei Eintritt des Frostes ihre Entwicklung für das jeweilige Jahr bereits abgeschlossen haben oder nicht. Im Herbst 2010 und 2011 wurde dazu an 18 Klonen jeweils eine Triebabschlussbonitur in Anlehnung an FRÖHLICH 1964 durchgeführt (s. Tab. 4).

Tabelle 4: Triebabschlussbonitur (nach FRÖHLICH 1964)

Bonitur-note	Beschreibung
0	Knospe braun
1	Schwache Verfärbung (einzelne Blätter oder Blattränder verfärbt)
2	Mittlere Verfärbung (mindestens 50 % der Gesamtblattfläche verfärbt)
3	Stark vergilbt (mindestens 90 % der Gesamtfläche verfärbt)
4	Sämtliche Blätter abgefallen mit Ausnahme der Spitze des Leittriebs

Wie aus Abbildung 11 hervorgeht, sind deutliche Unterschiede zwischen den Klonen erkennbar. Während die ersten Klone ihre Entwicklung bis Ende Oktober vollständig abgeschlossen haben, benötigen andere dafür bis Mitte November. Je

später der Triebabschluss erfolgt, umso anfälliger sind die Klone für auftretende Frühfröste.

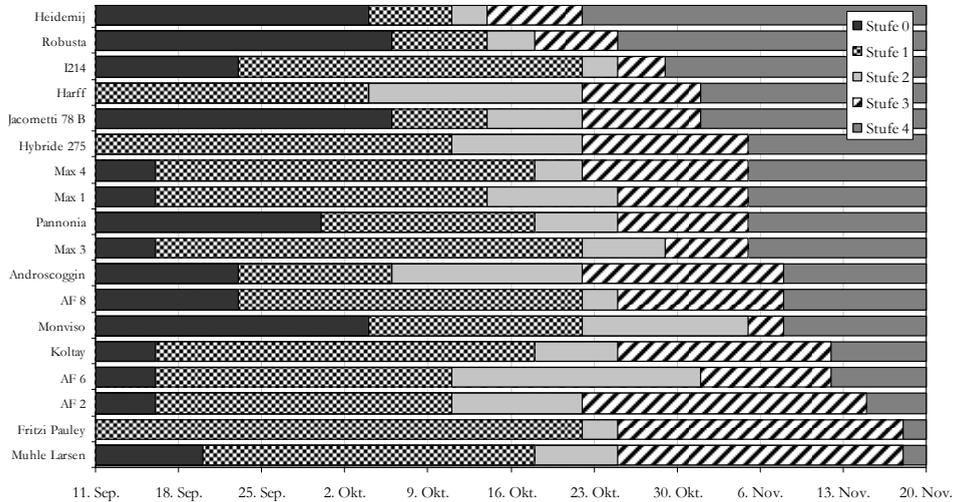


Abbildung 11: Triebabschlussbonitur 2010

4.2 Spätfrost

Entsprechend umgekehrt zum Frühfrost, hängt die Gefährdung durch Spätfrost vor allem vom Austriebszeitpunkt der Klone ab. Dazu erfolgten im Frühjahr 2010 und 2011 Bonituren zum Austriebsverhalten der einzelnen Klone (s. Tab. 5).

Tabelle 5: Austriebsbonitur (nach FRÖHLICH 1964)

Boniturnote	Beschreibung
0	Knospe braun
1	Aufbrechende Knospen (grüne Spitzen)
2	Blätter sichtbar, noch zusammengerollt
3	Blätter entfalten sich, Seitentriebe geschoben
4	Blätter voll entfaltet, Terminaltrieb geschoben

Auch hier ist eine klare Staffelung der Klone erkennbar. Insbesondere die Klone Max 1, Max 3, Max 4, Fritzi Pauley, Androscoggin und Hybride 275 treiben früh aus und weisen daher eine geringe Toleranz gegenüber auftretenden Spätfrost auf (s. Abb. 12).

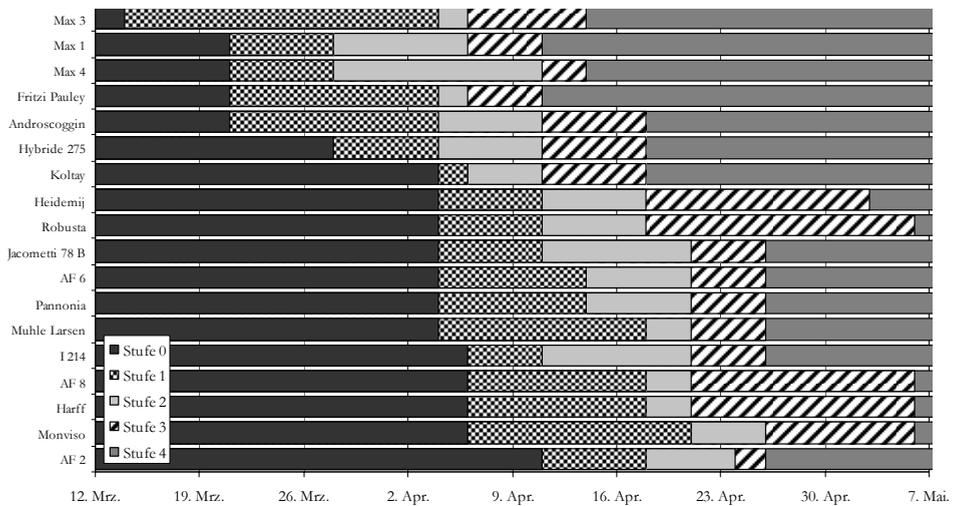


Abbildung 12: Austriebsbonitur 2011

Um diese Aussage zu verifizieren, erfolgten zusätzliche Frosttests. Dazu wurden parallel zum Austrieb in verschiedenen Abständen Zweigsegmente der Klone in feuchtem Vermehrungssubstrat abgesteckt und im Kälteschrank Temperaturen von $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bzw. $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ausgesetzt, womit ein um diese Jahreszeit durchaus realistischer Kälteeinbruch simuliert werden kann (s. Abb. 13). Die Erfassung der durch Frost verursachten Schäden erfolgte durch Ansprache der Knospen (tot/ geschädigt/lebend).



Abbildung 13: Proben im Frostschrank (links), geschädigte Knospe (rechts)

Abbildung 14 zeigt die Ergebnisse am Beispiel des Frosttest bei -10 °C für vier verschiedene Austriebstermine. Die früher austreibenden Klone wie beispielsweise Max 1, Max 3, Max 4 und Fritzi Paaley weisen einen deutlich höheren Schädigungsgrad auf als die später austreibenden Klone (u. a. AF 2, AF 8, Monviso).

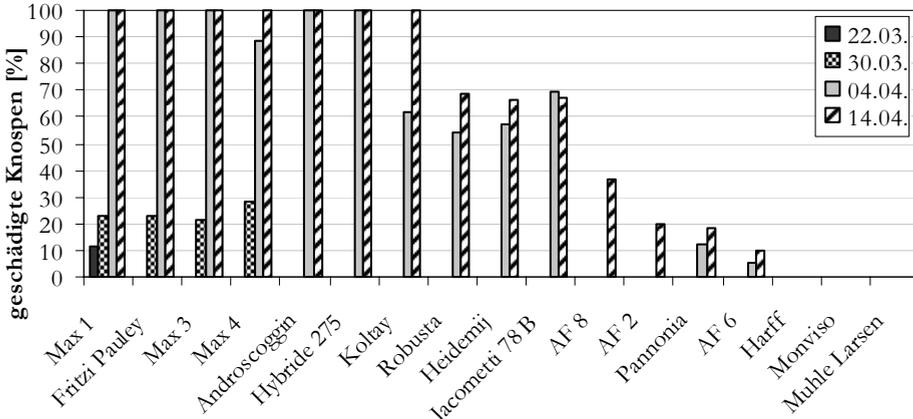


Abbildung 14: Ergebnisse der Frosttests bei -10 °C

Die Anfälligkeit gegenüber Spätfrösten wird vom jeweils vorhandenen Austriebsstadium bestimmt (s. Abb. 15). An Klone, die bei der Probennahme am 14.04.2011 die Boniturstufe 3 und 4 aufwiesen, waren die Knospen nach dem Frosttest zu 100 % geschädigt. An Klone, die zum gleichen Probennahmezeitpunkt die Boniturstufe 1 und 2 aufwiesen, variierte der Schädigungsgrad klonspezifisch zwischen 5 % und 70 %. Auffallend ist, dass trotz beginnender Enthärtung einige Klone der Boniturstufe 1 (Harff, Monviso und Muhle Larsen) Temperaturen von -10 °C unbeschadet überstehen.

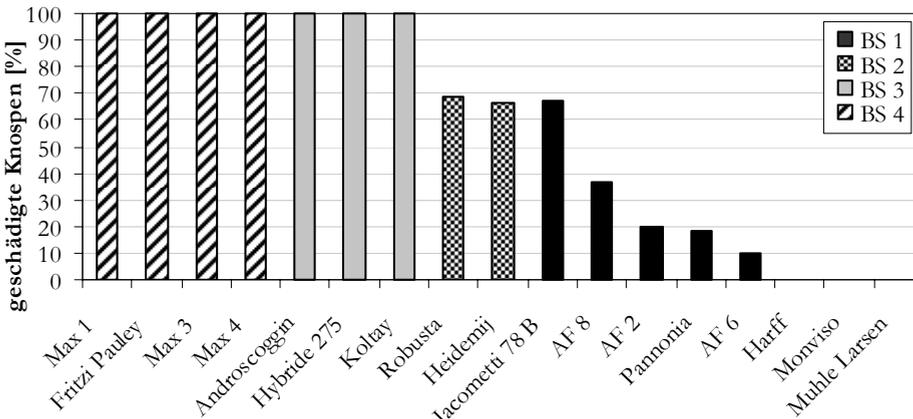


Abbildung 15: Vergleich von Schädigungsgrad in % und Boniturstufe (BS)

4.3 Winterfrost

Um Aussagen über die absolute Frosthärte zu erhalten, wurden am 15.03.2011 (Knospen aller Klone in Boniturstufe 0, beginnende Enthärtung), Zweigsegmente genommen und den für Maximalfröste in kontinental geprägten Gebieten entsprechenden Temperaturen zwischen $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Kälteschrank ausgesetzt (s. Abb. 16).

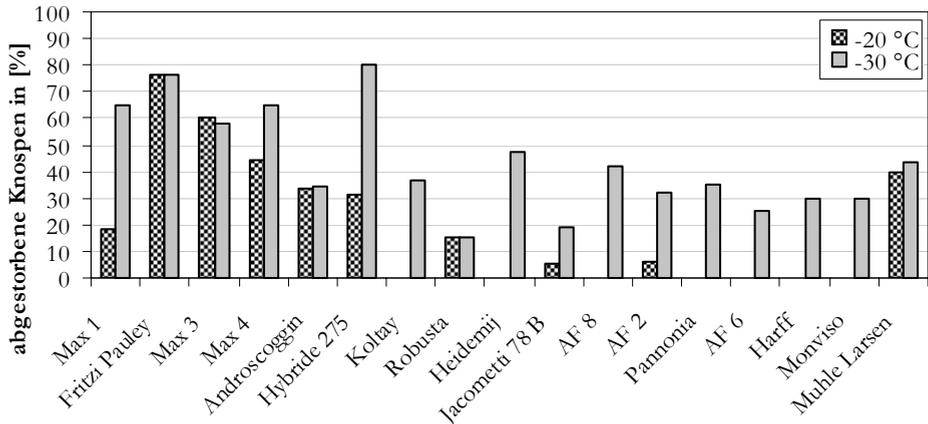


Abbildung 16: Ergebnisse der Frosttests bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Während bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ noch einzelne Klone (z. B. Harff, AF 6, Koltay) keine Schäden aufweisen, sind bei Tiefstemperaturen von $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ bei allen Klonen Schäden zu beobachten, die jedoch stark klonspezifisch variieren.

5 Schlussfolgerungen

Die unterschiedlichen Reaktionen der Klone auf Frost und Trockenheit verdeutlichen die Bedeutung abiotischer Resistenzuntersuchungen. Die dabei getesteten Verfahren erlauben umfassende Aussagen zu beiden Resistenzkriterien. Dabei verspricht die Kombination aller Verfahren den größten Erfolg. Der Vorteil besteht darin, dass sowohl Aussagen zu pflanzenphysiologischen Reaktionen als auch zu strukturellen Parametern der abiotischen Resistenz getroffen werden können. Schwerpunkte für weitere Untersuchungen werden und müssen in der Optimierung der Verfahren sowie der Analyse einer größeren Anzahl von Klonen liegen.

Literatur

- COCHARD, H.; CASELLA, E. u. MENUCCINI, M. (2007): Xylem vulnerability to cavitation varies among poplar and willow clones and correlates with yield. *Tree Physiology* 27, S. 1761-1767
- FRÖHLICH, H. J. (1964): Identifikationsmerkmale von Pappeln der Sektion Leuce. Forschungsinstitut für Pappelwirtschaft Hann. Münden. Merkblatt 2
- HACKE, U. u. SAUTER, J.J. (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
- INSTRUTECH (2008): Instruction Manual and Tutorial for Xylem Embolism Measurements
- KRAMER, P.J. (1983): Water relations of plants. Avademic Press, San Diego
- KÜCHLER, W. u. SOMMER, W., 2005: Klimawandel in Sachsen – Sachstand und Ausblick 2005. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden, 111 S.
- RAPP, J. u. SCHÖNWIESE, CH. (1996): Atlas der Niederschlags- und Temperaturtrends in Deutschland 1891-1990. Frankfurter geowissenschaftliche Arbeiten: Ser. B, Meteorologie und Geophysik; Bd. 5, Frankfurt am Main, 1996
- 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, 1999, 110 S.
- SPERRY, J.S; DONNELLY, J.R. u. TYREE, M.T. (1988): A method for measuring hydraulic conductivity and embolism in xylem, *Plant, Cell and Environment* 11, S. 35-40
- THIELE, P. (2008): Untersuchung von Biomasse und Zuwachsentwicklung von Pappel- und Weidenklonen im Kurzumtrieb unter Einbeziehung der Witterung. Diplomarbeit. TU Dresden. 119 S.
- WOLF, H. (2002): Plantations with fast growing poplars for paper industry and energy in Saxony. In: MEIER-DINKEL, A.; STEINER, W. (Hrsg.): Forest Tree Breeding in an Ecologically Oriented Forest Management System. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt 134, 120-132
- WOLF, H. u. BÖHNISCH, B. (2003): Modellvorhaben StoraEnso/Verbundvorhaben – Pappelanbau für die Papierherstellung, Abschlussbericht, Graupa
- ZIMMERMANN, M.H. (1983): Xylem structure and the ascent of sap. Springer Verlag, Berlin

Korrespondierender Autor:

Marek Schildbach
Staatsbetrieb Sachsenforst
Bonnewitzer Str. 34
01796 Pirna
E-Mail: marek.schildbach@smul.sachsen.de

Dr. Heino Wolf
Kai-Uwe Hartmann
Staatsbetrieb Sachsenforst

Identifizierung kommerziell genutzter Pappelklone – der Nutzen molekularer Marker für die Züchtung

Identification of commercially used poplar clones – benefits of molecular markers for breeding

Hilke Schröder und Matthias Fladung

Zusammenfassung

Verschiedene *Populus*-Arten sind häufig verwendete Baumarten für die Nutzung in Kurzumtriebsplantagen zur Biomasseproduktion. Jahrelange züchterische Arbeit hat jedoch bedingt, dass bei vielen im Handel befindlichen Klonen die Hintergrundinformation zu den ursprünglich verwendeten Arten bzw. Hybriden heute nicht mehr verfügbar ist. Für die kommerzielle Nutzung bestehender Klone und für die Erzeugung neuer Klone ist diese Information allerdings unbedingt notwendig. Daher konzentriert sich ein Teil des vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) geförderten Projekts „FastWOOD“ auf die Entwicklung molekularer Marker zur eindeutigen Identifizierung und genetischen Charakterisierung häufig genutzter Pappelarten und -hybriden.

Stichworte: Mikrosatelliten, SNP-Marker, Chloroplasten, Art- und Hybrididentifizierung

Abstract

Various *Populus* species are often grown in short rotation plantations for biomass production. However the background information about the original species or hybrids used to produce many of the commercially viable clones, obtained from many years of breeding research, has been lost. Yet, this information is essential for the commercial use of existing clones, and for the production of new clones. Therefore, one aspect of the project FastWOOD funded by the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection (BMELV) on behalf of the Agency for Renewable Resources (FNR) is devoted to the development of molecular markers to clarify the identification and genetic characterisation of frequently used poplar species and hybrids.

Keywords: microsatellites, SNP markers, chloroplasts, species and hybrid identification

1 Einleitung

Viele Arten der Gattung *Populus* sind sowohl intra- als auch intersektionell kreuzungskompatibel. Hybridisierungen zwischen Arten finden sowohl in der Natur statt, werden aber insbesondere ganz gezielt für die Züchtung von geeignetem Vermehrungsgut für die Anlage von Kurzumtriebsplantagen zur Biomasseproduktion genutzt, da vor allem einige Hybride ein sehr schnelles Wachstum und hohe Resistenz-Level aufweisen. Daraus ergibt sich auch die hohe ökonomische Bedeutung vieler Pappelarten (LICHT u. ISEBRANDS 2005, VANDE WALLE et al. 2007).

Jahrzehntelange züchterische Arbeit bewirkte, dass heute eine große Anzahl von Hybriden zwischen den verschiedenen Pappelarten existiert. Die heute in Kurzumtriebsplantagen verwendeten Pappelklone sind damit das Ergebnis von zahlreichen Kreuzungen und Rückkreuzungen. Das hat zur Folge, dass eine Zuordnung der heute verwendeten Klone zu Arten bzw. Hybriden nicht oder nur unzureichend möglich ist. Für die Erzeugung neuer Hochleistungsklone und deren Genehmigungsverfahren ist eine genaue Nachvollziehbarkeit der Genealogie jedoch zwingend erforderlich. Daher ist das Ziel dieser Teilprojekts die Entwicklung molekularer Marker zur eindeutigen Identifizierung und genetischen Charakterisierung von Pappel-Arten, Hybriden und Klonen.

2 Molekulare Marker

2.1 Mikrosatelliten

Mikrosatelliten sind Wiederholungen kurzer Sequenzabschnitte, die im Allgemeinen eine Kombination von zwei bis vier Basen darstellen und mehrfach hinterein-

ander wiederholt werden. Mikrosatelliten sind als molekulare Marker für genetische Charakterisierungen bestens geeignet, weil sie hoch variabel sind und in einer sehr großen Anzahl sowohl in den haploiden Chloroplasten- und Mitochondrien Genomen als auch im diploiden Kerngenom aller höheren Lebewesen vorkommen. Außerdem sind sie weitgehend über das Genom verteilt. Die Mikrosatelliten im Kerngenom werden zudem gleichermaßen von Vater und Mutter übertragen. Daher ermöglicht die Kombination aus mehreren Mikrosatelliten ein genetisches „Fingerprinting“, also die eindeutige Identifizierung einzelner Individuen und damit auch Klone.

2.2 SNP-Marker

SNPs (single nucleotide polymorphisms) sind Unterschiede einzelner Basen in der Sequenzabfolge der DNA. Ist der Unterschied innerhalb einer Art manifestiert, so ist die Verwendung dieses SNPs zur Arterkennung möglich. SNPs kommen wie Mikrosatelliten ebenfalls sowohl in den Organellen-Genomen als auch im Kern-Genom vor. Während nach einer Kreuzung das Kerngenom und damit die dort identifizierten SNPs gleichmäßig auf die Nachkommen verteilt werden, werden die SNPs in den Organellen rein mütterlich vererbt. Dies ermöglicht die Identifizierung der Kreuzungsrichtung, da über die SNPs in den Organellen immer die Mutter identifiziert werden kann. Die SNPs im Kerngenom ermöglichen dann zusätzlich die Identifizierung des einen (oder mehrerer) Kreuzungspartners.

3 Entwicklung von Mikrosatelliten-Markern

P. trichocarpa ist eine Modellart in der Molekularbiologie, deren Genom eines der ersten war, das komplett sequenziert wurde (FLADUNG 2005, TUSKAN et al. 2006). Daher sind bereits über 3000 Mikrosatelliten-Marker aus dem Genom von *P. trichocarpa* bekannt. Aus diesen wurden 290 ausgewählt und die Übertragbarkeit auf sechs weitere *Populus*-Arten getestet (*P. deltoides*, *P. nigra*, *P. tremula*, *P. tremuloides*, *P. alba*, *P. maximowiczii*). Fünfundsechzig dieser Mikrosatelliten-Marker ergaben Amplifikationsprodukte für die weiteren sechs Arten. Über verschiedene Optimierungskriterien verblieben zwölf Mikrosatelliten, die am vTI Institut für Forstgenetik eingesetzt werden (SCHRÖDER u. FLADUNG 2010 a, b). Innerhalb des Fastwood-Projekts werden insgesamt 25 Mikrosatelliten-Marker verwendet. Dieses stellt einen ausreichend großen Pool zur Identifizierung aller vorhandenen und neu zu züchtenden Pappelklone dar.

4 Entwicklung von SNP-Markern

4.1 SNPs im Chloroplastengenom

Für das Chloroplastengenom (cp) stehen zahlreiche universelle Primer-Kombinationen (= Erkennungssequenzen) zur Verfügung, die in einem weltweiten Netzwerk („Barcode of Life“ [<http://www.barcodeoflife.org/>]) für die Verwendbarkeit in vielen verschiedenen Pflanzenfamilien entwickelt wurden. Diese amplifizierbaren Bereiche liegen sowohl in kodierenden Genabschnitten als auch in nicht-kodierenden („intergenic spacer“) Regionen. Dreiundzwanzig dieser universellen Primerkombinationen wurden getestet und zusätzlich wurden 17 Primerkombinationen neu entwickelt. Von den 23 universellen Primer-Kombinationen führten nur 12, von den 17 selbst entwickelten 15 Kombinationen zu erfolgreichen Amplifikationen in allen sieben untersuchten Pappelarten. Von diesen 27 erhaltenen Amplifikaten wurden 24 ausgesucht und jeweils bei 3 bis 12 Individuen je Art sequenziert. Auf diese Weise konnten insgesamt 9 artspezifische SNPs identifiziert werden. Hierbei wurde für jede verwendete Art mindestens ein SNP gefunden (SCHRÖDER et al. 2011).

4.2 SNPs im Kern-Genom

Zur Ermittlung des väterlichen Kreuzungspartners wurde zusätzlich aus dem Kern-Genom ein Gen herangezogen, das für die Polyphenoloxidase (PPO) kodiert (FLADUNG u. BUSCHBOM 2009). Der gesamte Genabschnitt der PPO ist mit ca. 1.870 Basenpaaren (bp) zu lang, um insgesamt sequenziert werden zu können. Daher wurden zwei Primer-Kombinationen gebildet, mit deren Hilfe die PPO in etwa zwei gleichgroßen Abschnitten sequenziert werden kann. Die Primer wurden mit dem *P. trichocarpa* Genom abgeglichen („Blasten“), um sicher zu stellen, dass sie nur jeweils auf einem Chromosom der Pappeln eine Ansatzstelle finden. Auf diesem Weg können „falsch positive“ Ergebnisse ausgeschlossen werden. Falsch positiv bedeutet, dass zwar für verschiedene Pappelarten jeweils Amplifikationsprodukte gebildet werden können, diese jedoch auf unterschiedlichen Chromosomen abgebildet sein könnten und damit keinen direkten Vergleich zulassen. Für alle sieben verwendeten Pappelarten ließen sich mehrere SNPs im Genabschnitt der PPO finden (s. Tab. 1).

Tabelle 1: Anzahl artspezifischer SNPs im Kern-Genom (Genabschnitt PPO) in den sieben verwendeten Arten.

Sektion	Art	Anzahl
Tacamahaca	<i>P. trichocarpa</i>	2
	<i>P. maximowiczii</i>	5
Populus	<i>P. tremuloides</i>	6
	<i>P. tremula</i>	2
	<i>P. alba</i>	6
Aigeiros	<i>P. nigra</i>	14
	<i>P. deltooides</i>	11
Gesamt-SNPs		46

5 Anwendung der molekularen Marker

5.1 Überprüfung verwendeter Klone

Ein Ziel dieses Projektes ist (a) die Überprüfung bereits im Handel befindlicher kommerziell genutzter Klone auf die für ihre Erzeugung verwendeten Arten und (b) die Überprüfung vermutlich identischer Klone unterschiedlichen Ursprungs und damit unterschiedlichen Namens.

- a) Zu diesem Zweck wurden die „Urbäume“ der Klone Max 1 bis 5 von der NW-FVA aus Hann. Münden zur Verfügung erstellt. Eine Überprüfung der Arten mit SNP-Markern ergab die enthaltenen Arten *P. nigra* und *P. maximowiczii* in eben dieser korrekten Kreuzungsrichtung. Desweiteren wurden die Klone mit Hilfe der Mikrosatelliten-Marker auf Unterschiede zwischen den 5 Klonen hin untersucht. Wie bereits in früheren Untersuchungen festgestellt wurde, konnte belegt werden, dass die Klone Max 1 und Max 4 identisch sind, während die anderen sich jeweils voneinander unterschieden. Zusätzlich wurden dann noch weitere im Handel befindliche Max-Klone mit den „Urbäumen“ verglichen. Alle untersuchten Max-Klone waren jeweils identisch mit den „Urbäumen“. Weitere derartige Überprüfungen wurden mit den Klonen Fritzi Pauley, Androscoggin, Muhle Larsen, Brühl (1-8) und Hybride 275 mit jeweils einem korrekten Ergebnis durchgeführt.
- b) Die Klone Biehla 11 und Brauna 11 sind vermutlich einheitlichen Ursprungs und erhielten nur durch Verwendung sowohl in der ehemaligen DDR als auch in der BRD verschiedene Namen. Drei Individuen mit dem Namen Biehla 11 und vier mit dem Namen Brauna 11 wurden mit Mikrosatelliten untersucht. Sechs der insgesamt sieben Individuen wiesen identische Mikrosatelliten-

Muster auf. Das eine ebenfalls als Brauna 11 geführte Individuum mit anderem Mikrosatelliten-Muster sollte daher zukünftig nicht mehr als Brauna 11 bezeichnet werden. Die Untersuchung ergab somit, dass die Klone Biehla 11 und Brauna 11 identisch sind.

5.2 Rekonstruktion der Genealogie von Hybriden

Es ist häufiger der Fall, dass verwendete Hybride nicht F1-Hybride sind, sondern bereits in der vorangegangenen Kreuzung Hybride Verwendung fanden. In diesem Fall ist eine einfache Rekonstruktion der Elternarten mit einem einzelnen SNP-Marker nicht möglich. Abb. 1 zeigt ein Beispiel für eine Rekonstruktion einer Genealogie eines Hybriden: Als Beispiel werden die Elternarten *P. deltooides* (Mutter) und *P. trichocarpa* als Vater angenommen. Mit Hilfe der Chloroplasten-Marker, die nur rein mütterlich vererbt werden, kann unabhängig von der Generation die Art der Mutter eindeutig bestimmt werden, was im Beispiel der Abb. 1 *P. deltooides* bedeutet. Mit einem SNP-Marker im Kern-Genom ergibt sich bei reinen Elternarten ein Hybrid, der zweifelsfrei an den heterozygoten Stellen im Kern-Genom zu identifizieren ist. Soll jetzt aber bereits eine weitere Generation identifiziert werden, so kommt es zu der typischen Aufspaltung nach Mendel zu drei verschiedenen Möglichkeiten von Hybriden, von denen jeder einzelne nicht als „F2“-Generation zu erkennen ist, sondern entweder als Parental (AA bzw. TT in Abb. 1 unter „Kern 1“, Zeile „F2-Generation“) oder als F1-Hybrid (AT in Abb. 1 unter „Kern 1“, Zeile „F1-Generation“) identifiziert werden würde. Wird jetzt allerdings ein zweiter Kern-Marker hinzugenommen, so ermöglicht die Kombination dieser beiden (einer heterozygot, der andere homozygot) die Identifizierung als F2-Hybriden (s. Abb. 1: Markierungen in der dritten Zeile „Kern 1“ und „Kern 2“).

	Chloroplast	Kern 1	Kern 2
Parental	♀:A x ♂: T	♀:AA x ♂: TT	♀:GG x ♂: CC
F1-Generation	A	AT	GC
	Kreuzung der F1 untereinander		
F2-Generation	A	AA, (AT), TT	GG, GC, (CC)

Abbildung 1: Darstellung der Genealogie eines Hybriden anhand zweier Elternarten (Mutter: *P. deltooides* mit den Allelen AA und Vater: *P. trichocarpa* mit den Allelen TT). Die Markierung in der letzten Zeile zeigt eine Kombinations-Möglichkeit, bei der die Identifizierung des Hybriden als F2 möglich ist.

5.3 Nachkommenschaftsprüfung

Ein weiterer erwähnenswerter Anwendungsbereich für die Mikrosatelliten-Marker ist eine Nachkommenschaftsprüfung. Kreuzungen werden unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt. Dennoch kann es passieren, dass Fremdpollen unbenutzt zur Bestäubung führt. Da dieses nie ganz ausgeschlossen werden kann, ist eine Kontrolle der Nachkommen sowie der Vergleich mit den Kreuzungseltern anhand von Mikrosatelliten-Markern eine schnell und kostengünstig anzuwendende Methode, um die Reinheit der Nachkommen zu überprüfen. Für eine Nachkommenschaftsprüfung werden heterozygote Marker der Eltern ausgewählt (s. Abb. 2). Jeder Kreuzungselter verfügt damit über zwei Allele, von denen die Nachkommen je eins vom Vater und eins von der Mutter aufweisen müssen (s. Abb. 2). Werden andere als die elterlichen Allele bei einzelnen Nachkommen entdeckt, zeigt dies eine Verunreinigung der Kreuzung mit Fremdpollen an. Abbildung 2 zeigt vier Nachkommen einer korrekten Kreuzung, die jeweils ein mütterliches und ein väterliches Allel tragen.

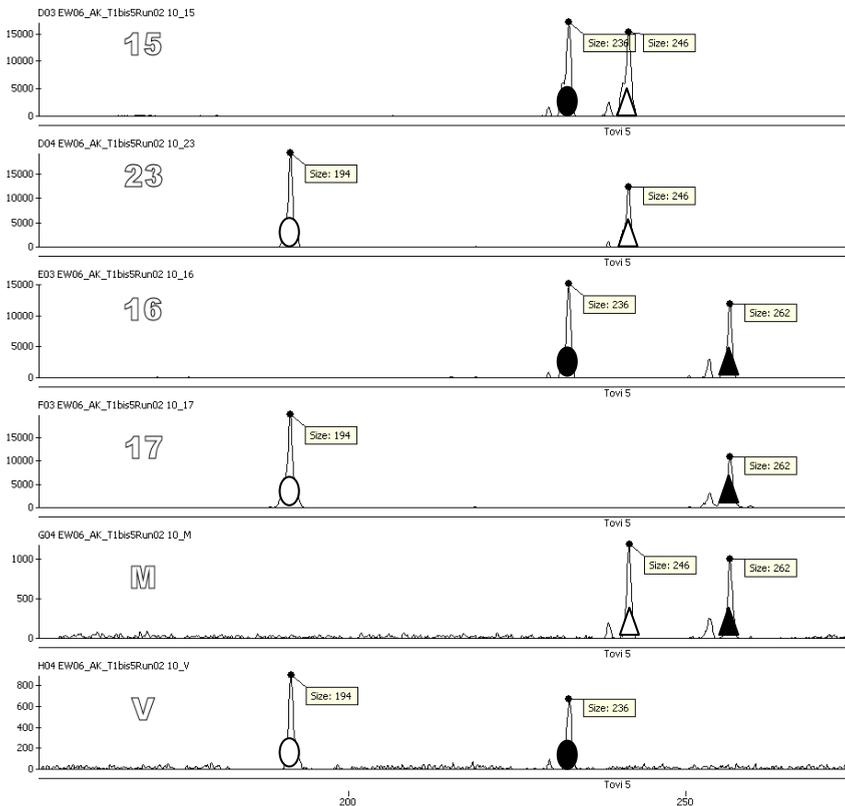


Abbildung 2: Mikrosatelliten-Muster von 2 Eltern-Individuen (V = Vater, M = Mutter) und vier Nachkommen (Nr. 15, 16, 17, 23). Die väterlichen Allele sind mit weißen bzw. schwarzen Kreisen gekennzeichnet, die mütterlichen mit schwarzen und weißen Dreiecken.

6 Schlussfolgerungen

Es gibt bisher wenige Arbeiten, die sich mit der Entwicklung speziell von SNP-Markern an Pappeln beschäftigen. Dabei handelt es sich häufig um die Suche nach intraspezifischen SNPs zur Differenzierung von Populationen (GILCHRIST et al. 2006, INGVARSSON 2005) oder um Arbeiten mit den speziell im US-amerikanischen Raum genutzten Pappelarten (MEIRMANS et al. 2007). Eine Arbeit beschreibt bereits die Suche nach SNPs in verschiedenen Kern-Genen an fünf Pappelarten (FLADUNG u. BUSCHBOM 2009). Andere Arbeiten prüfen SNPs für eine Anwendung zur Unterscheidung von Pappelarten und –klonen mit Relevanz für die züchterische Praxis (SCHROEDER u. FLADUNG 2010a, b; SCHROEDER et al. 2011).

Die hoch-polymorphen Mikrosatelliten-Marker werden nach wie vor sehr viel breiter eingesetzt, so z. B. für die Differenzierung verschiedener Klone in *P. tremuloides* und *P. deltoides* (DAYANANDAN et al. 1998, RAHMAN et al. 2000, RAHMAN u. RAJORA 2002, RAJORA u. RAHMAN 2003, VAN DER SHOOT et al. 2000). Auch die Übertragbarkeit von Mikrosatelliten-Markern von z. B. in *Populus tremuloides* entwickelten Marker auf andere *Populus*-Arten (*P. deltoides* und *P. nigra*) ist bereits nachgewiesen (DAYANANDAN et al. 1998).

Die Entwicklung der in diesem Artikel beschriebenen Mikrosatelliten- und SNP-Marker versetzen uns in die Lage, sieben Pappelarten zu unterscheiden, ihre Hybride zu erkennen und auch Klonzugehörigkeiten zu validieren. Die verwendeten Arten sind die am häufigsten für die Züchtung von kommerziellen Klone genutzten Arten. Dadurch wird es ermöglicht, Material, das für die Anpflanzung von Kurzumtriebsplantagen verwendet werden soll, auf korrekte Deklaration zu validieren.

Literatur

- DAYANANDAN, S.; RAJORA, O.P. u. BAWA, K.S. (1998): Isolation and characterization of microsatellites in trembling aspen (*Populus tremuloides*). *Theoretical and Applied Genetics* 96, 950-956
- FLADUNG, M. (2005): Amerikanische Balsampappel – Erbgut vollständig entschlüsselt. *AFZ – Der Wald* 5, 248-252
- FLADUNG M. u. BUSCHBOM J. (2009): Identification of Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) in different *Populus* species. *Trees – Structure and Function* 23, 1199-1212
- GILCHRIST, E.J.; HAUGHN, G.W.; YING, C.C.; OTTO, S.P.; ZHUANG, J.; CHEUNG, D.; HAMBERGER, B.; ABOUTORABI, F.; KALYNYAK, T.; JOHNSON, L.; BOHLMANN, J.; ELLIS, B.E.; DOUGLAS, C.J. u. CRONK, Q.C.B. (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, P.K. (2005): Nucleotide polymorphism and linkage disequilibrium within and among natural populations of European aspen (*Populus tremula* L., Salicaceae). *Genetics* 169, 945-953
- LICHT, L.A. u. ISEBRANDS, J.G. (2005): Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities. *Biomass & Bioenergy* 28, 203-218

- MEIRMANS, P.G.; LAMOTHE, M.; PÉRINET, P. u. ISABEL N. (2007): Species-specific single nucleotide polymorphism markers for detecting hybridization and introgression in poplar. *Canadian Journal of Botany*, 85, 1082-1091
- RAHMAN, M.H.; DAYANANDAN, S. u. RAJORA, O.P. (2000): Microsatellite DNA markers in *Populus tremuloides*. *Genome* 43, 293-297
- RAHMAN, H.M. u. RAJORA, O.P. (2002): Microsatellite DNA fingerprinting, differentiation and genetic relationships of clones, cultivars and varieties of six poplar species from three sections of the genus *Populus*. *Genome* 45, 1083-1094
- RAJORA, O.P. u. RAHMAN, M.H. (2003): Microsatellite DNA and RAPD fingerprinting, identification and genetic relationships of hybrid poplar (*Populus* × *canadensis*) cultivars. *Theoretical and Applied Genetics* 106, 470-477
- SCHRÖDER, H. u. FLADUNG, M. (2010A): SSR and SNP markers for the identification of clones, hybrids, and species within the genus *Populus*. *Silvae Genetica* 59 (6), 257-263
- SCHRÖDER, H. u. FLADUNG, M. (2010B): Unterscheidung von Pappelarten und -klonen – Molekulare Marker machen's möglich. *Forst und Holz* 11, 18-21
- SCHRÖDER, H.; HOELTKEN, A.M. u. FLADUNG, M. (2011): Differentiation of *Populus* species using chloroplast SNP-markers - essential for comprehensible and reliable poplar breeding. *Plant Biology* doi:10.1111/j.1438-8677.2011.00502.x
- TUSKAN, G.A.; DIFAZIO, S.; JANSSON, S.; BOHLMANN, J. ET AL. (2006): The genome of black cottonwood, *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray). *Science* 313, 1596-1604
- VAN DER SCHOOT, J.; POSPIŠKOVÁ, M.; VOSMAN, B. u. SMULDERS, M.J.M. (2000): Development and characterization of microsatellite markers in black poplar (*Populus nigra* L.). *Theoretical and Applied Genetics* 101, 317-322
- VANDE WALLE, I.; VAN CAMP, N.; VAN DE CASTEELE, L.; VERHEYEN, K. u. 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
Johann Heinrich von Thünen- Institut (vTI)
Institut für Forstgenetik
Sieker Landstraße 2
22927 Großhansdorf
E-Mail: hilke.schroeder@vti.bund.de
URL: www.vti.bund.de

Dr. habil. Matthias Fladung
Johann Heinrich von Thünen- Institut (vTI)
Institut für Forstgenetik

Klonidentifizierung bei Zuchtmaterial der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) mit nuklearen Mikrosatellitenmarkern

Clone identification of breeding material from black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) from nuclear microsatellite markers

Heike Liesebach und Gisela Naujoks

Zusammenfassung

Die Robinie wird aufgrund ihrer geringen Standortsansprüche, des schnellen Jugendwachstums und des Vermögens zur schnellen vegetativen Ausbreitung über Wurzelaufläufer weltweit für verschiedene Zwecke angebaut. In den letzten Jahren wurde sie auch in Deutschland zunehmend interessanter, einerseits wegen ihres besonders dauerhaften Holzes, aber auch für den Anbau im Kurzumtrieb zur Energieholzproduktion. Für die züchterische Verbesserung durch Selektion ist eine sichere Methode der Klonidentifizierung erforderlich, um Duplikate in der weiteren vegetativen Vermehrung zu vermeiden. Die Nutzung nuklearer Mikrosatellitenmarker macht eine eindeutige Klonunterscheidung möglich.

Stichworte: *Robinia pseudoacacia* L., Klonidentifizierung, nukleare Mikrosatellitenmarker, Selektion, Züchtung

Abstract

Black locust is grown in plantations world-wide for a range of purposes due to its non-specific site requirements, rapid early growth, and rapid vegetative expansion via root suckers. In recent years, it has become increasingly interesting in Germany, partially because of its particularly durable wood, but also because of its potential in short rotation plantations for wood energy production. For the genetic improvement of black locust through selection, a reliable method of clone identification is necessary to avoid duplicates in subsequent vegetative reproduction. The use of nuclear microsatellite markers enable clear distinctions between clones to be made.

Keywords: *Robinia pseudoacacia* L., clone identification, nuclear microsatellite markers, selection, breeding

1 Einleitung

Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) wurde vor fast 400 Jahren aus Amerika zuerst als Zierbaum in Europa eingeführt. Später pflanzte man sie z. B. in Weinbaugebieten, aber auch in anderen Regionen als Alleebaum und zur Kippen- und Böschungsbefestigung an. Das sehr witterungsbeständige Holz ließ sich gut für Rebpfähle und als Grubenholz verwenden. In jüngerer Zeit kamen weitere Verwendungsmöglichkeiten, unter anderem für Parkett, Gartenmöbel und Spielplatz-ausrüstungen, hinzu.

Robinienbestände in Deutschland wurden früher forstlich kaum bewirtschaftet und haben sich lange Zeit meistens spontan durch vegetative und generative Ausbreitung entwickelt. Sie weisen häufig eine schlechte Stammform, d. h. krummen Wuchs, tief ansetzende Beastung und manchmal strauchförmigen Habitus auf.

Besonders in den 1950er (SCHRÖCK 1953) und 1980er Jahren (EWALD et al. 1992, NAUJOKS et al. 1993) wurden Robinien mit geradschaftigem Wuchs in verschiedenen Beständen selektiert und später vegetativ vermehrt, um Versuchsflächen zur Klonprüfung und Samenplantagen anzulegen. Da Robinienholz einen hohen Heizwert hat, ergab sich bei der Suche nach alternativen Energiequellen im letzten Jahrzehnt ein neues Zuchtziel: die Selektion und Vermehrung von Robinien, die sich zum Anbau im Kurzumtrieb für die Energieholzproduktion eignen (GRÜNEWALD et al. 2009).

Robinien können sich in Beständen über Wurzelausläufer vegetativ ausbreiten. Dadurch besteht bei der Selektion anhand phänotypischer Merkmale die Möglichkeit, bei der Auswahl mehrerer Individuen aus einem Bestand evtl. mehrfach denselben Klon zu erfassen. Die früher eingesetzte Methode zur genetischen Charakterisierung mit Isoenzymmarkern konnte diese Fälle wegen der geringen Variabilität jedoch nur teilweise aufdecken (HERTEL u. SCHNECK 2003).

Wenn bestimmte Zuchtziele mit der Selektion von Klonen erreicht werden sollen, ist deren sichere Unterscheidung notwendig, zumal die vegetative Vermehrung über In-vitro-Kulturen ein relativ aufwändiges Verfahren ist. Eine Methode zur Klonidentifizierung basierend auf molekularen Markern – nuklearen Mikrosatelliten – steht jetzt zur Verfügung.

2 Material und Methoden

Im Rahmen der Robinienzüchtung werden seit 1990 ausgewählte Robinienklone, die aus eigenen Selektionen stammen oder von anderen Institutionen zur Verfügung gestellt wurden, im vTI – Institut für Forstgenetik (Standort Waldsiefersdorf) in vitro etabliert und vegetativ vermehrt. Im Zusammenhang mit Untersuchungen in den durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) geförderten Projekten FastWOOD und Tetraploide wurde das Spektrum an Klonen erweitert und umfasst aktuell 61 Klone. Weitere werden in nächster Zukunft hinzukommen.

Zur Klonidentifizierung stehen hochvariable nukleare Mikrosatellitenmarker zur Verfügung, die für die Baumart Robinie in Japan entwickelt wurden (LIAN u. HOGETSU 2002, LIAN et al. 2004, MISHIMA et al. 2009). Am vTI - Institut für Forstgenetik wurde eine sehr effektive Methode mit 14 Genloci in 2 Multiplex-PCR-Sets etabliert (LIESEBACH u. EWALD 2011, eingereicht).

Die Variation an den untersuchten Genloci ist so groß, dass eventuell vorhandene Ramets von Klonen sicher identifiziert werden können. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass Proben mit identischem Multilocus-Genotyp zufällig identisch und nicht vegetative Abkömmlinge eines Klons sind, beträgt für nichtverwandte Individuen im Mittel nur $5 \cdot 10^{-10}$ und für Vollgeschwister $6 \cdot 10^{-5}$.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die genetische Charakterisierung der 61 aktuell *in vitro* kultivierten Klone mit Mikrosatellitenmarkern ergab, dass die Anzahl genetisch verschiedener Klone mit nur 27 wesentlich geringer ist als angenommen. Die Tabelle 1 zeigt einen Ausschnitt aus der Datenbank, der einige Beispiele verdeutlichen soll.

In früheren Jahrzehnten wurden zahlreiche geradschaftige Robinien in verschiedenen Beständen in Brandenburg selektiert, wobei offensichtlich häufig mehrere Individuen eines Klons aus demselben Bestand erfasst wurden (Genotypen A, B, C, G und H in Tab. 1). Auch Fahrwege scheinen kein Hindernis für eine Ausbreitung über Wurzeläusläufer darzustellen, wie man mit Bezug auf die Arbeit von SCHRÖCK (1953) an den Robinien nahe dem Ort Hasenholz und aufgrund eigener Beobachtung im Revier bei Sauen annehmen kann.

Tabelle 1: Ausschnitt aus der Liste der Robinienklone

Klonbezeichnung	Genotyp	Materialherkunft
2427	A	Hasenholz (links vom Weg nach Buckow)
2466	A	Hasenholz (rechts vom Weg nach Buckow)
2472	A	Hasenholz (rechts vom Weg nach Buckow)
2494	A	Hasenholz (rechts vom Weg nach Buckow)
2411	G	Hasenholz (links vom Weg nach Buckow)
2458	H	Alte Tongrube bei Buckow
2485	B	Langer Grund bei Buckow
2499	B	Langer Grund bei Buckow
2802	C	Revier bei Sauen
2803	C	Revier bei Sauen
Rcr	K	'Casque rouge'
Appalachia 4138	D	Botan. Garten Hann. Münden
AppHM	D	In-vitro-Kultur Waldsiefersdorf
1935	D	Phänologischer Garten Großhansdorf
Allegheny 4192	D	Steiner Group 2009
Algonquin 4194	D	Steiner Group 2009
Appalachia 4191	E	Steiner Group 2009

Der Klon 'Casque rouge' (*R. × margarettiae* Ashe, *R. hispida* L. × *R. pseudoacacia*) war in die Untersuchungen zur Kurzumtriebseignung einbezogen worden, da er sich bereits auf Versuchsflächen, die im Rahmen wissenschaftlicher Kooperation in China angelegt worden sind, unter extremer Trockenheit bewährt hat. Er hat einen einmalig vorkommenden Genotyp, was auch zu erwarten war, da er sich sowohl taxonomisch als auch phänotypisch durch seine rote Blütenfarbe und einen stark verzweigten Wuchs von allen anderen Klonen unterscheidet.

Ein Klon mit der Bezeichnung „Appalachia 4138“ wurde nach den zur Verfügung stehenden Informationen ca. im Jahr 1958 über die Firma Pein & Pein an den Botanischen Garten in Hannoversch Münden gebracht. In der dortigen Forstlichen Versuchsanstalt wurde er dann vermehrt und vor einigen Jahrzehnten in die phänologischen Gärten gepflanzt, u. a. auch in Großhansdorf. Von diesem Klon wurde im Jahr 2008 Zweigmaterial aus der Versuchsanstalt Hann. Münden nach Waldsiefersdorf zur In-vitro-Etablierung gegeben und dann mit der Bezeichnung „AppHM“ geführt. Die genetische Analyse ergab, dass alle Proben dieses Klons aus Hann. Münden, Waldsiefersdorf oder Großhansdorf wie erwartet identisch

sind (Genotyp D in Tabelle 1). Dieser Klon zeigt sowohl im Botanischen Garten in Hann. Münden als auch bei Pflanzen ein Jahr nach der Überführung in Erdkultur in Waldsiefersdorf als Besonderheit panaschierte Blätter mit unregelmäßig geformten weißen und hellgrünen Flecken (s. Abb. 1). Das Merkmal der mehr oder weniger stark panaschierten Blätter wird jedoch nicht bei jeder Pflanze dieses Klons und nicht in jedem Jahr gleichermaßen ausgeprägt. Blätter von inzwischen ca. 20 m hohen Bäumen im phänologischen Garten in Großhansdorf zeigten 2011 nur sehr vereinzelt hellgrüne, aber keine weißen Flecken.



Abbildung 1: Irregulär geformte weiße und hellgrüne Flecken auf Blättern des Klons „AppHM“

Im Jahr 2009 wurde nach Kontaktaufnahme mit dem USDA-NRCS Plant Materials Center in Corning, New York Robinien-Klonmaterial aus den USA nach Waldsiefersdorf geliefert, das als Basis für die In-vitro-Vermehrung und Anbauprüfung auf Versuchsflächen in Deutschland dienen sollte. Dabei handelte es sich um Proben von jeweils zwei verschiedenen Ramets von insgesamt drei Klonen der sogenannten „Steiner Group“. Diese Klone wurden neben vielen anderen 1938 bis 1943 an natürlichen Standorten selektiert, später vermehrt und auf Versuchsflächen geprüft. In den 1950er bis 1980er Jahren erhielten drei Klone mit herausragenden Wuchs- und Resistenzeigenschaften die Namen 'Appalachia', 'Allegheny' und 'Algonquin', wurden 1987 als Klonmischung zugelassen und werden seitdem als „Steiner Group black locusts“ vom National Plant Materials Center in Beltsville/Maryland (USA) vertrieben. Die genetische Charakterisierung dieser 6 Proben zeigte, dass erwartungsgemäß die zwei Ramets jedes Klons identisch waren. Außerdem waren auch die Proben der Klone 'Allegheny' und 'Algonquin' identisch, während sich der Klon 'Appalachia' davon unterschied. Der Vergleich mit genetisch bereits bekanntem Robinienmaterial zeigte eine Identität der neu gelieferten

Klone 'Allegheny' und 'Algonquin' mit dem früheren 'Appalachia' aus Hann. Münden, Großhansdorf bzw. Waldsiefersdorf (Genotyp D). Wann und wo hier eine Verwechslung eingetreten ist, kann zurzeit nicht geklärt werden.

In der Materialbeschreibung zu den 3 Klonen der Steiner Group werden auch die ursprünglichen Selektionsorte genannt. Beim Aufsuchen dieser Orte in der Karte fällt auf, dass die von Wald umgebenen Ortschaften im Bundesstaat West Virginia, in deren Nähe die Klone 'Allegheny' und 'Algonquin' selektiert wurden, nur 4 km Luftlinie voneinander entfernt liegen. Es wäre also möglich, dass 'Allegheny' und 'Algonquin' aus demselben Wald stammen und dass es sich hier von Anfang an um Individuen desselben Klons gehandelt hat. In einer Untersuchung von CHANG et al. (1998) nahm der größte gefundene Klonkomplex der Robinie im natürlichen Verbreitungsgebiet eine Fläche von 1,3 ha ein.

Das neue Material aus Amerika wurde seit 2009 weiter *in vitro* vermehrt, da es in Versuchsflächen einbezogen werden soll. Dabei zeigte sich beim Klon 'Algonquin' nach 18-monatiger In-vitro-Kultivierung einmalig an einem Spross eine Panaschierung der Blätter. Alles weitere Material weist sowohl *in vitro* als auch in der Erdkultur bisher vollständig grüne Blätter und keine Anzeichen von Panaschierungen auf. Es ist noch unbekannt, ob diese irregulären Muster durch Transposons, Virusinfektionen oder durch eine spontane Mutation des Kern- oder Chloroplastengenoms hervorgerufen werden. Ob das „Originalmaterial“ in den USA diesen Chlorophylldefekt ebenfalls zeigt, muss noch geklärt werden. Diese Beobachtung macht darauf aufmerksam, dass bei fortwährender vegetativer Vermehrung über viele Jahrzehnte durchaus genetisch verschiedene Klonlinien entstehen können, die sich jedoch mit nuklearen Mikrosatellitenmarkern, die nur sehr kleine Ausschnitte aus dem Kerngenom erfassen, nicht nachweisen lassen.

4 Schlussfolgerungen

Einige der selektierten geradschaftigen Klone befinden sich bereits auf Versuchsflächen zur Klonprüfung oder wurden in Samenplantagen einbezogen. Die nun festgestellte teilweise Identität wird die Datenauswertung von Versuchsflächen dahingehend beeinflussen, dass weniger Prüfglieder, dafür aber mehr Parzellen mit den jeweiligen Klonen vorhanden sind.

Bei einer Samenplantage mit geradschaftigen Robinien ist die Klonanzahl ebenfalls geringer als ursprünglich angenommen. Eine zurzeit laufende Analyse der Bestäubungsverhältnisse und der Vergleich der Ergebnisse mit der genetischen Variation und Inzuchtrate in Saatgut aus einem Robinienbestand mit klonaler Struktur werden weitere Erkenntnisse bringen.

Bei der künftigen Selektion und In-vitro-Etablierung neuer Robinienklone ist die Analyse mit Mikrosatellitenmarkern bei Beginn der Arbeiten notwendig, um Duplikate auszuschließen.

Literatur

- CHANG, C.-S.; BONGARTEN, B. u. HAMRICK, J. (1998): Genetic Structure of Natural Populations of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) at Coweeta, North Carolina. *Journal of Plant Research* 111, 17-24
- EWALD, D.; NAUJOKS, G.; HERTEL, H. u. EICH, J. (1992): Hat die Robinie in Brandenburg eine Zukunft? *AFZ-Der Wald* 47, 738-740
- GRÜNEWALD, H.; BÖHM, C.; QUINKENSTEIN, A.; GRUNDMANN, P.; EBERTS, J. u. VON WÜHLISCH, G. (2009): *Robinia pseudoacacia* L.: a lesser known tree species for biomass production. *Bioenergy Research* 2, 123-133
- HERTEL, H. u. SCHNECK, V. (2003): Untersuchungen zur genetischen Struktur eines Robinienbestandes (*Robinia pseudoacacia* L.) in Brandenburg. In: WELLING, M. (Hrsg.): *Bedrohung der biologischen Vielfalt durch invasive gebietsfremde Arten - Erfassung, Monitoring und Risikoanalyse*, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster, 257-263
- LIAN, C. u. HOGETSU, T. (2002): Development of microsatellite markers in black locust (*Robinia pseudoacacia*) using a dual-suppression-PCR technique. *Molecular Ecology Notes* 2, 211-213
- LIAN, C.; OISHI, R.; MIYASHITA, N. u. HOGETSU, T. (2004): High somatic instability of a microsatellite locus in a clonal tree, *Robinia pseudoacacia* TAG *Theoretical and Applied Genetics* 108, 836-841
- LIESEBACH, H. u. EWALD, E. (2011): Optimisation of a multiplex PCR assay of nuclear microsatellite markers for population genetics and clone identification in *Robinia pseudoacacia* L. eingereicht.
- MISHIMA, K.; HIRAO, T.; URANO, S.; WATANABE, A. u. TAKATA, K. (2009): Isolation and characterization of microsatellite markers from *Robinia pseudoacacia* L. *Molecular Ecology Resources* 9, 850-852
- NAUJOKS, G.; HERTEL, H. u. EWALD, D. (1993): Geradschaftige Robinien - eine Baumart für Ausgliederungsflächen. In: BRÖKER, F.W. (Hrsg.): *Europa im Umbruch*, Kommissionsverlag Max Wiedebusch, Hamburg, 305-306
- SCHRÖCK, O. (1953): Beitrag zur Züchtung der Robinie (*Robinia pseudoacacia*). *Der Züchter* 23, 266-272

Korrespondierende Autorin:

Dr. Heike Liesebach

Johann Heinrich von Thünen- Institut (vTI)

Institut für Forstgenetik

Sieker Landstraße 2

22927 Großhansdorf

E-Mail: heike.liesebach@vti.bund.de

URL: <http://www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html>

Gisela Naujoks

Johann Heinrich von Thünen- Institut (vTI)

Institut für Forstgenetik

Genetische Charakterisierung von Robinienbeständen (*Robinia pseudoacacia* L.) in Deutschland mit nuklearen Mikrosatelliten-Markern: Erkenntnisse zu ihrer Bestandesbegründung

Genetic characterisation of black locust stands (*Robinia pseudoacacia* L.) in Germany with nuclear microsatellite markers: background on population history

Heike Liesebach

Zusammenfassung

Die Robinie findet zunehmendes Interesse als Baumart für den Anbau im Kurzumtrieb zur Energieholzproduktion, besonders in Regionen mit ertragsschwachen Böden. Im Rahmen des FastWOOD-Projekts (Teilprojekte 7 und 8) wurden deshalb in vorhandenen Robinienbeständen im Alter von 20, 40 und 60 Jahren neun Modellflächen eingerichtet, um verschiedene Bewirtschaftungsvarianten zu testen. Robinien haben die Fähigkeit, sich über Wurzeläusläufer vegetativ in Beständen auszubreiten und größere Klonkomplexe aus genetisch identischen Individuen zu bilden. Dieser Aspekt muss bei der Bewertung ertragskundlicher Daten berücksicht-

sichtigt werden, da solche Klonkomplexe Flächen besiedeln können, die teilweise größer als die hier bearbeiteten Versuchsflächen und Parzellen sind.

Mit hochvariablen molekularen Markern (nukleare Mikrosatelliten, SSRs) können Klone sicher identifiziert und weitere Informationen zu genetischen Strukturen gewonnen werden. So lassen sich Schlussfolgerungen zur Bestandesgeschichte 1.) aus der Anzahl Multilocusgenotypen bezogen auf die Anzahl der untersuchten Individuen, 2.) aus der räumlichen Verteilung der identischen Multilocusgenotypen und 3.) aus einem Vergleich der Populationsstrukturen zwischen den Modellflächen ziehen.

Sechs der Modellflächen wurden vor ca. 20 oder vor ca. 40 Jahren mit Sämlingen begründet, sie zeigen teilweise eine beginnende vegetative Ausbreitung einzelner Klone. Drei Flächen weisen deutliche klonale Strukturen auf. Es ist ersichtlich geworden, dass in den 1940er und 1950er Jahren auch mit lokal gewonnenen Wildlingen oder Wurzelschnittlingen aufgeforstet wurde.

Bei einer Zufallsverteilung der verschiedenen Genotypen auf den Versuchsflächen ist eine ertragskundliche Auswertung ohne Einschränkungen möglich, während auf zwei Flächen der Altersgruppe 60 Jahre die unterschiedliche klonale Zusammensetzung der Parzellen bei der Interpretation der Ergebnisse einbezogen werden muss.

Stichworte: *Robinia pseudoacacia* L., nukleare Mikrosatelliten, Klonidentifizierung, Populationsgenetik, Bestandesgeschichte

Abstract

Increasing interest is being directed to black locust as a plantation species for short rotation coppice for wood energy production, particularly in regions with less productive soils. Consequently, as part of the FastWOOD project (subprojects 7 and 8), new trial sites have been established in existing black locust stands aged 20, 40 and 60 years old to test different silvicultural treatments. Black locust has a capacity for vegetative propagation in stands through the spread of root suckers, and to form larger clone complexes from genetically identical individuals. This factor must be considered in the analysis of yield data because these clone complexes can colonise areas which sometimes extend beyond the study sites and plots established.

With highly variable molecular markers (nuclear microsatellites, SSRs), clones can be identified with certainty, and additional information about genetic structure can also be obtained. Thus conclusions about stand population can be obtained from 1) the number of multi-locus genotypes based on the number of individuals tested, 2) the spatial distribution of identical multi-locus genotypes, and 3) a comparison of population structures between trials.

Six of the trials were established with seedlings about 20, or 40 years ago. At some trials, vegetative propagation of some clones is evident. Three trials show

distinct clonal structures. It has become apparent that, in the 1940s and 1950s, local wild plant stock or root cuttings were also planted.

A random distribution of the different genotypes at the study sites permits yield analyses without restriction, whereas, on two sites in the 60-year-old trials, the different clonal composition of the plots must be considered in the interpretation of the biomass results.

Keywords: Black locust, nuclear microsatellites, clone identification, population genetics, population history

1 Einleitung

Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) wurde vor mehr als 300 Jahren aus Amerika als Zierbaum zuerst in Frankreich und danach auch in Deutschland eingeführt. Sie wurde später lokal gepflanzt, um das sehr witterungsbeständige Holz für verschiedene Zwecke zu nutzen. Robinienbestände in Deutschland wurden jedoch forstlich kaum bewirtschaftet und haben sich lange Zeit spontan durch vegetative und generative Ausbreitung entwickelt. Teilweise wurde diese Baumart auch zur Aufforstung von Kippen in Bergbaugebieten verwendet. Aktuell befinden sich mehr als die Hälfte der Robinienbestände in Deutschland in Brandenburg (ENGEL u. KNOCHE 2011). Wegen der geringen Standortansprüche, bedingt durch die Symbiose mit luftstickstoffbindenden Rhizobien, und der relativen Trockenresistenz findet diese Baumart zunehmend Interesse im Zusammenhang mit der Energieholzproduktion, besonders in Regionen mit ertragsschwachen Böden.

Das Ziel des FastWOOD-Teilprojekts „Modellprojekt zu Begründungsverfahren der Robinie zur vordringlich energetischen Nutzung“ besteht in der Erarbeitung von Konzepten für eine effiziente Bewirtschaftung der Robinie im niederwaldartigen Betrieb bei unterschiedlichem Ausgangsalter der Bestände. Dazu wurden vom Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde (LFE) und dem Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften (FIB) insgesamt 9 Modellflächen in vorhandenen Robinien-Reinbeständen angelegt und ertragskundlich untersucht. Die Flächen gehen teilweise, wie wahrscheinlich viele Vorkommen in Brandenburg, auf ursprüngliche Pflanzung weniger Individuen und nachfolgende spontane vegetative und generative Ausbreitung zurück, umfassen aber besonders bei jüngeren Flächen auch frühere Kippen-Erstaufforstungen des Braunkohlenbergbaus.

Die für die Baumart Robinie typische vegetative Ausbreitung über Wurzelaufläufer führt zu mehr oder weniger großen Klonkomplexen aus Bäumen mit identischem Genotyp. Dies wurde sowohl im natürlichen Verbreitungsgebiet (CHANG et al. 1998) als auch in artifiziellen Beständen in Deutschland (HERTEL u. SCHNECK 2003) und in Japan (JUNG et al. 2009) mit genetischen Markern nachgewiesen. Die Fläche eines solchen Klonkomplexes kann im natürlichen Verbrei-

tungsgebiet bis zu 1,3 ha einnehmen, und beträgt in bisher untersuchten Brandenburger Beständen bis zu 0,5 ha. Da der Biomasse-Ertrag von Robinien wesentlich mit einer Familien- und Klonselktion verbessert werden kann (SCHRÖCK 1953, KERESZTESI 1983, MEBRAHTU u. HANOVER 1989, BONGARTEN et al. 1992, DINI-PAPANASTASI 2008), muss auch bei den im Rahmen des FastWOOD-Projekts durchgeführten Versuchen davon ausgegangen werden, dass der Ertrag von einer evtl. vorhandenen Klonstruktur auf den Versuchsflächen und -Parzellen beeinflusst wird. Die Kenntnis der genetischen Struktur dieser Flächen ist deshalb eine Voraussetzung für eine sachgerechte Auswertung und Interpretation der gewonnenen ertragskundlichen Versuchsdaten. Vom vTI – Institut für Forstgenetik wurden populationsgenetische Untersuchungen basierend auf hochvariablen nuklearen Mikrosatelliten-Genloci durchgeführt, um Informationen zur genetischen Struktur der 9 Modellflächen zu gewinnen.

2 Material und Methoden

Die Auswahl der 9 Versuchsflächen nach bestimmten Kriterien und die ausführliche Darstellung aller Boden- und Klimadaten sowie die Anzahl der Bäume werden von KNOCHE und ENGEL in diesem Band (S. 143 ff.) vorgenommen und sollen hier nur in einer kurzen Übersicht wiedergegeben werden (s. Tab. 1).

Tabelle 1: Übersicht zu 9 Robinien-Modellflächen, geordnet nach Alter

Fläche	Standort	Alter (2009)	Größe (m ²)	Anzahl Bäume	Aufnahme
Schwenow1	Waldstandort	19	10.035	322	Probekreise
Drebkau1	Kippenstandort	20	5.747	586	Vollaufnahme
Drebkau2	Kippenstandort	23	4.457	399	Vollaufnahme
Senftenberg	Kippenstandort	43	8.441	573	Probekreise
Schwenow2	Waldstandort	45	4.411	227	Vollaufnahme
Schwenow3	Waldstandort	45	3.872	265	Vollaufnahme
Müncheberg	Waldstandort	56	5.733	117	Probekreise
Schwenow4	Waldstandort	62	9.666	195	Probekreise
Schwenow5	Waldstandort	68	3.383	293	Vollaufnahme

Die Versuchsflächen repräsentieren die drei Altersgruppen ca. 20 Jahre, ca. 40 Jahre und ca. 60 Jahre der Ausgangsbestände. Nach Kahlschlag (März 2009) finden sich folgende Behandlungsvarianten in einfacher Wiederholung (KNOCHE u. ENGEL 2011):

- „Niederwald I“ (1-jährige Rotation) bzw. „Niederwald II“ (2-jährige Rotation) mit ausschließlicher Energieholzproduktion
- „Mittelwald“, 4-jährige Rotation und Überhalt von hochwertigen „Lassreiteln“
- „Midi-Rotation“ in 20- bis 30-jährigen Nutzungsintervallen bzw. „Hochwald“ mit 80-jähriger Umtriebszeit

Da die Anzahl der Bäume auf den 9 Versuchsflächen für eine vollständige genetische Untersuchung zu groß war, wurden Stichproben untersucht, wobei auf eine etwa gleichmäßige Verteilung auf den Flächen mit Vollaufnahmen bzw. auf eine gleichmäßige Erfassung aller Probekreise geachtet wurde. Die Gesamtzahl orientierte sich am im Rahmen des Projekts zu bewältigenden Probenumfang.

Frisches Blattmaterial für die genetische Charakterisierung wurde im September 2010 und Juni 2011 gesammelt und bei -20 °C gelagert. Die DNA wurde nach Standardverfahren extrahiert. Zur Klonidentifizierung stehen für die Baumart Robinie nukleare Mikrosatellitenmarker zur Verfügung (LIAN u. HOGETSU 2002, LIAN et al. 2004, MISHIMA et al. 2009), für die ein effektives Multiplex-Verfahren für 13 kodominante Genloci am vTI - Institut für Forstgenetik etabliert wurde. Eine detaillierte Beschreibung der molekulargenetischen Methoden findet sich bei LIESEBACH und EWALD (2011, eingereicht).

Zur Datenauswertung wurden verschiedene Softwarepakete verwendet. Allgemeine Variationsparameter wie Anzahl der Allele pro Locus (A/L) und Heterozygotie sowie genetische Abstände und die Clusteranalyse wurden mit POPGENE Version 1.32 (YEH et al. 1999) berechnet. Die Wahrscheinlichkeiten für die zufällige Identität von Multilocusgenotypen, die nicht zu einem Klon gehören, wurden mit dem Programm CERVUS (MARSHALL et al. 1998, KALINOWSKI et al. 2007) geschätzt. Dabei werden die Wahrscheinlichkeit für die zufällige Identität von nichtverwandten Individuen (Combined non-exclusion probability for identity) und die Wahrscheinlichkeit für die zufällige Identität von Geschwistern (Combined non-exclusion probability for sib-identity) unterschieden. Das Programm STRUCTURE (PRITCHARD et al. 2000) verwendet eine modellbasierte Clustermethode, um individuelle Genotypen bestimmten hypothetischen Populationen zuzuordnen, wobei auch die Anzahl K dieser hypothetischen Populationen geschätzt wird. Als Parametereinstellungen wurden „No admixture model“ und „Allele frequencies independent“ gewählt und K = 4 bis K = 12 getestet.

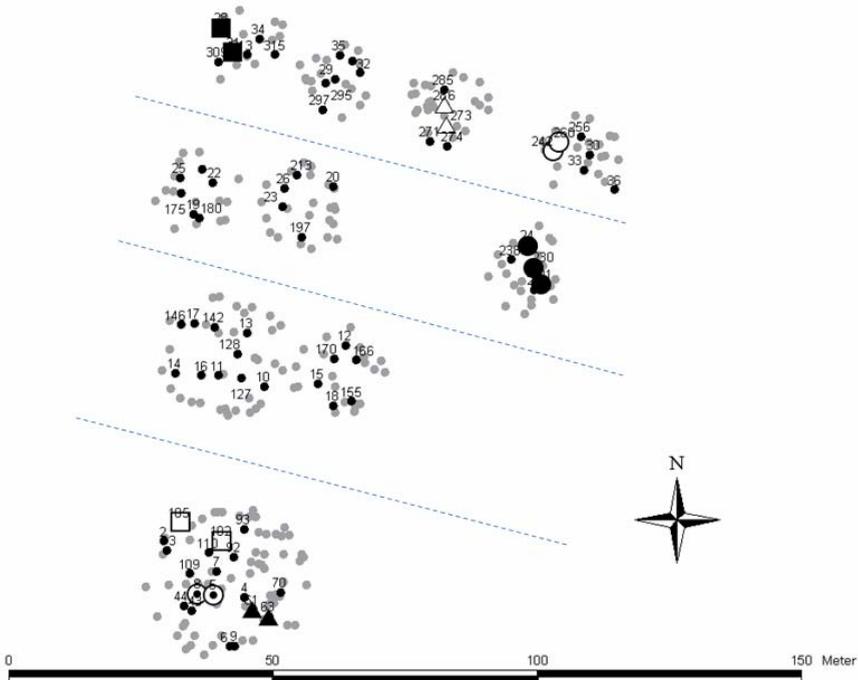
3 Ergebnisse und Diskussion

Die Variation an den 13 kodominanten untersuchten Genloci in 9 Robinienbeständen ist so groß, dass die Wahrscheinlichkeit für eine zufällige Identität selbst unter Vollgeschwistern im Mittel aller Versuchsflächen nur $6,7 \cdot 10^{-5}$ beträgt (s. Tab. 2). Damit kann davon ausgegangen werden, dass evtl. vorhandene Klone auf den Versuchsflächen sicher identifiziert werden können.

Die Untersuchungen der insgesamt 663 Individuen haben ergeben, dass auf 6 der 9 Versuchsflächen fast jedes Individuum einen eigenen Multilocus-Genotyp aufweist, während auf den übrigen 3 Versuchsflächen nur wenige Genotypen vorkommen, diese aber bei vielen Individuen vorliegen.

In den meisten Fällen befinden sich die genetisch identischen Individuen auch in benachbarter Lage zueinander, wie auf den Stammverteilungskarten mit hervorgehobener Darstellung der Genotypen (s. Abb. 1 bis 9) zu erkennen ist. Dies deutet auf eine spontane vegetative Ausbreitung über Wurzeläusläufer hin. Ausnahmen von nicht benachbarten genetisch identischen Individuen gibt es auf den Flächen Müncheberg und Schwenow4.

Zu den Flächen, die offensichtlich mit Sämlingen bepflanzt wurden, gehören Schwenow1, Drebkau1 und Drebkau2 der Altersgruppe 20 Jahre sowie Senftenberg, Schwenow2 und Schwenow3 der Altersgruppe 40 Jahre. Eine beginnende vegetative Ausbreitung einzelner Individuen konnte auf den Flächen Schwenow1, Drebkau2 und Schwenow3 beobachtet werden (s. Abb. 1, 3, 6). Auf den Flächen Drebkau1, Schwenow2 und Senftenberg kann sie jedoch nicht ausgeschlossen werden, da nicht alle vorhandenen Individuen genetisch untersucht wurden.



Schwenow1

Abbildung 1: Stammverteilungskarte der Fläche Schwenow1 (kleiner grauer Punkt: Genotyp nicht untersucht, kleiner schwarzer Punkt: einmaliger, individueller Genotyp, weitere 7 verschiedene Symbole entsprechen 7 verschiedenen Klonen)

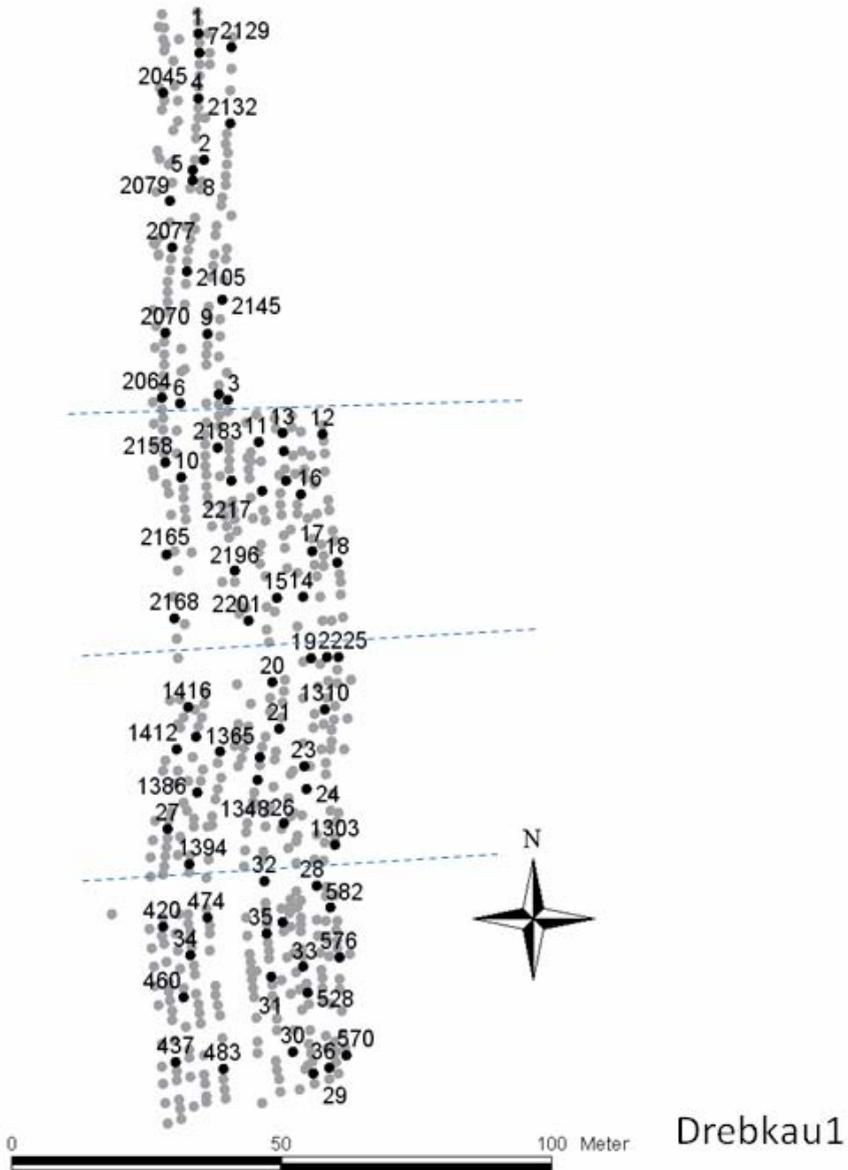


Abbildung 2: Stammverteilungskarte der Fläche Drebkau1 (grau: Genotyp nicht untersucht, schwarz: einmaliger, individueller Genotyp)

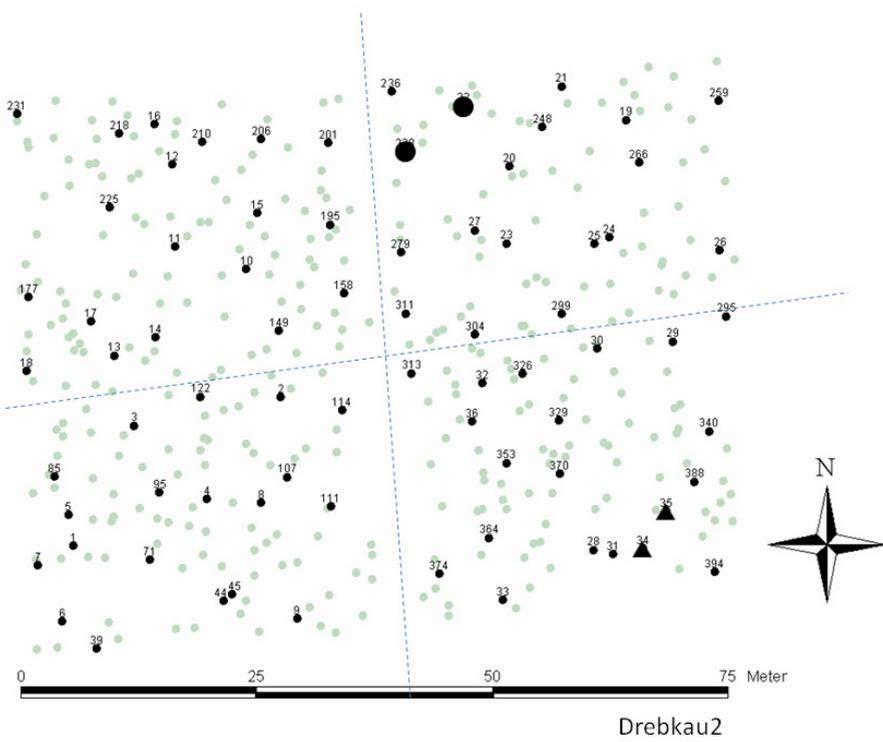


Abbildung 3: Stammverteilungskarte der Fläche Drebkau2 (kleiner grauer Punkt: Genotyp nicht untersucht, kleiner schwarzer Punkt: einmaliger, individueller Genotyp, weitere 2 verschiedene Symbole entsprechen 2 verschiedenen Klonen)

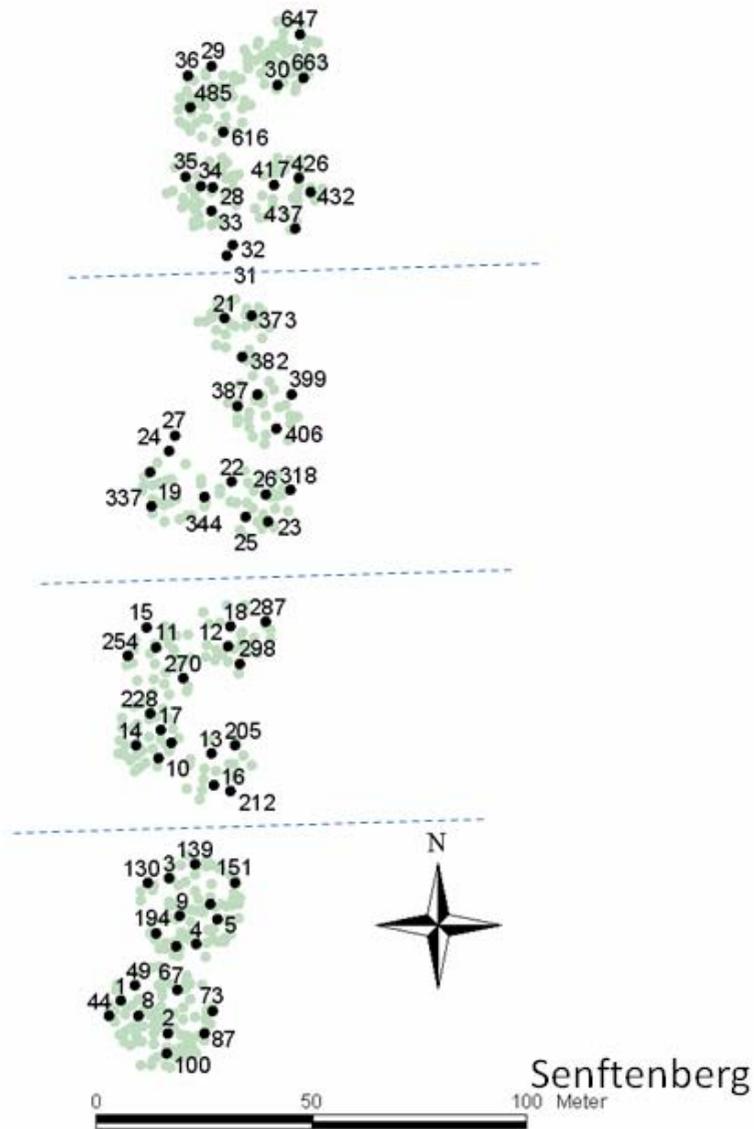


Abbildung 4: Stammverteilungskarte der Fläche Senftenberg (grau: Genotyp nicht untersucht, schwarz: einmaliger, individueller Genotyp)

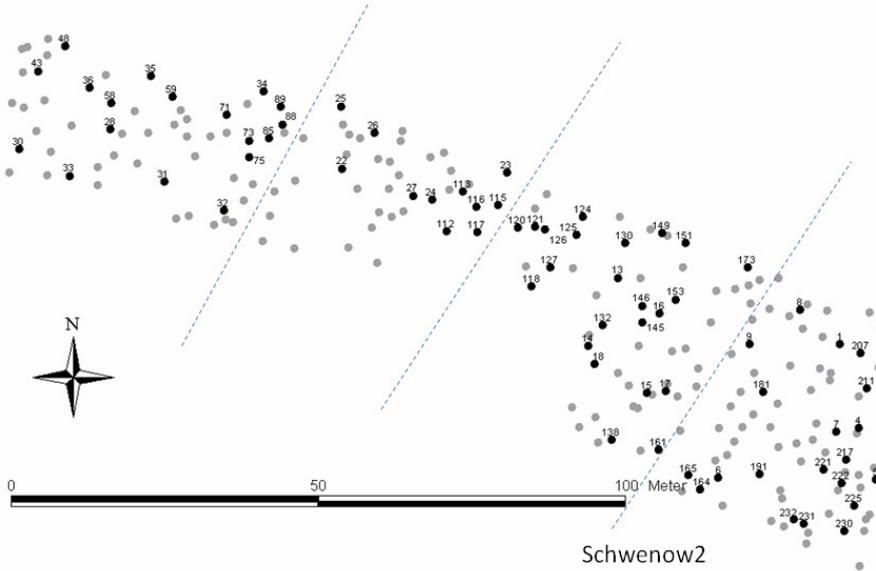


Abbildung 5: Stammverteilungskarte der Fläche Schwenow2 (grau: Genotyp nicht untersucht, schwarz: einmaliger, individueller Genotyp)

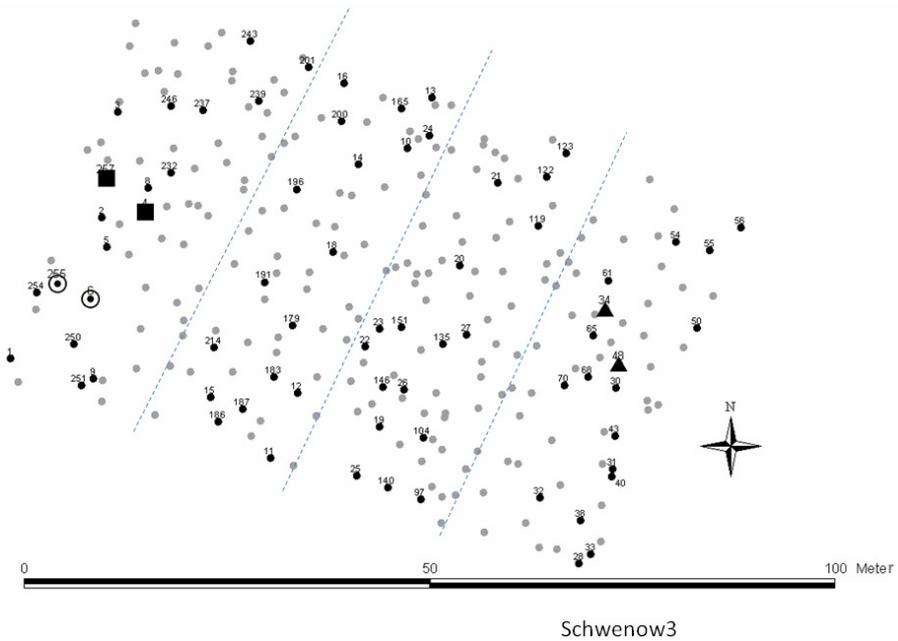
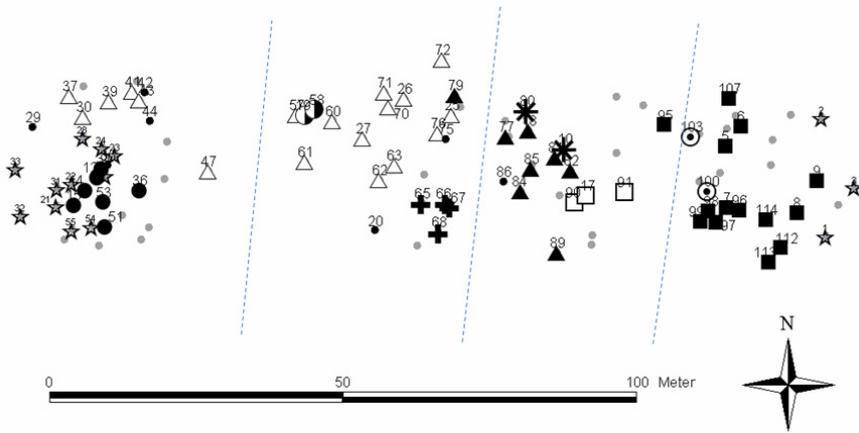
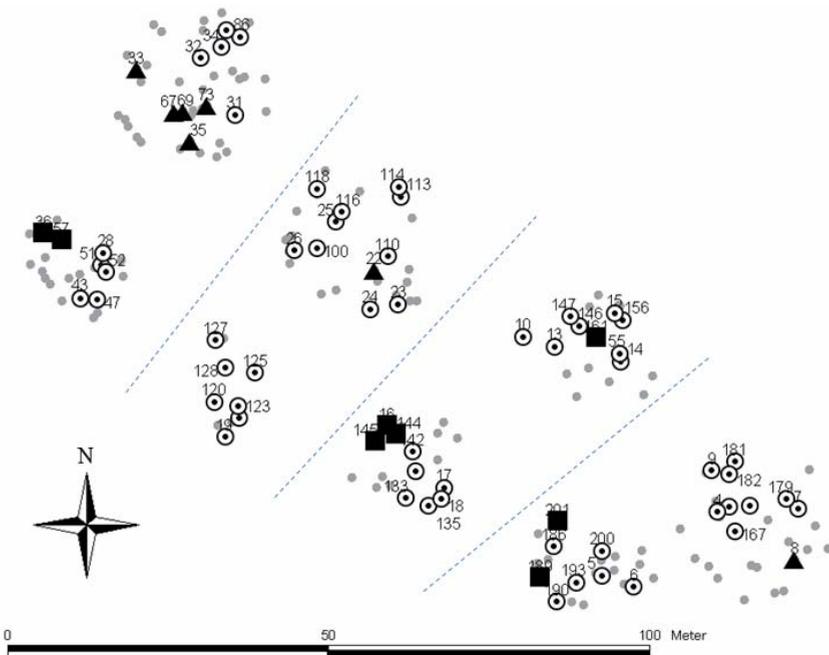


Abbildung 6: Stammverteilungskarte der Fläche Schwenow3 (kleiner grauer Punkt: Genotyp nicht untersucht, kleiner schwarzer Punkt: einmaliger, individueller Genotyp, weitere 3 verschiedene Symbole entsprechen 3 verschiedenen Klonen)



Müncheberg

Abbildung 7: Stammverteilungskarte der Fläche Müncheberg (kleiner grauer Punkt: Genotyp nicht untersucht, kleiner schwarzer Punkt: einmaliger, individueller Genotyp, weitere 10 verschiedene Symbole entsprechen 10 verschiedenen Klonen)



Schwenow4

Abbildung 8: Stammverteilungskarte der Fläche Schwenow4 (kleiner grauer Punkt: Genotyp nicht untersucht, Kreis: Klon A, Dreiecke: Klon B, Vierecke: Klon C)

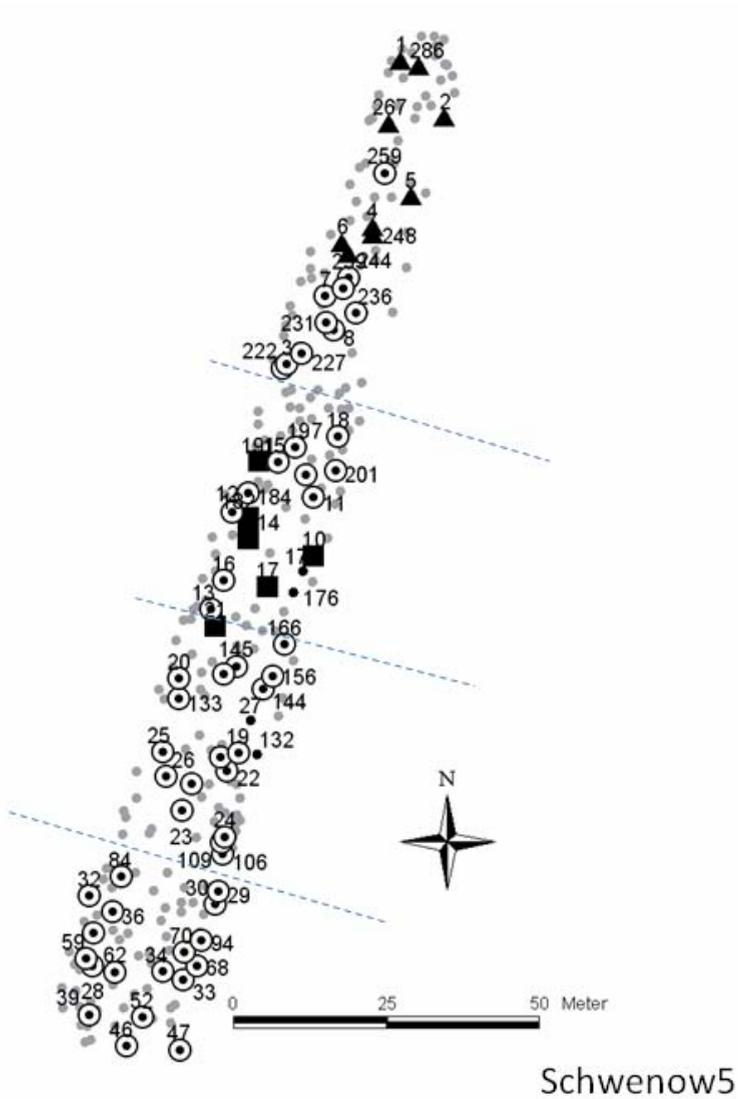


Abbildung 9: Stammverteilungskarte der Fläche Schwenow5 (kleiner grauer Punkt: Genotyp nicht untersucht, kleiner schwarzer Punkt: einmaliger, individueller Genotyp, Kreis: Klon A, Dreieck: Klon B, Viereck: Klon C)

Tabelle 2: *Variationsparameter von Stichproben aus 9 Robinien-Modellflächen und Wahrscheinlichkeiten für die zufällige Identität von Multilocusgenotypen, die nicht zu einem Klon gehören, basierend auf 13 nuklearen Mikrosatelliten-Genorten, jeweils bezogen auf die Anzahl der unterschiedlichen Multilocus-Genotypen*

Modellfläche	Stichprobenumfang	Anteil am Bestand (%)	Anzahl Multilocus-Genotypen	Allele/Locus	Beobachtete Heterozygotie	Wahrscheinlichkeit (Identity)	Wahrscheinlichkeit (Sib-identity)
Schwenow1	74	23,0	66	8,15	0,6937	8,79E-15	6,14E-06
Drebkau1	74	12,6	74	9,46	0,7118	1,26E-15	3,87E-06
Drebkau2	76	19,0	74	5,77	0,7144	1,00E-10	5,72E-05
Senftenberg	69	12,0	69	9,31	0,7105	2,06E-15	4,67E-06
Schwenow2	72	31,7	72	8,92	0,6748	5,06E-15	6,18E-06
Schwenow3	72	27,2	69	9,00	0,7291	1,35E-15	4,32E-06
Müncheberg	81	69,2	17	6,54	0,7090	4,44E-14	1,00E-05
Schwenow4	71	36,4	3	2,69	0,7179	6,00E-08	4,41E-04
Schwenow5	74	25,3	7	4,23	0,7637	1,81E-10	6,86E-05
Alle	663		451	10,4	0,7071	6,70E-09	6,69E-05

Die 3 Flächen der Altersgruppe 60 Jahre Schwenow4, Schwenow5 und Müncheberg weisen nur wenige Multilocus-Genotypen, d. h. wenige Klone auf, wobei die benachbart liegenden Flächen Schwenow4 und Schwenow5 drei gemeinsame Klone besitzen.

Die Fläche Schwenow5 zeigt ein geclustertes Vorkommen von drei Klonen, wobei zwei Klone in geringerem Umfang (Klon B und Klon C in Abb. 9) und ein Klon stark dominierend (Klon A in Abb. 9) vorkommen. Von diesen drei Klonen muss angenommen werden, dass sie sich ohne äußeren Einfluss durch Wurzelaufläufer ausgebreitet haben. Vier weitere Genotypen, die jeweils nur in einem Individuum gefunden wurden, befinden sich am östlichen Rand der Fläche.

Auf der ca. 1 km entfernt liegenden Fläche Schwenow4 wurden insgesamt nur drei verschiedene Multilocusgenotypen gefunden, und zwar dieselben drei Klone A, B und C wie auf der Fläche Schwenow5. Auch die Anzahl der jeweiligen Individuen in der Stichprobe, die zu einem Klon gehören, unterscheidet sich kaum (s. Tab. 3). In beiden Flächen nimmt der dominierende Klon ca. 75 % ein.

Tabelle 3: *Anzahl der Individuen einzelner Multilocusgenotypen auf den Flächen Schwenow4 und Schwenow5*

Klon	Schwenow4	Schwenow5
Klon A	56	55
Klon B	7	9
Klon C	8	6
Nr. 27	-	1
Nr. 132	-	1
Nr. 175	-	1
Nr. 176	-	1
Stichprobenumfang	71	74

Die räumliche Verteilung der beiden selteneren Klone auf der Fläche Schwenow4 ist jedoch nicht geclustert. So befindet sich der Klon B an drei voneinander getrennten Stellen und der Klon C an vier Stellen auf der Fläche. Von dort aus hat wahrscheinlich wiederum eine spontane Ausbreitung durch Wurzeläusläufer stattgefunden (s. Abb. 8). Die Klonverteilung auf den Flächen Schwenow4 und Schwenow5 sowie die Tatsache, dass die Fläche Schwenow4 einige Jahre jünger als Schwenow5 ist, deuten darauf hin, dass die Fläche Schwenow4 mit Wildlingen oder Wurzelschnittlingen begründet wurde, die von der nahe gelegenen Fläche Schwenow5 gewonnen wurden. Dabei scheint das Material flächendeckend etwa gleichmäßig entnommen worden zu sein, was sich aus den annähernd gleichen Häufigkeitsverteilungen der 3 Klone ableiten lässt.

Die Fläche Müncheberg zeigt mit 17 verschiedenen Multilocusotypen, von denen neun Klone räumlich geclustert vorkommen, ebenso wie Schwenow5 eine klonale Struktur, ist jedoch wesentlich variabler. Ein weiterer Klon (Symbol Stern in Abb. 7) bildet einen größeren Cluster am westlichen Rand der Fläche und wurde zusätzlich bei drei anderen Proben am östlichen Rand der Fläche gefunden. Eine spontane Ausbreitung durch Wurzeläusläufer wäre über Entfernungen von ca. 100 m und einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten durchaus denkbar. Sie muss aber in diesem Fall für eher unwahrscheinlich gehalten werden, da die mittleren Bereiche der Modellfläche von anderen Klonen besiedelt sind. Bei einem Anteil von ca. 70 % genetisch untersuchter Individuen auf der Fläche wären weitere Bereiche dieses Klons nicht unentdeckt geblieben. Eher kann vermutet werden, dass ähnlich wie bei der Fläche Schwenow4 Pflanzmaterial über Wildlinge oder Wurzelschnittlinge gewonnen und in der Nachbarschaft ausgebracht wurde. Da sich das Robinienvorkommen Müncheberg am östlichen Rand der Modellfläche fortsetzt, besteht die Möglichkeit, weitere Proben zu untersuchen und diese Hypothese zu prüfen.

Über Vergleiche der genetischen Strukturen zwischen den 9 Beständen soll nun versucht werden, weitere Hinweise auf die Bestandesgeschichte zu erhalten. Zunächst zeigt das Dendrogramm (s. Abb. 10), das die Ergebnisse der Clusteranalyse aus den genetischen Abständen graphisch darstellt, 3 Gruppen:

1. Schwenow4 – Schwenow5 sind wie erwartet eng verwandt wegen der teilweise identischen Genotypen,
2. eine größere Gruppe bestehend aus Schwenow1, Schwenow2, Schwenow3, Senftenberg, Drebkau1 und Müncheberg und
3. Drebkau2 als einzeln stehende Population.

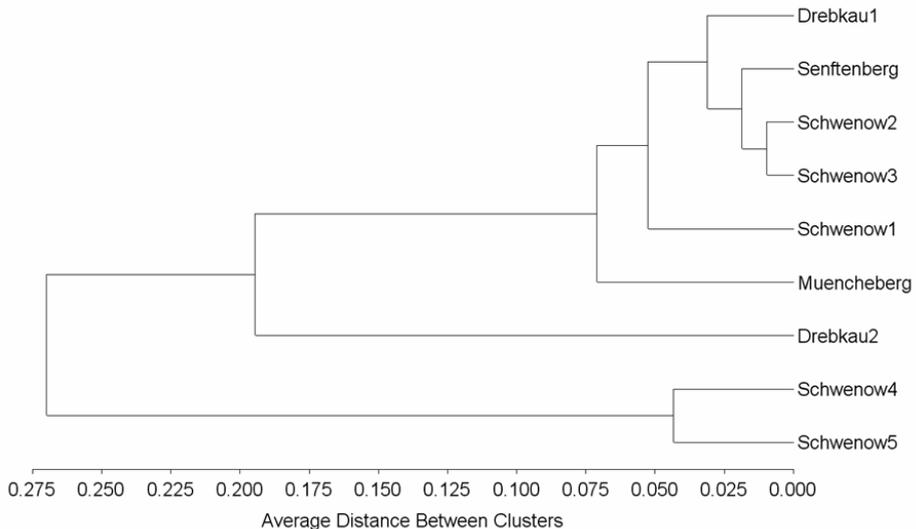


Abbildung 10: Dendrogramm basierend auf einer UPGMA-Clusteranalyse mit genetischen Distanzen nach NEI (1987)

Mit dem Programm STRUCTURE wurde die Anzahl hypothetischer Populationen, aus denen die insgesamt 451 gefundenen Multilocus-Genotypen stammen können, auf 8 geschätzt. Die Tabelle 4 zeigt, dass nur Drebkau2 und Schwenow4/5 genetisch betrachtet jeweils aus einer Population bestehen, während die anderen 6 Robinienbestände aus 4 bis 6 verschiedenen Populationen zusammengesetzt scheinen. Die Verwandtschaftsgruppen, die im Dendrogramm sichtbar sind, zeigen sich somit auch hier, da die Bestände Schwenow1, Schwenow2, Schwenow3, Drebkau1, Senftenberg und Müncheberg eine mehr oder weniger ähnliche Zusammensetzung aufweisen.

Von den mit Sämlingen begründeten 6 Beständen kann somit angenommen werden, dass die 5 Bestände Schwenow1, Schwenow2, Schwenow3, Drebkau1 und Senftenberg wahrscheinlich aus Saatgutmischungen ähnlicher Herkunft stammen, während es sich bei Drebkau2 eher um Saatgut aus einer Quelle, wahrscheinlich

aus einem klonal aufgebauten Bestand, handelt. Dafür spricht auch, dass bei Drebkau2 die genetische Vielfalt ausgedrückt als mittlere Anzahl der Allele pro Locus (A/L, Tab. 2) im Vergleich zu den anderen 5 mit Sämlingen begründeten Beständen mit vergleichbarer Anzahl an Multilocus-Genotypen deutlich geringer ist.

Tabelle 4: Geschätzte relative Anteile der Robinienbestände an 8 hypothetischen Populationen (STRUCTURE), grau unterlegt: zu berücksichtigende Beiträge der hypothetischen Populationen an den Robinienbeständen (Anteil > 0,1)

Robinienbestand	Hypothetische Populationen								Anzahl Beiträge
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Schwenow1	0,192	0,116	0,161	0,121	0,172	0,159	0,000	0,078	6
Drebkau1	0,040	0,205	0,085	0,149	0,056	0,146	0,000	0,318	4
Drebkau2	0,003	0,014	0,000	0,001	0,026	0,044	0,900	0,001	1
Senftenberg	0,020	0,235	0,070	0,032	0,178	0,233	0,012	0,215	4
Schwenow2	0,031	0,150	0,042	0,062	0,213	0,266	0,016	0,220	4
Schwenow3	0,017	0,136	0,047	0,202	0,165	0,215	0,007	0,211	5
Müncheberg	0,180	0,156	0,023	0,012	0,213	0,127	0,136	0,151	6
Schwenow4/5	0,001	0,001	0,009	0,000	0,870	0,006	0,098	0,015	1

Die Tabelle 5 fasst die aus genetischen Strukturen abgeleiteten Hypothesen über die Bestandesbegründung noch einmal zusammen.

Tabelle 5: *Aus genetischen Strukturen abgeleitete Hypothesen über die Bestandesbegründung von 9 Robinienmodellflächen*

Altersgruppe	Fläche	Jahr der Bestandesbegründung (rechnerisch)	Aus genetischen Strukturen abgeleitete Hypothesen über die Bestandesbegründung
20 Jahre	Schwenow1	1990	Bestandesbegründung mit Sämlingen aus einer Saatgutmischung, beginnende vegetative Ausbreitung mehrerer Klone
	Drebkau1	1989	Bestandesbegründung mit Sämlingen aus einer Saatgutmischung
	Drebkau2	1986	Bestandesbegründung mit Sämlingen, Saatgut aus einer Quelle (wahrscheinlich ein klonal aufgebauter Bestand), beginnende vegetative Ausbreitung einzelner Klone
40 Jahre	Senftenberg	1966	Bestandesbegründung mit Sämlingen aus einer Saatgutmischung
	Schwenow2	1964	Bestandesbegründung mit Sämlingen aus einer Saatgutmischung
	Schwenow3	1964	Bestandesbegründung mit Sämlingen aus einer Saatgutmischung, beginnende vegetative Ausbreitung einzelner Klone
60 Jahre	Müncheberg	1953	Alter Bestand, deutliche klonale Struktur aus mehreren Klonen, wahrscheinlich erweitert mit Wildlingen/Wurzelschnittlingen von derselben Fläche
	Schwenow4	1947	Bestandesbegründung mit Wildlingen/Wurzelschnittlingen, flächendeckend gewonnen von der Fläche Schwenow5, beginnende vegetative Ausbreitung
	Schwenow5	1941	Alter Bestand, deutliche klonale Struktur aus nur wenigen Klonen

Was bedeuten nun diese unterschiedlichen genetischen Zusammensetzungen der Modellflächen für die ertragskundliche Auswertung und den Vergleich der 4 Bewirtschaftungsvarianten?

Bei den 6 Beständen der Altersgruppen 20 Jahre und 40 Jahre, die mit Sämlingen begründet wurden, sind, abgesehen von der beginnenden vegetativen Ausbreitung einzelner Klone, die Genotypen zunächst zufällig auf der Fläche verteilt. Das besagt, dass Ertragsunterschiede zwischen den 4 Parzellen nicht auf räumliche genetische Strukturen innerhalb eines Bestandes zurückzuführen sind, sondern auf die unterschiedlichen Bewirtschaftungsvarianten oder evtl. kleinräumige Standortunterschiede. Das gleiche dürfte auch noch auf die Fläche Schwenow4 zutreffen, obwohl die Klone B und C nicht ganz gleichmäßig auf die Parzellen verteilt sind.

Bei den Flächen Schwenow5 und Müncheberg können dagegen durch ausgeprägte Klonstrukturen deutliche Effekte auftreten. Auf der Modellfläche Schwenow5 bestehen die Parzellen mit dem ein- und zweijährigen Umtrieb im nördlichen Bereich aus den Klonen A und B bzw. A und C, während die Parzelle für den 4jährigen Umtrieb und die Hochwaldparzelle im südlichen Teil nur von Klon A bestimmt werden. Auf der Modellfläche Müncheberg bestehen alle 4 Parzellen jeweils aus 3 Klonen, jedoch ohne wesentliche Übereinstimmungen bei den Genotypen. Bei diesen beiden Modellflächen muss damit gerechnet werden, dass die Ertragsunterschiede zwischen den Parzellen einer Fläche neben dem Bewirtschaftungseffekt auch von den jeweiligen Klonen und deren Leistungsfähigkeit beeinflusst sein können. Erkenntnisse für eine optimale Umtriebszeit können also mit wesentlich größerer Sicherheit aus den Modellflächen der Altersgruppen 20 Jahre und 40 Jahre gewonnen werden.

Literatur

- BONGARTEN, B.C.; HUBER, D.A. u. APSLEY, D.K. (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
- CHANG, C.-S.; BONGARTEN, B. u. HAMRICK, J. (1998): Genetic Structure of Natural Populations of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) at Coweeta, North Carolina. *Journal of Plant Research* 111, 17-24
- 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
- ENGEL, J. u. KNOCH, D. (2011): Energie aus dem Stock – Zur Bewirtschaftung der Robinie im Schnellumtrieb. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe 47, 25-35
- HERTEL, H. u. SCHNECK, V. (2003): Untersuchungen zur genetischen Struktur eines Robinienbestandes (*Robinia pseudoacacia* L.) in Brandenburg. in: Bedrohung der biologischen Vielfalt durch invasive gebietsfremde Arten - Erfassung, Monitoring und Risikoanalyse, Welling, M. (ed.). Landwirtschaftsverlag GmbH Münster, 257-263
- JUNG, S.-C.; MATSUSHITA, N.; WU, B.-Y.; KONDO, N.; SHIRAISHI, A. u. HOGETSU, T. (2009): Reproduction of a *Robinia pseudoacacia* population in a coastal *Pinus thunbergii* windbreak along the Kujukurihama Coast, Japan *Journal of Forest Research* 14, 101-110

- KALINOWSKI, S.T.; TAPER, M.L. u. MARSHALL, T.C. (2007): Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Molecular Ecology* 16, 1099-1106
- KERESZTESI, B. (1983): Breeding and cultivation of black locust, *Robinia pseudoacacia*, in Hungary. *Forest Ecology and Management* 9, 217-244
- KNOCHE, D. u. ENGEL, J. (2011): Pilotprojekt zur vordringlich energetischen Nutzung der Robinie in Brandenburg. Eine Wiederbelebung historischer Bewirtschaftungsformen? *AFZ-Der Wald* 66, 26-28
- LIAN, C. u. HOGETSU, T. (2002): Development of microsatellite markers in black locust (*Robinia pseudoacacia*) using a dual-suppression-PCR technique. *Molecular Ecology Notes* 2, 211-213
- LIAN, C.; OISHI, R.; MIYASHITA, N. u. HOGETSU, T. (2004): High somatic instability of a microsatellite locus in a clonal tree, *Robinia pseudoacacia*. *TAG Theoretical and Applied Genetics* 108, 836-841
- LIESEBACH, H. u. EWALD, E. (2011): Optimisation of a multiplex PCR assay of nuclear microsatellite markers for population genetics and clone identification in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). eingereicht
- MARSHALL, T.C.; SLATE, J.; KRUK, L.E.B. u. PEMBERTON, J.M. (1998): Statistical confidence for likelihood-based paternity inference in natural populations. *Molecular Ecology* 7, 639-655
- MEBRAHTU, T. u. HANOVER, J.W. (1989): Heritability and expected gain estimates for traits of Black locust in Michigan. *Silvae Genetica* 38, 125-130
- MISHIMA, K.; HIRAO, T.; URANO, S.; WATANABE, A. u. TAKATA, K. (2009): Isolation and characterization of microsatellite markers from *Robinia pseudoacacia* L. *Molecular Ecology Resources* 9, 850-852
- NEI, M. (1987): *Molecular evolutionary genetics*. Columbia University Press, New York
- PRITCHARD, J.K.; STEPHENS, M. u. DONNELLY, P. (2000): Inference of Population Structure Using Multilocus Genotype Data. *Genetics* 155, 945-959
- SCHRÖCK, O. (1953): Beitrag zur Züchtung der Robinie (*Robinia pseudoacacia*). *Der Züchter* 23, 266-272
- YEH, F.C.; YANG, R.-C. u. BOYLE, T. (1999): POPGENE VERSION 1.32 - Microsoft Window-based Freeware for Population Genetic Analysis. University of Alberta and Centre for International Forestry Research, Alberta, Canada

Korrespondierende Autorin:

Dr. Heike Liesebach

Johann Heinrich von Thünen- Institut (vTI)

Institut für Forstgenetik

Sieker Landstraße 2

22927 Großhansdorf

E-Mail: heike.liesebach@vti.bund.de

URL: <http://www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html>

**Wie groß ist das Potenzial von *Populus nigra* mit
Populus × *canadensis* Hybridschwärme zu bilden?
– Wo sich Mendel und molekulare Marker
begegnen**

What are the chances of forming hybrid swarms between
Populus nigra and *Populus* × *canadensis*
– where Mendel and molecular markers meet

Ronald Bialozyt, Georg Rathmacher, Marc Niggemann und Birgit Ziegenbagen

Zusammenfassung

Bei Pflanzen ist es allgemein bekannt, dass viele nah verwandte Arten untereinander kreuzen. Wenn die daraus resultierenden Hybriden fruchtbar sind, kann dadurch die Entwicklung von Hybrid-Schwärmen gefördert werden. Darüber hinaus kann es sogar zum sogenannten „Gene Swamping“ kommen, bei welchem Gene der einen Art sukzessiv durch „Homologe“ der anderen Art ausgetauscht werden. Um die Existenz und den Status möglicher Hybridschwärme nachzuweisen, ist es notwendig, die expliziten Paarungskombinationen rückwirkend bestimmen zu können. Dazu werden in der Regel Elternschafts-analysen durchgeführt, welche jedoch sehr arbeits- und zeitintensiv sind. Für die Beantwortung naturschutzfachlicher Fragestellungen ist nur der explizite Hybridisierungsgrad

eines Nachkommen wichtig. Dafür genügt es eine Reihe artspezifische Marker zu verwenden, welche eine einfache ja/nein Zuordnung zulassen.

In dieser Studie untersuchten wir am Beispiel der eurasischen Schwarzpappel (*Populus nigra* L.), inwieweit diese durch Hybridisierung mit Euramerikanischen Pappel-Hybriden (*Populus* × *canadensis* Moench) bedroht ist. Letztere sind alle aus Kreuzungen weiblicher Kanadischer Schwarzpappeln (*Populus deltoides* Bartr.) mit männlichen einheimischen Schwarzpappel entstanden und werden häufig in der Nähe einheimischer Pappelbestände gepflanzt. Da diese Hybriden jedoch selber fruchtbar sind, kann es dadurch zur Kreuzung und infolgedessen zur Introgression artfremder Gene in das Genom der Schwarzpappel kommen. Aus naturschutzfachlicher Sicht stellt sich daher die Frage, wie hoch dieses Risiko zu bewerten ist.

In unserer Studie verwendeten wir DNA Marker sowohl des Chloroplasten als auch des Zellkerns, welche jeweils spezifische Allele besitzen, die nur in *P. deltoides* vorkommen. Durch die Kombination dieser Markersysteme erhalten wir ein einfaches und kostengünstiges Verfahren zur Rekonstruktion der möglichen Paarungsszenarien zwischen der Schwarzpappel und den angepflanzten Hybriden. In einem gemischten Bestand aus Schwarz- und Hybridpappel wurden mit diesen Markern Einzelbaumabsaaten beider Taxa sowie Individuen einer Naturverjüngungsfläche untersucht. Hierbei konnten sowohl F2 Hybride als auch Rückkreuzungen der ersten Generation nachgewiesen werden. Allerdings wurden F2 Hybride nur in den Samen detektiert.

Aufgrund der meiotischen Segregation der Allele wird bei diesen Analysen ein bestimmter Prozentsatz solcher Nachkommen immer unentdeckt bleiben. Basierend auf den Mendelschen Spaltungsregeln, haben wir ein Berechnungsschema entworfen, welches die tatsächlichen Häufigkeiten aus den beobachteten Häufigkeiten an Nachkommen mit Hybridhintergrund schätzt. Durch das iterative Hinzufügen von artspezifischen Markern lässt sich der Anteil an unbestimmbaren Nachkommen schrittweise reduzieren. Unser System erlaubt daher eine Abschätzung darüber, wie viele Genorte mit artspezifischen Allelen benötigt werden, um den potenziell vorhandenen Anteil von Rückkreuzungsnachkommen auch tatsächlich zu erkennen. Darüber hinaus kann durch die Projektion dieses Schemas über mehrere Generationen die Wahrscheinlichkeiten bestimmt werden, mit denen ein erfolgreicher Nachweis einer Hybridelternschaft der Nachkommen der jeweiligen Generation möglich ist.

Unter der Verwendung des entwickelten Schemas und der tatsächlichen Anzahl gefundener Hybridnachkommen im Untersuchungsgebiet diskutieren wir die Gefahr der Hybrid-Schwarm Bildung bzw. des „Gene Swamping“ in natürlichen *P. nigra* Populationen. Abschließend betrachten wir die Wahrscheinlichkeit eines solchen Szenarios und ziehen Schlussfolgerungen für die Nutzbarkeit des Diagnosesystems in Arten- und Naturschutzfragen.

Stichworte: *Populus deltoides*, Introgression, Genfluss, Hybridschwarm, Mikrosatellit

Abstract

In the plant kingdom, a large percentage of taxa are known to interbreed. If these hybrids are fertile, introgressive gene flow may foster the development of hybrid swarms. Furthermore, it can also lead to so-called gene swamping, where the genes of one species are successively replaced by the homolog genes of the other species. To prove the existence and status of possible hybrid swarms, it is necessary to be able to trace back the explicit parental combinations. For this purpose parentage analyses are usually conducted, which are very labour-intensive and time consuming. For conservation issues, only the explicit degree of hybridisation of progeny is important. Thus it is sufficient to use a series of species-specific markers which permit a categorical yes or no response.

In this study we investigate the extent of hybridisation of black poplar (*Populus nigra* L.) with its commercial hybrid (*Populus* × *canadensis* Moench). The latter has arisen from crossbreeding of female eastern cottenwood (*Populus deltoides* Bartr.) with native black poplar male, and is often planted in the vicinity of native poplar stands. However because these hybrids are fertile, crossbreeding may occur, and consequently lead may lead to introgression of genes from eastern cottonwood in the genome of the European black poplar species. For conservation measures, the level of this introgression needs to be evaluated.

In our studies we used DNA markers of the chloroplasts as well as of the nucleus. Each of them possesses specific alleles being present only in *P. deltoides*. In combining all these different markers, we got a simple and inexpensive method for reconstructing possible mating scenarios between black poplar and its commercial hybrid. In a mixed stand of black poplars and their hybrid we used this marker system to investigate single tree seed collections from both taxa as well as naturally regenerated juveniles located within this stand. We were able to trace both F2 hybrids as well as back-crossed progeny of the first generation. However, F2 hybrids were only detected in seeds.

Due to the meiotic segregation of alleles, a certain percentage of such progeny will remain undetected using this analyses. Based on Mendel's rule of segregation we have developed a calculation scheme for estimating the actual frequencies of introgression from the observed frequencies of progeny with hybrid background. By iteratively adding species-specific markers, the proportion of undetected progeny can be gradually reduced. Our system permits also an estimation of the amount of loci with species-specific alleles necessary to correctly identify the proportion of back-crossed progeny. Furthermore, by projecting this scenario over consecutive generations, we can estimate the probability of a successful proof of hybrid background for progeny in each generation.

Applying this scheme to the actual proportion of progeny with hybrid background found in the study area, we discuss the risk of hybrid swarm formation and accordingly gene swamping into natural *P. nigra* populations. Finally we evaluate

the probability of such a scenario and draw conclusions on the usability of our diagnostic marker system in species and nature conservation.

Keywords: *Populus deltoides*, introgression, gene flow, hybrid swarm, microsatellite

1 Einleitung

Speziell im Pflanzenreich gilt die Hybridisierung zweier nah verwandten Arten als bedeutendsten Treiber für Artbildung und Spezialisierung (ARNOLD 1997, MALLET 2005). Hybridisierung gefolgt von Introgression wird zu einem Thema der Invasionsbiologie, wenn daran Arten beteiligt sind, welche eigentlich in sonst getrennten Habitaten leben und durch den Menschen in direkte Nachbarschaft gebracht wurden (ELTON 1958, RICHARDSON et al. 2000, MOONEY u. CLELAND 2001). Solch ein introgressiver Genfluß kann einheimische Arten verdrängen speziell wenn diese Art bereits selten und daher ihr Genpool anfällig für Genfluss von außen ist (RHYMER u. SIMBERLOFF 1996, MOONEY u. CLELAND 2001). Derartige Ereignisse werden auch als „genomische Invasion“ bezeichnet (MALLET 2005, KELLER u. TAYLOR 2010) und könnten für die Schwarzpappel in Europa von Bedeutung sein, da hier seit ca. 100 Jahren Hybride aus europäischer und amerikanischer Schwarzpappel (*Populus* × *canadensis* Moench) forstwirtschaftlich angebaut werden.

Die Europäische Schwarzpappel wird in den meisten europäischen Staaten als bedroht eingestuft. Dieses liegt zum einen an der Regulation der Flußläufe und den damit ausbleibenden Hochwässern und Flussbettverlagerungen, welche das Habitat für die Etablierung von Schwarzpappelkeimlingen generieren. Zudem ist die intensive Nutzung der Auen bis an den Rand der Flußläufe ein weiterer Faktor, welcher die Etablierung neuer Schwarzpappelkeimlinge verhindert (LEFÈVRE et al. 2001, 1998, POSPÍSKOVÁ u. SÁLKOVÁ 2006, TABBENER u. COTTRELL 2003). Der massive Anbau von Hybridpappeln in der Nähe der bereits bedrohten Schwarzpappel führt zu einer weiteren Bedrohung dieser Art durch die Introgression artfremder Gene in den heimischen Genpool (MELCHIOR u. SEITZ 1968, ZSUFFA et al. 1999). Es gibt bereits einige Studien, welche die Rückkreuzungen von *P. nigra* mit der Hybridpappel beschreiben (CAGELLI u. LEFÈVRE 1995, VANDEN BROECK et al. 2004, POSPÍSKOVÁ u. SÁLKOVÁ 2006, SMULDERS et al. 2008b, ZIEGENHAGEN et al. 2008, CSENCICS et al. 2009), jedoch eine genau Quantifizierung dieser Ereignisse in der Landschaft steht noch aus.

In dieser Arbeit untersuchen wir an Hand einer gemischten Population aus Schwarz- und Hybridpappel das Auftreten von F2 Hybriden und Rückkreuzungen der ersten Generation. Dazu wurden Einzelbaumabsaaten sowie Individuen einer natürlichen Verjüngungsfläche auf das Vorhandensein von *P. deltoides* spezifischen Allelen im Genom des Chloroplasten sowie an vier Mikrosatellitenorten im Kern untersucht. Der mütterlich vererbte Marker des Chloroplasten eignet sich insbe-

sondere dazu, die Artbestimmung des mütterlichen Anteils zu bewerkstelligen (DEMESURE et al. 1995). Durch diesen Marker lässt sich im Folgenden immer die mütterliche Linie verfolgen und alle Nachkommen mütterlicherseits besitzen hier dasselbe Allel. In der Kombination mit den nukleären Markern sollten sich so die Rückkreuzungen sowie F2 Hybride eindeutig identifizieren lassen (HEINZE 2008).

Auf Grund der Mendelschen Regeln der Vererbung lassen sich nicht alle diese Nachkommen eindeutig identifizieren. Ein bestimmter Anteil, abhängig von der Anzahl eingesetzter Marker, wird weiterhin nicht detektierbar sein. Für die Bestimmung dieses Anteils haben wir Schemata entworfen, welche die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten im natürlichen System berücksichtigen. Diese Schemata wurden anschließend auf die Ergebnisse der Analysen der Einzelbaumabsaaten und der Jungwuchsfläche angewandt, um den Anteil nicht detektierbarer Kreuzungen im natürlichen System abzuschätzen. Die Ergebnisse werden in Bezug auf die Etablierung potenzieller Hybridschwarmbildung diskutiert und Vorschläge für naturschutzfachliche Maßnahmen unterbreitet.

2 Materialien und Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet und Pflanzenmaterial

Das Untersuchungsgebiet liegt an der Eder, im Norden von Hessen, im Bereich der Städte Fritzlar und Wabern (51° 07' 17"N, 9° 18' 45"E). Im Zentrum des Gebietes befindet sich das Naturschutzgebiet „Ederaue bei Cappel und Obermöllrich“ mit ca. 300 Schwarzpappeln. In einem Umkreis von 15 km konnten weiter vereinzelt Schwarzpappeln gefunden werden. Darüber hinaus befindet sich eine ähnlich große Anzahl an Hybridpappeln im Untersuchungsgebiet, welche häufig an Wegrändern und Sportplätzen gepflanzt sind, aber auch vereinzelt in unmittelbarer Nähe des NSG stehen (s. Abb. 1).

In zwei aufeinander folgenden Jahren wurden Samen direkt an 12 Mutterbäumen geerntet, jeweils 6 von jedem Typ. Die Samen wurden in Petrischalen auf Filterpapier ausgesät, nach 3-4 Tagen geerntet und für die genetischen Analysen getrocknet. Innerhalb des Untersuchungsgebietes gab es nur eine Jungwuchsfläche. Diese wurde stratifiziert beprobt und 380 Individuen für die genetische Analyse per Zufall ausgewählt. Je Individuum wurde 1-2 Blätter geerntet und für die späteren Analysen getrocknet.

Für die DNA Extraktion wurden entweder 0,5 cm² Blattmaterial bzw. der gesamte Keimling homogenisiert und anschließend nach der Methode von JUMP et al. (2003) extrahiert.

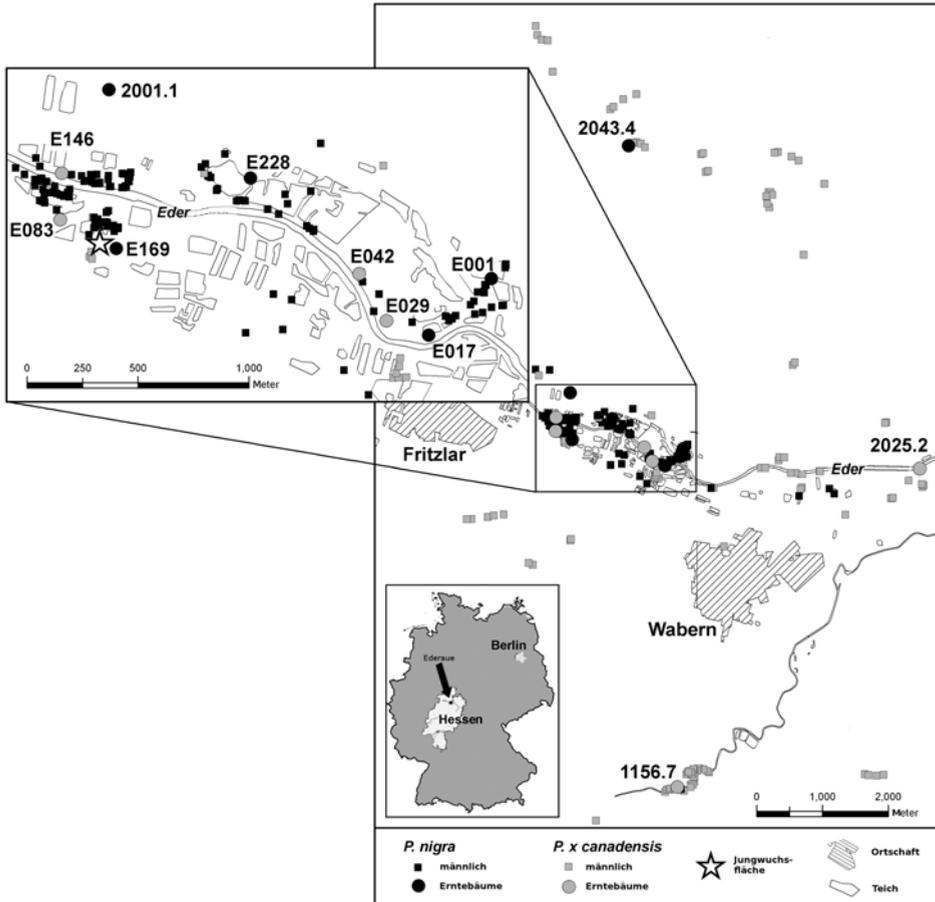


Abbildung 1: Die Lage des Untersuchungsgebietes und die Position der 12 Erntebäume innerhalb des Gebietes sowie die Positionen der männlichen Pappeln nach Taxa sortiert. Schwarze Quadrate stehen für männliche Schwarzpappeln und graue Quadrate für männliche Hybridpappeln.

2.2 Molekulare Analysen

2.2.1 Nukleäre Mikrosatelliten

Die Sämlinge sowie die Individuen der Jungwuchsfläche wurden an vier hochpolymorphen nukleären Mikrosatelliten (nSSR) untersucht. Diese waren WPMS09 (VAN DER SCHOOT et al. 2000), WPMS18 (SMULDERS et al. 2001), PMGC14 und PMGC2163, welche beide aus der SSR-Datenbank des IPGC (International Populus Genome Consortium) stammen. Alle Marker befinden sich auf unab-

hängigen Vererbungseinheiten (CERVERA et al. 2001, GAUDET et al. 2008) und besitzen jeweils mindestens ein diagnostisches Allel für *P. deltoides* (BEKKAOU et al. 2003, FOSSATI et al. 2003, KHASA et al. 2005). Die PCR, die Elektrophorese und die Genotypisierung wurden nach dem Protokoll von RATHMACHER et al. (2009) durchgeführt.

2.2.2 Chloroplasten DNA Marker

Für die Identifizierung der mütterlichen Herkunft der Individuen wurde der Chloroplasten (cp) DNA Marker DT verwendet (DEMESURE et al. 1995). Dieser Marker amplifiziert einen DNA-Abschnitt zwischen den Genen *trnD* und *trnT* und zeigt dort einen Längenunterschied zwischen den beiden Arten *P. nigra* und *P. deltoides* (HEINZE 1998). Daher wurden Referenzproben der reinen *P. nigra* und der reinen *P. deltoides* sowie eines bekannten Hybriden (*P. × canadensis*) bei allen Analysen mitlaufen gelassen, um eine korrekte Zuordnung der Längenunterschiede zu ermöglichen (ZIEGENHAGEN et al. 2008, RATHMACHER et al. 2010). In einem PCR Volumen von 16 µl befand sich 1 µl der DNA Proben (10 ng), 1 × PCR Reaktionspuffer, 2 mM MgCl, 0,2 µM von beiden Primern, 0,2 mM von vier dNTP's und 0,25 U der Taq-Polymerase (Bioline USA Inc.). Die PCR wurde wie folgt durchgeführt: 4 min bei 94 °C zur Denaturierung gefolgt von 25 Zyklen mit jeweils 45 Sekunden bei 94 °C zur Denaturierung, danach 45 Sekunden bei 55 °C für die Anlagerung und dann noch einmal 45 Sekunden bei 72°C zur Strangverdopplung. Die Längenunterschiede der PCR Fragmente konnten auf einem 2%igen (0,5 × TBE) Agarose Gel detektiert werden (ZIEGENHAGEN et al. 2008).

2.3 Quantifizierung der Individuen mit Hybridanteil

Abhängig von der taxonomischen Zusammensetzung der Elternpopulation können wir drei verschiedene Elternkombinationen erwarten: i) *P. nigra* × F1 Hybrid (*P. × canadensis*), ii) F1 Hybrid × F1 Hybrid (F2 Hybrid) und iii) F1 Hybrid × *P. nigra*. Für die Identifizierung des mütterlichen Anteils wurde im Falle der Einzelbaumabsaaten die Artzugehörigkeit des Mutterbaum bereits eindeutig in einer anderen Studie bestimmt (RATHMACHER et al. 2010). Im Falle der Jungbäume wurde der taxonomische Status der Mutter unter Verwendung des cpDNA DT-Markers bestimmt. Wenn dieser Marker das spezifische Allel für *P. deltoides* zeigt, können wir davon ausgehen, dass dieses Individuum von einer Hybridpappel als Mutter abstammt (Fall ii und iii). Im anderen Fall hatte dieses Individuum eine Schwarzpappel als Mutter.

Die Klassifizierung und Quantifizierung des väterlichen Anteils ist aber wesentlich schwieriger. Auf Grund der Mendelschen Vererbungsregeln wird jedes elterliche Allel nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % an die Nachkommen weitergegeben und dies für alle vier nSSR Marker unabhängig voneinander. Daher kann es vorkommen, dass in einem Nachkommen eines F1 Hybriden gar keine

diagnostischen Allele für *P. deltoides* mehr auftauchen, selbst wenn der Vater auch eine Hybridpappel war. Um die Wahrscheinlichkeit dieses Ereignisses zu berechnen, haben wir Schemata entwickelt, die von ungeordneten Allelen ausgehen. Die drei Paarungsszenarien reduzieren sich daher zu zwei Schemata, da man die Fälle i) und iii) genau gleich behandeln kann (s. Abb. 2a). Der Fall ii) hingegen, der eine eindeutige Klassifizierung nur zulässt, wenn das diagnostische Allel für *P. deltoides* homozygot vorliegt, verhält sich daher ganz anders und benötigt ein eigenes Schema (s. Abb. 2b).

Die Berechnung der Häufigkeit der einzelnen Paarungsereignisse in unserem Untersuchungsgebiet erfolgt daher in drei Schritten. Zunächst wird der direkt zu beobachtende Anteil an diesem Kreuzungstyp ermittelt, dann wird entsprechend die Wahrscheinlichkeit bestimmt, genau diese Anzahl an Ereignissen zu detektieren und im dritten Schritt kann dann ein korrigierter Wert errechnet werden, welcher die tatsächliche Häufigkeit der jeweiligen Paarungsereignisse beschreibt.

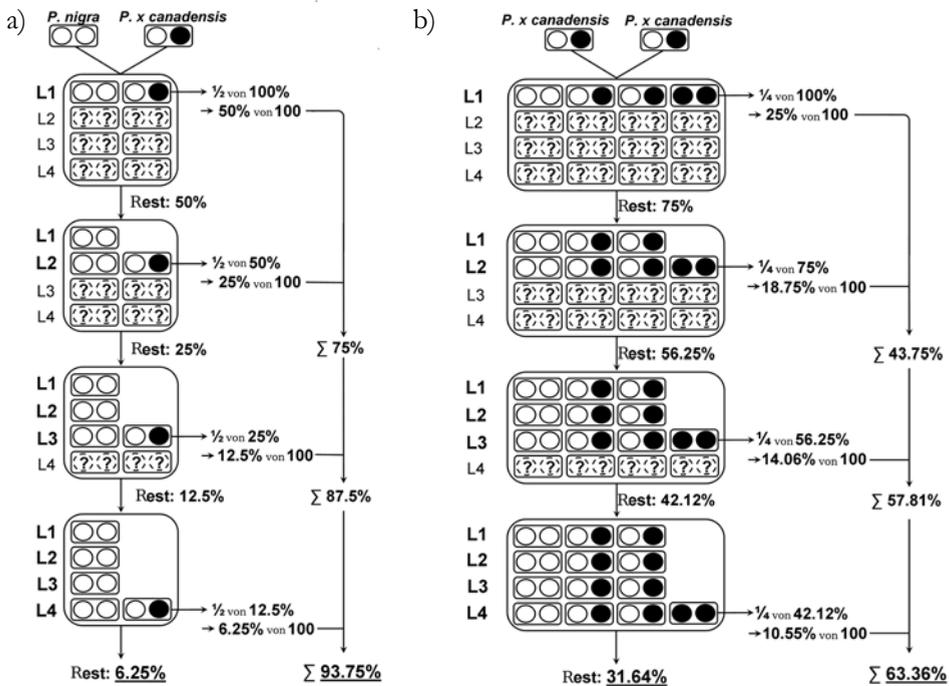


Abbildung 2: Illustration der zwei verschiedenen Kreuzungsschemata zur Berechnung des detektierbaren Anteils an Rückkreuzungen (a) und F2 Hybriden (b). Die vier Genorte (L1 – L4) sind jeweils untereinander angeordnet. Ein weißer Kreis bezeichnet ein unspezifisches Allel und ein schwarzer Kreis bezeichnet das für *P. deltoides* spezifische Allel.

2.3.1 Schema I: *P. nigra* × F1 hybrid (Rückkreuzung)

Wenn wir nur einen Genort mit diagnostischem Allel für *P. deltoides* betrachten, dann können wir nur in 50 % der Fälle diesen Kreuzungstyp von einer Kreuzung zwischen zwei reinen Schwarzpappeln unterscheiden, da nur in der Hälfte der Paarungsnachkommen auch das spezifische Allel von *P. deltoides* vererbt wird. Wenn man einen zweiten Genort mit solch einem artspezifischen Marker für die Bestimmung des Kreuzungstypes verwendet, dann kann man wiederum in 50 % der verbleibenden nicht detektierbaren Fälle den richtigen Kreuzungstyp nachweisen. Also hat man dann eine Gesamtwahrscheinlichkeit des Nachweises von $50\% + 25\% = 75\%$. Verwendet man nun noch einen dritten oder sogar einen vierten Genort mit artspezifischem Allel, dann reduziert sich die Wahrscheinlichkeit, dass man den Kreuzungstyp nicht nachweisen kann wieder je Schritt um 50 % der verbleibenden nicht detektierbaren Kreuzungen. Somit kommen wir auf einen Rest an nicht detektierbaren Kreuzungsereignissen von 6,25 % (s. Abb. 2a).

2.3.2 Schema II: F1 hybrid × F1 hybrid (F2 Hybrid)

Das Schema für die Wahrscheinlichkeiten des Nachweises von F2 Hybriden (F1 × F1 hybrid) folgt analog dem für den Nachweis von Rückkreuzungen. Aber in diesem Fall gelingt der eindeutige Nachweis dieses Kreuzungstyps nur, wenn das diagnostische Allel für *P. deltoides* an einem Genort homozygot vorliegt. Die Wahrscheinlichkeit hierfür beträgt allerdings pro Genort und Kreuzung nur 25 % (s. Abb. 2b). In allen anderen Fällen könnte diese Allelkombination auch durch eine Rückkreuzung bzw. durch die Kreuzung reiner Schwarzpappeln entstanden sein. Somit kommen wir bei vier Genorten mit diagnostischen Allelen auf eine Gesamtwahrscheinlichkeit des Nachweises von 68,36 %. Das heißt also, dass ein Anteil von 31,64 % dieser Kreuzungen nicht nachweisbar ist.

2.4 Projektionen

Unter Verwendung unserer Schemata haben wir zwei verschiedene Szenarien entwickelt. Im ersten Szenario haben wir untersucht, wie sich die Detektierbarkeit der Nachkommen mit Hybrid-Hintergrund in den Folgegenerationen entwickelt. Wir sind dabei davon ausgegangen, dass es ausschließlich Rückkreuzungen gibt und keine überlappenden Generationen vorkommen. In solch einem Szenario würden also nur reine Schwarzpappeln mit den Rückkreuzungen der vorangegangenen Generation kreuzen. In jeder Generation würden wir demnach wiederum nur die Hälfte der Rückkreuzungen detektieren können. In unserer Projektion ist die Detektierbarkeit solcher Ereignisse bis zur 7. Generation dargestellt.

Im zweiten Szenario untersuchen wir, wie die Anzahl an Genorten mit artspezifischen Allelen den Grad der Detektierbarkeit beeinflussen, wenn man Rückkreuzungen höherer Generationen zulässt. Für dieses Szenario wird das iterative

Schema aus Abbildung 2a schrittweise um weitere Genorte mit artspezifischen Allelen erweitert und die daraus resultierenden Wahrscheinlichkeiten errechnet. In jedem Schritt wird dem Schema entsprechend vom verbleibenden Rest am nicht detektierbaren Anteil jeweils die Hälfte abgezogen und dem erfolgreich zu detektierenden Anteil zugeschlagen.

3 Ergebnisse

Insgesamt wurden 3000 Samen ausgesät. Davon erreichten 2606 Samen das Keimlingsstadium. Somit haben wir eine durchschnittliche Keimungsrate von 87 %. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Samen verschiedener Bäume bzw. zwischen der Schwarzpappel und ihrem Hybriden. Die Keimlinge wurden für die nachfolgenden genetischen Analysen geerntet und getrocknet. In der genetischen Analyse konnten 98 % aller Allele an den vier Genorten identifiziert werden. Die Fehlerrate bei der Bestimmung der Allellängen betrug 0,0456.

3.1 Samen der *P. nigra* Mütter

Bei den Einzelbaumabsaaten der *P. nigra* Müttern konnten wir Introgressionsraten von *P. × canadensis* Pollen zwischen 0 % und 77,9 % ermitteln (s. Tab. 1). Der Mittelwert beträgt aber nur 8,9 %, da es nur in einem Fall zu einer extrem hohen Introgressionsrate kam. In diesem Fall befand sich die Schwarzpappel (2043.4) weit weg von allen männlichen Schwarzpappeln und war umgeben von vielen männlichen Hybridpappeln. In fast allen Fällen wurde durch die Korrektur der Introgressionsraten entsprechend unseres Schemas keine substantielle Änderung errechnet. Nur in dem einen Fall mit der extrem hohen beobachteten Introgression (2043.4) wurde durch die Anwendung des Schemas die tatsächliche Introgressionsrate von beobachteten 77,9 % auf 83,2 % korrigiert. Für alle anderen Samen wird davon ausgegangen, dass sie von einer reinen Schwarzpappel befruchtet wurden.

Tabelle 1: Anzahl an diagnostischen Allelen und Anzahl an Keimlingen mit diagnostischen Allelen für die Einzelbaumabsaaten der Schwarzpappel (BC 1: Rückkreuzung der ersten Generation; Korr: korrigierter Wert entsprechend dem Schema)

	2001.1	2043.4	E001		E017		E169		E228	
Jahr	2007	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007	2006	2007
Anzahl	190	95	95	136	105	191	136	191	51	190
WPMS 09		34			1					
WPMS 18		39								
PMGC 14		42	6	2						1
PMGC 2163		45		2						1
# Keimlinge		74	6	4	1					2
BC 1 [%]		77,89	6,32	2,94	0,95					1,05
Korr [%]		83,08	6,74	3,14	1,01					1,12

3.2 Samen der *P. × canadensis* Mütter

Bei den Einzelbaumabsaaten der *P. × canadensis* Mütter konnte im Mittel ein Anteil von 1,67 % als F2 Hybride ermittelt werden. Die Variation zwischen den jeweiligen Einzelbaumabsaaten ist nicht so groß wie bei den Schwarzpappelmüttern (s. Tab. 2). F2 Hybride wurden in fast allen Einzelbaumabsaaten gefunden außer bei denen von Baum E029 im Jahr 2007 und von Baum E146 im Jahr 2006. Obwohl der Prozentsatz an detektierbaren F2 Hybriden nur 68,38 % beträgt (s. Abb. 2b), wurden an Hand unseres Schemas nur geringfügig höhere Werte für die tatsächliche Anzahl an F2 Hybriden errechnet. Die meisten Samen wurden von *P. nigra* Pollen befruchtet. Selbst in den beiden Fällen von Hybridpappeln, bei welchen offensichtlich keine Schwarzpappeln in der näheren Umgebung gefunden wurden (Baum ID 1156.7 und 2025.2), konnte nur ein geringer Anteil an F2 Hybriden ermittelt werden.

Tabelle 2: Anzahl an diagnostischen Allelen und Anzahl an Keimlingen mit diagnostischen Allelen für die Einzelbaumabsaaten der Hybridpappel (F2: Prozentsatz an F2 Hybriden; Korr: korrigierter Wert entsprechend dem Schema)

	1156.7	2025.2	E029		E042		E083		E146	
Jahr	2007	2007	2006	2007	2006	2006	2007	2006	2007	
Anzahl	190	190	173	146	89	96	194	53	95	
WPMS 09	2	6	1							
WPMS 18	1	3	2			1				
PMGC 14	1	3				2	2			
PMGC 2163		7	1		1				1	
# Keimlinge	2	12	4		1	2	2		1	
F2 [%]	1,05	6,32	2,31		1,12	2,08	1,03		1,05	
Korr [%]	1,54	9,25	3,38		1,64	3,04	1,51		1,54	

3.3 Individuen der Jungwuchsfläche

Von den insgesamt 380 genetisch analysierten Individuen der Jungwuchsfläche wurde mit Hilfe des cpDNA Markers für 372 Individuen als Mutterbaum eine reine Schwarzpappel ermittelt. Die acht anderen Fälle (2,1 %) konnten somit eindeutig einer Herkunft von *P. × canadensis* Müttern zugeordnet werden. Ein Individuum dieser acht besaß jedoch kein einziges diagnostisches Allel an allen vier untersuchten nukleären Genorten. Die sieben Anderen besaßen ein bis drei solcher diagnostischer Allele. Von den 372 Jungbäumen, die eine Schwarzpappel als Mutter hatten konnte für sieben Individuen (1,9 %) eine Hybridpappel als Vater identifiziert werden, da diese jeweils mindestens ein diagnostisches Allel für *P. deltoides* trugen. Nach der Korrektur für die nicht detektierbaren Kreuzungen wurde eine Introgressionsrate von 2,2 % für die gesamte Jungwuchsfläche bestimmt. Daher ergibt sich eine Anzahl von 16 Individuen der Jungwuchsfläche, welche von einer Hybridpappel abstammen. Bei diesen sind jeweils die Hälfte aus Samen einer Schwarzpappel Mutter bzw. einer Hybridpappel Mutter hervorgegangen. Es konnten keine F2 Hybride auf der Jungwuchsfläche nachgewiesen werden, da in keinem Fall das *P. deltoides* spezifische Allel homozygot vorlag.

3.4 Projektionen

Bei wiederholten Rückkreuzungen halbiert sich der Anteil an detektierbaren Ereignissen von Generation zu Generation. Ebenso halbiert sich der Anteil an Allelen aus *P. deltoides* in der Population. In der Generation '1' sind dem Schema nach in 25 % der Rückkreuzungen noch *P. deltoides* Allele in der Population zu finden. In der Generation '2' wird dieser Anteil auf 12,5 % reduziert und in Generation '7'

beträgt der Anteil an *P. deltoides* Allelen nur noch 0,39 % (s. Abb. 3). Unter Verwendung von vier nukleären Markern können aber nur 93,75 % der Rückkreuzungen der ersten Generation (BC 1) auch wirklich eindeutig identifiziert werden (s. Abb. 2a). In den darauf folgenden Rückkreuzungen (BC 2-7), halbiert sich dieser Anteil jeweils schrittweise. In der Generation '7' können somit zum Beispiel nur noch 1,46 % der Rückkreuzungen mit Hilfe von vier Genorten mit diagnostischen Allelen nachgewiesen werden (s. Abb. 3).

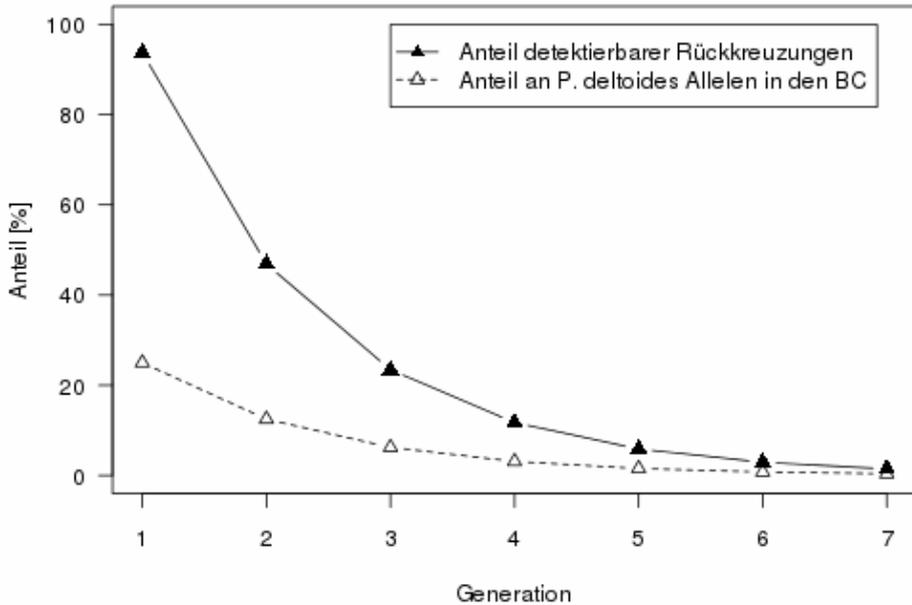


Abbildung 3: Projektion des Anteils an detektierbaren Rückkreuzungen (ausgefüllte Dreiecke) und an *P. deltoides* Allelen (leere Dreiecke) in diesen in Abhängigkeit von der Anzahl an aufeinander folgenden Kreuzungsereignissen

Will man nun mit einer hohen Wahrscheinlichkeit die Einkreuzung von *P. deltoides* Allelen in die Population unter der Annahme von wiederholten Rückkreuzungen detektieren, dann müssen konsequenterweise mehr und mehr dieser spezieller Genorte in die Analyse mit einbezogen werden. In der ersten Rückkreuzung reichen vier diagnostische Marker aus, um mit einer Sicherheit von 93,75 % diese Rückkreuzung identifizieren zu können (s. Abb. 3). In der zweiten Rückkreuzung benötigt man schon neun Marker, um eine ähnlich hohe Sicherheit zu erhalten (s. Abb. 4). Um Individuen der dritten Rückkreuzung mit einer hohen Sicherheit identifizieren zu können benötigt man bereits 18 diagnostische Marker. Diese 18 Marker würden jedoch in der fünften Generation nur noch eine Sicherheit von ca. 42 % bei der Identifizierung von Rückkreuzungen ermöglichen.

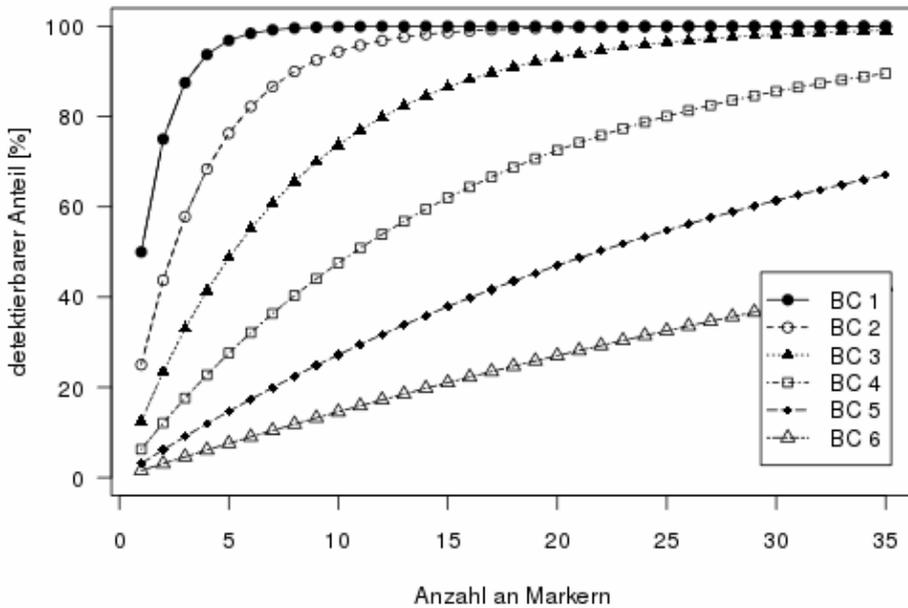


Abbildung 4: Detektierbarer Anteil an Individuen mit Hybridpappel Hintergrund in Abhängigkeit von der Anzahl an Markern und der Häufigkeit der Rückkreuzungen (BC 1 – BC 6).

4 Diskussion

Unser Untersuchungsgebiet lag in einer typischen mitteleuropäischen Flusslandschaft, in welcher einheimische Schwarzpappeln in der Flussaue von vielen gepflanzten F1 Hybriden umgeben sind. Da die gepflanzten Hybridpappeln fruchtbar sind (BRADSHAW et al. 2000, VANDEN BROECK et al. 2003) und die Blühphase beider Taxa überlappend ist (NIGGEMANN et al. 2006), kommt es zur gegenseitigen Befruchtung. Auf Grund eines langen Winters war diese Überlappung im Jahr 2006 vollständig. Somit kann man aus den Daten von diesem speziellen Jahr direkt auf Unterschiede in der Fertilität und der Ausprägung der Kompatibilität schließen. Durch die gegenseitige Befruchtung der Taxa entstehen sogenannte Rückkreuzungen und F2 Hybride. Eine exakte Quantifizierung der Kreuzungsprodukte ist schwierig, da auf Grund der Mendelschen Vererbungsregeln in einem F1 Hybriden jeweils nur 50 % von den beiden Eltern stecken und diese Eigenschaften bei weiteren Kreuzungen unabhängig voneinander segregieren. Durch wechselseitige Befruchtungen kann es so zur Etablierung von Hybridschwärmen kommen die sich nur schwer nachweisen lassen (SEEHAUSEN 2004). Von einem Hybridschwarm spricht man, wenn die Hybride regelmäßig mit sich selbst und mit den reinen Arten kreuzen (GRANT 1981). Wenn diese Rückkreuzungen nur in eine spezielle Richtung erfolgreich sind, dann kann der Genpool der einen Art durch

die Gene der anderen überschwemmt werden (HAMZEH et al. 2007) und auf lange Sicht kann es sogar zum Austausch dieser Gene kommen.

Obwohl in mehreren Untersuchungen an der Schwarzpappel in ähnlichen Gebieten keine Introgression nachgewiesen werden konnte (FOSSATI et al. 2003, IMBERT u. LEFÈVRE 2003, TABBENER u. COTTRELL 2003, VANDEN BROECK et al. 2006), so gibt es auch andere Untersuchungen, welche eben dieses gefunden hatten (AHRENS et al. 1998, SMULDERS et al. 2008a, ZIEGENHAGEN et al. 2008). In diesen Studien wurde festgestellt, dass eine enge räumliche Nachbarschaft von *P. nigra* und *P. × canadensis* wichtig für eine erfolgreiche Befruchtung ist. Allerdings haben diese Studien bisher nur gezeigt, dass es solche Kreuzungen gibt, da in diesem Fall das Allel der anderen Art gefunden wurde. Welchen Kreuzungsstatus die untersuchten Individuen haben bzw. wer genau die Eltern solcher Kreuzungen sind, wurde in den meisten Fällen nicht ermittelt, da dies auch nur schwer und mit einem teilweisen hohen technischen Aufwand erfolgen kann.

In unseren Untersuchungen konnten wir Rückkreuzungen des Hybriden in die Schwarzpappel nachweisen. Solche Kreuzungen wurden nicht nur in den Samen, sondern auch im Jungwuchs gefunden. Somit besteht ein reelles Risiko, dass diese beiden Taxa Hybridschwärme bilden können. Allerdings lag die Introgressionsrate bei den Samen nur zwischen 0 und 6 %, wenn man den extremen Fall der einzelnen Schwarzpappel (2043.4) im Norden des Untersuchungsgebietes heraus lässt. Da in der näheren Umgebung dieses Mutterbaumes keine männlichen Schwarzpappel stehen, gehen wir davon aus, dass es eine starke Konkurrenz zwischen den Pollen beider Taxa gibt (RAJORA 1989) und der Pollen der Hybridpappel eher benachteiligt ist oder schlechter keimt. In der Jungwuchsfläche haben wir ca. 2 % solcher Ereignisse gefunden, wenn man den Nachweis eines diagnostischen Allels im Individuum als Indikator dafür annimmt. Dies würde für eine erhöhte Überlebensrate solche Keimlinge mit Hybrid-Hintergrund sprechen, da sich der Prozentsatz von durchschnittlich 1 % in den Samen auf ungefähr 2 % erhöht hat. Da aber die konkrete räumliche Nachbarschaft von ausschlaggebender Bedeutung für die Höhe der Introgression ist, können wir diese zwei Werte nicht direkt miteinander vergleichen. Die Samen wurden verteilt im gesamten Untersuchungsgebiet gesammelt und die Jungwuchsfläche wurde hauptsächlich von Mutterbäumen aus der Nähe begründet (RATHMACHER et al. 2010). Nimmt man auch noch die introgressierten Individuen hinzu, welche von einer Hybrid-Mutter abstammen, dann würden wir sogar eine Rate von ca. 4 % an Rückgekreuzten innerhalb der Jungwuchsfläche erhalten. Somit erhöht sich das Risiko der Hybrid-schwarmbildung durch die Etablierungsphase. Da wir jedoch keine Rückkreuzungen bei den Altbäumen gefunden haben (RATHMACHER et al. 2010), bleibt die offene Frage, ob es nicht im späteren Alter Gründe für den Ausfall dieser Rückkreuzungen gibt.

Für den zweiten Fall der Kreuzung zweier Hybridpappeln haben wir zwar F2 Hybride gefunden, jedoch nur in den Samen. Im Jungwuchs konnte keine F2

Hybride mit diesen vier genetischen Markern nachgewiesen werden. Dies mag u. a. an der geringen Stichprobengröße liegen, da wir Homozygote für das *P. deltoides* spezifische Allel bei den Samen von *P. × canadensis* Müttern innerhalb der Ederaue im Durchschnitt in nur einem Prozent der Fälle gefunden haben. Aber genau wie im ersten Fall kann hierfür auch die räumliche Anordnung von männlichen Hybrid- und Schwarzpappeln verantwortlich sein. In der Nähe der Jungwuchsfläche stehen deutlich mehr männliche Schwarzpappeln als männliche Hybridpappeln. Ein weiterer Grund für das vollständige Fehlen von F2 Hybriden in der Jungwuchsfläche könnte der Effekt des F2-Zusammenbruchs darstellen (STEBBINS 1958). Dabei sind die F1 Hybride selber durch den Heterosis Effekt oft sogar besser als ihre Eltern, jedoch sind die F2 Hybride nicht mehr lebensfähig (RIESEBERG u. CARNEY 1998). Da die verschiedenen Pappelarten bereits seit langer Zeit sympatrisch nebeneinander vorkommen und bisher bei ihnen kaum Introgression gefunden wurde, scheint die Theorie des F2 Zusammenbruchs („hybrid breakdown“) für diese Gattung zu gelten (VANDEN BROECK et al. 2005). Im Gegensatz dazu haben SMULDERS et al. (2008b) einige F2 Hybride bei Jungbäumen entlang des Rheins gefunden.

Aus naturschutzfachlicher Sicht können wir zwischen dem offensichtlichen Risiko durch die Rückkreuzungen des Hybriden in die Schwarzpappel, der versteckten Variante der Kreuzung zweier F1 Hybride und der Rückkreuzung der Schwarzpappelpollen in die Hybridpappelsamen unterscheiden. Im ersten Fall kommt es bei wiederholter Rückkreuzung zur Ausdünnung der Allele der anderen Elternart (*P. deltoides*) und das Risiko besteht nur in dem Fall, wenn die fremden Allele einen Selektionsvorteil gegenüber den einheimischen Varianten haben. Dagegen werden im Fall von Kreuzungen der Hybride untereinander die Allele der anderen Elternart nicht ausgedünnt und würden in gleichbleibender Stärke in der Landschaft erhalten bleiben, selbst wenn keine neuen F1 Hybride mehr gepflanzt werden. Im dritten Fall würde auch bei wiederholten Kreuzungen stets der Chloroplast derjenige von *P. deltoides* bleiben, da dieser rein mütterlich vererbt wird. Schlussendlich muss man an dieser Stelle noch erwähnen, dass die gepflanzten Pappelhybriden meist aus nur wenigen Klonen bestehen, daher selber eine geringe genetische Diversität besitzen und bei wiederholten Rückkreuzungen mit den einheimischen Schwarzpappeln deren genetische Diversität verringern würden, welche im Moment noch als relative hoch eingeschätzt wird (CAGELLI u. LEFÈVRE 1995, AHRENS et al. 1998, LEFÈVRE et al. 2001).

Für eine schlüssige Bewertung der Introgression müssen außer der räumlichen Anordnung noch weitere Einflüsse Beachtung finden. Zum Beispiel könnten unterschiedliche Fertilitäten der einzelnen Kreuzungsprodukte, unterschiedliche Etablierungsraten der Keimlinge wie auch stärkere Variationen der Blühphänologie das Ergebnis stark verändern. All diese Komponenten sollten in einem räumlich expliziten Modell auf ihren Einfluss auf die Introgressionsrate hin überprüft werden. Solche Modelle könnten dann auch später für die Standortbestimmung

von Kurzumtriebsplantagen verwendet werden, um die Auswirkungen dieser auf die natürlichen Schwarzpappelpopulationen so gering wie möglich zu halten.

Literatur

- AHRENS, P.; COOPS, H., JANSEN, J. u. VOSMAN, B. (1998): Molecular genetic analysis of black poplar (*Populus nigra* L.) along Dutch rivers. *Molecular Ecology*, 7, 11-18
- ARNOLD, M.L. (1997): *Natural hybridization and evolution*. Oxford University Press US.
- BEKKAOUI, F.; MANN, B. u. SCHROEDER, B. (2003): Application of DNA markers for the identification and management of hybrid poplar accessions. *Agroforestry Systems*, 59, 53-59
- BRADSHAW, H.D.; CEULEMANS, R.; DAVIS, J. u. STETTLER, R. (2000): Emerging Model Systems in Plant Biology: Poplar (*Populus*) as A Model Forest Tree. *Journal of Plant Growth Regulation*, 19, 306-313
- CAGELLI, L. u. LEFÈVRE, F. (1995): The conservation of *Populus nigra* L. and gene flow with cultivated poplars in Europe. *Forest genetics*, 2, 135-144
- CERVERA, M.-T.; STORME, V.; IVENS, B.; GUSMAO, J.; LIU, B.H. u. HOSTYN, V. (2001): Dense Genetic Linkage Maps of Three *Populus* Species (*Populus deltoides*, *P. nigra* and *P. trichocarpa*) Based on AFLP and Microsatellite Markers. *Genetics*, 158, 787-809
- CSENCICS, D.; ANGELONE, S.; PANIGA, M.; ROTACH, P.; RUDOW, A. u. SABIOTE, E. (2009): A large scale survey of *Populus nigra* presence and genetic introgression from non-native poplars in Switzerland based on molecular identification. *Journal for Nature Conservation*, 17, 142-149
- DEMASURE, B.; SODZI, N. u. PETTIT, R.J. (1995): A set of universal primers for amplification of polymorphic non-coding regions of mitochondrial and chloroplast DNA in plants. *Molecular Ecology*, 4, 129-134
- ELTON, C.S. (1958): *The ecology of invasions by animals and plants*. Methuen, London.
- FOSSATI, T.; GRASSI, F.; SALA, F. u. CASTIGLIONE, S. (2003): Molecular analysis of natural populations of *Populus nigra* L. intermingled with cultivated hybrids. *Molecular Ecology*, 12, 2033-2043
- GAUDET, M.; JORGE, V.; PAOLUCCI, I.; BERITOGNOLO, I.; MUGNOZZA, G. u. SABATTI, M. (2008): Genetic linkage maps of *Populus nigra* L. including AFLPs, SSRs, SNPs, and sex trait. *Tree Genetics & Genomes*, 4, 25-36
- GRANT, V. (1981): *Plant speciation*. 2nd edn. Columbia University Press, New York.
- HAMZEH, M.; SAWCHYN, C.; PÉRINET, P. u. DAYANANDAN, S. (2007): Asymmetrical natural hybridization between *Populus deltoides* and *P. balsamifera* (*Salicaceae*). *Bot.*, 85, 1227-1232
- HEINZE, B. (1998): PCR-based chloroplast DNA assays for the identification of native *Populus nigra* and introduced poplar hybrids in Europe. *Forest Genetics*, 5, 31–38
- HEINZE, B. (2008). Genetic traces of cultivated hybrid poplars in the offspring of native *Populus nigra* in Austria. *Preslia*, 80, 365-374
- IMBERT, E. u. LEFÈVRE, F. (2003): Dispersal and gene flow of *Populus nigra* (*Salicaceae*) along a dynamic river system. *Journal of Ecology*, 91, 447-456
- JUMP, A.S.; WOODWARD, F.I. u. BURKE, T. (2003): *Cirsium* Species Show Disparity in Patterns of Genetic Variation at Their Range-Edge, despite Similar Patterns of Reproduction and Isolation. *New Phytologist*, 160, 359-370
- KELLER, S.R. u. TAYLOR, D.R. (2010): Genomic admixture increases fitness during a biological invasion. *Journal of Evolutionary Biology*, 1720-1731
- KHASA, D.; POLLEFEYS, P.; NAVARRO-QUEZADA, A.; PERINET, P. u. BOUSQUET, J. (2005): Species-specific microsatellite markers to monitor gene flow between exotic poplars and their natural relatives in eastern North America. *Molecular Ecology Notes*, 5, 920-923
- LEFÈVRE, F.; KAJBA, D.; HEINZE, B.; ROTACH, P.; DE VRIES, S.M.G. u. TUROK, J. (2001): Black poplar: A model for gene resource conservation in forest ecosystems. *Forestry Chronicle*, 77, 239-244

- LEFÈVRE, F.; LÉGIIONNET, A.; DE VRIES, S. u. TUROK, J. (1998): Strategies for the conservation of a pioneer tree species, *Populus nigra* L., in Europe. *Genetics Selection Evolution*, 30, 181-196
- MALLET, J. (2005): Hybridization as an invasion of the genome. *Trends in Ecology & Evolution*, 20, 229-237
- MELCHIOR, G.H. u. SEITZ, F.W. (1968): Interspezifische Kreuzungssterilität innerhalb der Pappel-sektion Aigeiros. *Silvae Genetica*, 17, 88-93
- MOONEY, H.A. u. CLELAND, E.E. (2001): The evolutionary impact of invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98, 5446 -5451
- NIGGEMANN, M.; RATHMACHER, G. u. BIALOZYT, R. (2006): The risk of introgression of foreign genes in *Populus* spec. - Differences in the flowering phenology of *P. nigra* and *P. × canadensis*. In: HOFFMEISTER, T.; DIEKMANN, M.: *Proceedings of the GfÖ.*, p. 91
- POSPÍŠKOVÁ, M. u. SÁLKOVÁ, I. (2006): Population structure and parentage analysis of black poplar along the Morava River. *Can. J. For. Res.*, 36, 1067-1076
- RAJORA, O.P. (1989): Pollen competition among *Populus deltoides* Marsh., *P. nigra* L. and *P. maximowiczii* Henry in fertilizing *P. deltoides* ovules and siring its seed crop. *Sexual Plant Reproduction*, 2, 90-96
- RATHMACHER, G.; NIGGEMANN, M.; WYPUKOL, H.; GEBHARDT, K.; ZIEGENHAGEN, B. u. BIALOZYT, R. (2009): Allelic ladders and reference genotypes for a rigorous standardization of poplar microsatellite data. *Trees - Structure and Function*, 23, 573-583
- RATHMACHER, G.; NIGGEMANN, M.; KÖHNEN, M.; ZIEGENHAGEN, B. u. BIALOZYT, R. (2010): Short-distance gene flow in *Populus nigra* L. accounts for small-scale spatial genetic structures: implications for in situ conservation measures. *Conserv Genet*, 11, 1327-1338
- RHYMER, J.M. u. SIMBERLOFF, D. (1996): Extinction by hybridization and introgression. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 27, 83-109
- RICHARDSON, D.M.; PYŠEK, P.; REJMÁNEK, M.; BARBOUR, M.G.; PANETTA, F.D. u. WEST, C.J. (2000): Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity & Distributions*, 6, 93-107
- RIESEBERG, L.H. u. CARNEY, S.E. (1998): Plant hybridization. *New Phytol*, 140, 599-624.
- SEEHAUSEN, O. (2004): Hybridization and adaptive radiation. *Trends in Ecology & Evolution*, 19, 198-207
- SMULDERS, M.J.M.; BERINGEN, R.; VOLOSANCHUK, R.; VANDEN BROECK, A.; SCHOOT, J.; ARENS, P., ET AL. (2008a): Natural hybridisation between *Populus nigra* L. and *P. × canadensis* Moench. Hybrid offspring competes for niches along the Rhine river in the Netherlands. *Tree Genetics & Genomes*, 4, 663-675
- SMULDERS, M.J.M.; COTTRELL, J.E.; LEFÈVRE, F.; VAN DER SCHOOT, J.; ARENS, P.; VOSMAN, B.; ET AL. (2008b): 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
- SMULDERS, M.J.M.; SCHOOT, J.V.D.; ARENS, P. u. VOSMAN, B. (2001): Trinucleotide repeat microsatellite markers for black poplar (*Populus nigra* L.). *Molecular Ecology Notes*, 1, 188-190
- STEBBINS, G.L. (1958): The Inviability, Weakness, and Sterility of Interspecific Hybrids. *Academic Press*, pp. 147-215
- TABBENER, H.E. u. COTTRELL, J.E. (2003): The use of PCR based DNA markers to study the paternity of poplar seedlings. *Forest Ecology and Management*, 179, 363-376
- VAN DER SCHOOT, J.; POSPÍŠKOVÁ, M.; VOSMAN, B. u. SMULDERS, M.J.M. (2000): Development and characterization of microsatellite markers in black poplar (*Populus nigra* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 101, 317-322
- VANDEN BROECK, A.; COX, K.; QUATAERT, P.; VAN BOCKSTAELE, E. u. VAN SLYCKEN, J. (2003): Flowering Phenology of *Populus nigra* L., *P. nigra* cv. *italica* and *P. × canadensis* Moench. and the Potential for Natural Hybridisation in Belgium. *Silvae Genetica*, 52, 280-283

- VANDEN BROECK, A.; STORME, V.; COTTRELL, J.E.; BOERJAN, W.; VAN BOCKSTAELE, E. u. QUATAERT, P. (2004): Gene flow between cultivated poplars and native black poplar (*Populus nigra* L.): a case study along the river Meuse on the Dutch-Belgian border. *Forest Ecology and Management*, 197, 307-310
- VANDEN BROECK, A.; VILLAR, M.; BOCKSTAELE, E.V. u. VANSLYCKEN, J. (2005): Natural hybridization between cultivated poplars and their wild relatives: evidence and consequences for native poplar populations. *Annals of Forest Science*, 62, 13
- VANDEN BROECK, A.; COTTRELL, J.; QUATAERT, P.; BREYNE, P.; STORME, V. u. BOERJAN, W. (2006): Paternity analysis of *Populus nigra* L. offspring in a Belgian plantation of native and exotic poplars. *Annals of Forest Science*, 63, 8 pages
- ZIEGENHAGEN, B.; GNEUSS, S.; RATHMACHER, G.; LEYER, I.; BIALOZYT, R. u. HEINZE, B. (2008): A fast and simple genetic survey reveals the spread of poplar hybrids at a natural Elbe river site. *Conservation Genetics*, 9, 373-379
- ZSUFFA, L.; LIN, D. u. PAYNE, P. (1999): One-way crossing barriers in some interspecific crosses of *Aigeiros* and *Tacamahaca* poplars. *For. Chron.*, 75, 833-836

Korrespondierender Autor:

Dr. Ronald Bialozyt
Philipps-Universität Marburg, FB Biologie, AG Naturschutzbiologie
Karl-von-Frisch-Str. 8
35032 Marburg
E-Mail: bialozyt@biologie.uni-marburg.de

Dr. Georg Rathmacher
Dr. Marc Niggemann
Prof. Dr. habil Birgit Ziegenhagen
Philipps-Universität Marburg, FB Biologie, AG Naturschutzbiologie

Ökologisches Potenzial und Analyse von Leistungsparametern europäischer Weidenarten für den Kurzumtrieb

Ecological potential and analysis of performance parameters for European willow species suitable for short rotation coppice

Steffen Fehrenz und Daniel Weber

Zusammenfassung

Ausgehend von schwedischen Züchtungsbemühungen wurden vor allem die Arten *Salix viminalis* und *Salix dasyclados* mit ihren zahlreichen Sorten wie u. a. Tora, Björn und „Tordis“ in den Fokus der Energieholzbereitstellung gerückt. Diese Sorten glänzen durch hervorragende Eigenschaften, wie klonale Vermehrbarkeit, sowie Widerstandsfähigkeit gegen Rost und starken Frost. Für den mitteleuropäischen Anbau von Weiden im Kurzumtrieb sind aber auch Eigenschaften, wie Trockenheitsresistenz, und die Bodenbeschaffenheit an Marginalstandorten von Bedeutung. Durch die Einkreuzung von z. B. *Salix caprea*, wie auch *Salix purpurea* und *Salix daphnoides*, wird deren Anspruchslosigkeit gegenüber Wasser in neue Sorten integriert. Auch die hohe Leistungsfähigkeit des Wurzelsystems von *Salix cinerea* an verdichteten, sauren und sauerstoffarmen Böden erhöht die Vielfalt des züchterischen Potenzials für die Energieholzbereitstellung. Nicht zuletzt bietet die Weide

auch bei der Wahl des Rotationsmodus die entsprechende Vielfalt. So ist der Anbau von *S. alba*, *S. fragilis* und *S. pentandra* für die Midi- oder sogar Maxirotaion noch zu prüfen. Die Kapazität der Fotosynthese, die Effizienz der Kohlenstofffixierung sowie die phänologisch und anatomisch-morphologischen Spezifikationen eines potenziellen Leistungsträgers entscheiden gemeinsam über dessen Eignung für die Biomasseproduktion. Aus diesem Grund ermöglicht die frühzeitige Erkennung von Wuchs- und Resistenzeigenschaften vorselektierter Züchtungsprodukte dem Züchter die baldige Erkennung von Leistungsträgern. Auf einer Versuchsfläche von 34 alten Weidensorten, die in einem Blockversuch zu 24 Ramets je Klon angelegt wurden, wurden die Parameter Höhe, Austriebsvermögen, Blattrostbefall, Einzelblattfläche, relative Blattfläche sowie verschiedene Parameter der Fotosyntheseeffizienz erfasst. In einem Vergleich zwischen Arten, Sektionen und Klonen wurden diese Leistungsindizes auf ihre Aussagekraft in Bezug auf die zu erwartende Biomasseproduktion überprüft. Wir geben einen Überblick wie im Rahmen des Projekts „Weidenzüchtung“ (FKZ 22012409) der NW-FVA durch Analyse dieser, in einer frühen Prüfungsphase bewerteten Leistungsparameter, die morphologische und ökologische Plastizität heimischer Weidenarten für die Biomasseproduktion im Kurzumtrieb züchterisch genutzt werden kann.

Stichworte: *Salix*, KUP, Rostresistenz, Leistungsparameter, Blattfläche, Chlorophyll-Fluoreszenz

Abstract

Building on tree breeding efforts in Sweden, wood energy production has since focussed primarily on the species *Salix viminalis* and *Salix dasyclados* with their numerous varieties including Tora, Björn und „Tordis“. These varieties stand out with excellent characteristics such as clonal reproduction potential, and resistance to rust and severe frost. For the cultivation of willow in short rotations in Central Europe, however, characteristics such as drought resistance and soil conditions on marginal sites are also important. By crossbreeding, e.g. *Salix caprea*, *Salix purpurea* and *Salix daphnoides*, the non-specific site requirements of these varieties in relation to water were incorporated into new varieties. In addition, the high productivity of the rooting system of *Salix cinerea* on compacted, acidic, nutrient-poor soils increased variation in breeding potential for wood energy production. Not least, willow also affords the desired flexibility in the selection of the rotation period. Thus the cultivation of *S. alba*, *S. fragilis* and *S. pentandra* still needs to be tested for medium and also maximum rotation periods. The photosynthetic capacity, carbon-fixation efficiency and the phenology and morphology of a potentially vigorous tree determine its suitability for biomass production. For this reason, early recognition of growth and resistance characteristics of the preselected crossbreeds enables the breeder to identify high performers quickly. In a study site comprising 34 old

willow cultivars established in a block trial with 24 ramets per clone, the parameters height, coppicing capacity, leaf rust infestation, single leaf area, relative leaf area, in addition to a range of parameters for photosynthesis efficiency were recorded. In a comparison of species, sections and clones, the significance of the performance indices were tested in relation to expected biomass production. We provide an overview of how the analysis of performance parameters, assessed in an earlier test phase as part of the willow breeding project (FKZ 22012409) of the NW-FVA (North-West German Forest Research Institute), morphological and ecological plasticity of native willow species can be used to breed for biomass production in short rotation coppice plantations.

Keywords: *Salix*, SRC, rust resistance, performance parameters, leaf area, chlorophyll fluorescence

1 Einleitung

Von den weltweit etwa 500 Weidenarten sind je nach Artbegriff etwa 65 Spezies für den mitteleuropäischen Raum beschrieben (RECHINGER 1957). Davon sind mehr als 10 Arten dafür bekannt, dass sie in unseren Breiten zu Sträuchern und sogar Bäumen heranwachsen können und somit das grundsätzliche Potenzial für die Gewinnung von Biomasse besitzen. Die Gattung *Salix* gilt unter Botanikern als schwierige Gruppe. Durch die hohe morphologische, aber dennoch geringe genetische Diversität, ist eine Zuordnung in systematischer Hinsicht nicht immer einfach. Das Auftreten von Polyploidie innerhalb verschiedener Sektionen und die verbreitete Hybridisierung ist ein Hinweis darauf, dass sich die Artbildung in dieser Gattung noch mitten in der Evolution befindet. Die einzelnen Entwicklungslinien sind noch nicht vollständig getrennt und so kommt es, dass der einzige artstabilisierende Faktor die Eingliederung in spezielle Ökosysteme ist. Diese Eingliederung sorgt in der Gattung *Salix* dafür, dass deutlich getrennte Areale zunächst zu exogenen Kreuzungsbarrieren führen und somit das Potenzial der Weiden zur Hybridisierung auch über Sektionsgrenzen hinweg aufrecht erhält. Die Eroberung diverser Lebensräume führt zur morphologischen und physiologischen Adaptionen einiger Spezies, die aus diesem Grund besonders wertvoll für den Anbau im Kurzumtrieb sind.

2 Bewertung des ökologischen Potenzials europäischer Weidenarten und deren Hybriden für den Kurzumtrieb

Die Einstufung, der zur Züchtung im Kurzumtrieb zur Verfügung stehenden Weidenarten in Hinblick auf ihr ökologisches Potenzial aber auch ihrer systematischen und reproduktionsbiologischen Spezifikationen, war im Projekt „Weidenzüchtung“ eine wichtige Voraussetzung für alle durchgeführten Kreuzungs-

arbeiten. Die Zusammenstellung der in Abbildung 1 dargestellten Übersicht „Ökologisches Potenzial europäischer Weidenarten und Hybriden“ erfolgte auf Grundlage der Erfahrungen, die in diversen Kreuzungsexperimenten (2009 bis 2011) und unter Berücksichtigung der bestehenden Literatur (HÖRANDL et al. 2002, LAUTENSCHLÄGER-FLEURY 1994, SCHIECHTL 1992, SCHÜTT et al. 1994) gewonnen werden konnten. Für die Züchtung im Kurzumtrieb relevante artspezifische Eigenschaften geeigneter Weidentaxa und ihre Einkreuzung in zukünftige Leistungsklone werden im Folgenden beschrieben.

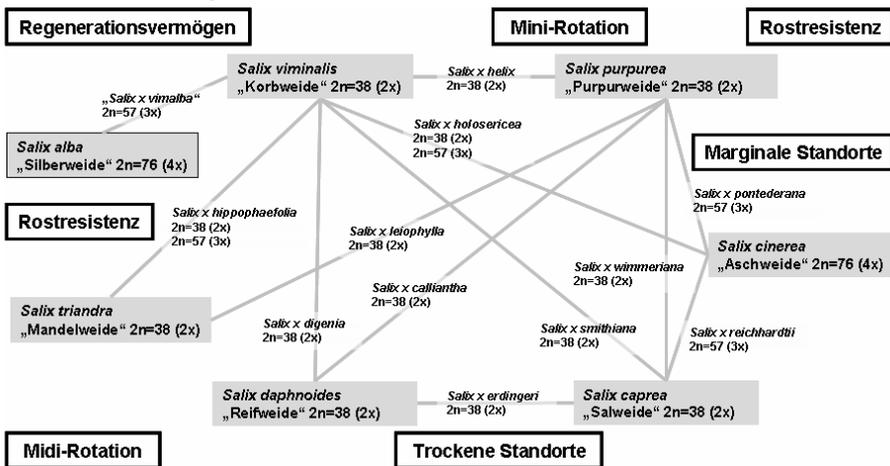


Abbildung 1: Übersicht der Kreuzungsmöglichkeiten mitteleuropäischer Strauchweiden der Untergattung *Caprisalix* mit der UG *Amerina* (Baumweiden, hier nur vertreten durch *S. alba*), Zuordnung wichtiger ökologischer Artmerkmale und Leistungsparameter für den Kurzumtrieb sowie Auflistung der artspezifischen Ploidiegrade auch ihrer Hybriden, Darstellung artspezifischer ökologischer Trends

2.1 Regenerationsvermögen

Die hohe Regenerationsfähigkeit sowie ihr jährlicher Zuwachs zeichnen die Arten *S. viminalis*, *S. purpurea* und *S. alba* aus. Die hohe Biegsamkeit ihrer Triebe veranlasste schon die Menschen in der Antike dazu, diese Weiden für Flechtarbeiten und wasserbautechnische Zwecke zu verwenden. Landschaftsökologisch wertvolle Kopfweiden weisen noch immer auf diese traditionellen Nutzungsformen hin. Die ausgezeichnete klonale Vermehrbarkeit und der jährliche Zuwachs sind vor allem auch der Grund, weshalb die Art *S. viminalis* die Ausgangsart aller bisherigen Züchtungsbemühungen für den Energieholzanbau mit Weiden ist.

2.2 Rostresistenz

Rostpilze können schon ab dem ersten Jahr der Kultivierung erhebliche Schäden an den Pflanzen anrichten. Da der verursachte Schaden vor allem auf den Blättern

wirksam wird, ist vor allem die Fotosynthese auf den befallenen Blattflächen beeinträchtigt. Die Folgen sind geringere Zuwachsraten und Ausreifung des Holzes, was zusätzlich noch zu Frostschäden führen kann. Eine erhöhte natürliche Resistenz gegenüber Rostpilzen, einem der pathogensten Pilze an Weiden, konnte bisher nur bei *S. alba*, *S. fragilis* und *S. pentandra* aus der Untergattung (UG) Amerina sowie der Purpurweide *S. purpurea* aus der UG Caprisalix beobachtet werden. Eine geringere Anfälligkeit gegenüber Rostpilzen wird vor allem mit einem erhöhten Catechingehalt begründet (HAKULAINEN et al. 1999). Erhöhte Rostresistenz konnte im Projekt „Weidenzüchtung“ für die Hybriden *S. x helix* (*S. purpurea* x *S. viminalis*), *S. x calliantha* (*S. purpurea* x *S. daphnoides*) und *S. x wimmeriana* (*S. purpurea* x *S. caprea*) erzielt werden. Die aus diesen Kreuzungen entstandenen Selektionen müssen ihre Resistenz aber noch an verschiedenen zu testenden Standorten zeigen.

2.3 Marginale Standorte

Kreuzungen mit *S. cinerea* könnten für feuchte, verdichtete und sauerstoffarme Standorte interessant sein. Die daraus entstehenden Hybriden *S. x pontederana* (*S. cinerea* x *S. purpurea*) und *S. x reichardtii* (*S. cinerea* x *S. caprea*) kommen auch in der Natur vor. Die Purpurweide (*S. purpurea*) zeigt eine besonders hohe ökologische Amplitude. So erobert sie Standorte, die in ihrer Höhenausbreitung von der planaren bis in die montane Stufe reichen. Die von ihr besiedelten Lebensräume weisen eine hohe Variabilität des Substrats in Bezug auf Bodenreaktion und Körnung auf. So findet man sie begleitend an Gebirgsbächen über 2000 m aber auch als Pioniergehölz auf Halden und Steinbrüchen in der Ebene. Auch unter erhöhten Salzkonzentrationen im Boden leidet sie deutlich weniger als andere Gehölze. Ihr ausgeprägtes Wurzelsystem befähigt diese Art an erosionsgefährdeten Hanglagen als stabilisierendes Element eingesetzt zu werden. Auch die Reifweide (*S. daphnoides*), besonders deren Variation Pomeranica, ist befähigt zur Eroberung von Marginalstandorten. So ist die Baltische Reifweide in Dünen der Ostsee zu finden. Sie wird aus diesem Grund auch zur Befestigung von Wanderdünen in Russland gepflanzt. Die Kombination von *S. purpurea* mit *S. daphnoides* ergibt die Hybride *S. x calliantha*. Es ist zu vermuten, dass sich Leistungsklone, die aus der Kreuzung dieser Arten selektiert wurden, für einen Anbau an landwirtschaftlichen Grenzstandorten hervorragend eignen werden.

2.4 Trockene Standorte

Die wohl auf den trockensten Standorten wachsende eurasische Weidenart ist die Salweide (*S. caprea*). Zwar auf mittelfrischen Böden typisch, wächst sie an wasserfernen Standorten zu bis 10 m hohen Bäumen heran. Man findet diese Art häufig auch fern von Gewässern als Vorwaldgehölz auf Kahlschlägen, auf und entlang von Bahndämmen, auf Halden und Steinbrüchen sowie in der natürlichen Waldrandstruktur naturnaher Wälder. Die reine Art ist schwer klonal vermehrbar und

für den effektiven Anbau in einer Kurzumtriebsplantage (KUP) aus diesem Grund ungeeignet. *Salix caprea* ist aber eingekreuzt in zahlreichen Hybriden, die vor allem für den Leistungsanbau gezüchtet wurden. In den Hybriden *S. x smithiana* (*S. viminalis* x *S. caprea*) und *S. x dasyclados* (*S. viminalis* x *S. caprea* x *S. cinerea*) wurden die geringeren Ansprüche der Salweide an die Wasserversorgung zu der klonal guten Vermehrbarkeit der anderen Arten hinzugefügt. Durch die Bereitstellung neuer Hybriden wie *S. x wimmeriana* (*S. caprea* x *S. purpurea*) sowie *S. x erdingeri* (*S. caprea* x *S. daphnoides*) können weitere Sorten die Auswahl an Klonen für trockenere Standorte im Ertragsanbau erheblich erweitern.

2.5 Rotationsmodus

Ihre Vielgestaltigkeit zeigen die Weiden auch in Bezug auf ihre Wuchsform. Je nachdem ob die Art in einen acrotonen (baumförmig, spitzenbetont) oder basitonen (strauchförmig, flächenbetont) Wuchs investiert, kommt es zum Heranwachsen zu Bäumen, Sträuchern oder allen Übergangsformen. Die Tradition, Weiden jährlich zurückschneiden zu können, machte schon in den 1970er Jahren durch professionelle Zucht aus einer Korbweide einen schnell nachwachsenden Rohstoff, der im 1-3-jährigen Rotationsmodus (Mini-Rotation) genutzt werden kann. Die für diesen Rotationsmodus zahlreich zur Verfügung stehenden Strauchweiden (*S. viminalis* und *S. purpurea*), auch als Hybriden mit *S. caprea* und *S. cinerea* in (*S. x aquatica* und *S. x dasyclados*), konnten in verschiedenen Züchtungsprogrammen, schon allein wegen ihrer nach einem Jahr stattfindenden Vernalisierung, züchterisch bearbeitet werden. Für eine Mini-Rotation mit jährlichem Rückschnitt gibt es bisher kein produktiveres Gehölz. Die Strauchweiden haben ihre höchste Zuwachsrate in den ersten drei Jahren nach ihrer Absteckung. Danach verlieren sie ihre Konkurrenzkraft. Um den Rotationsmodus auf bis zu 6 Jahre (Midi-Rotation) zu erhöhen bieten sich dennoch weitere Weidenarten an. Die baumförmigen Weiden der UG Amerina (*S. alba*, *S. fragilis* und *S. pentandra*), deren Wuchs auch schon in den ersten Jahren unterschiedlich stark aber eindeutig höhenbetont ist, bieten eine weitere Möglichkeit der Verwendung von Weiden im Leistungsanbau. Innerhalb der UG Amerina sind die Arten gut kreuzbar. Entlang vieler mitteleuropäischer Flüsse ist die Fahlweide *S. x rubens* (*S. alba* x *S. fragilis*) ein dominantes Gehölz der Weichholzauen. Innerhalb der UG Caprisalix sind es die Arten *S. caprea* und *S. daphnoides*, die zu kleinen Bäumen heranwachsen können.

2.6 Ploidiegrad

Unterschiedliche Ploidieniveaus sind ein wichtiger Faktor für die Artbildung, wenn sich die natürlichen Areale nah verwandter Arten überschneiden. Die durch getrennte Areale wirkenden exogenen Kreuzungsbarrieren sorgen dafür, dass zwischen diesen Arten nur wenige endogene Kreuzungsbarrieren aufgebaut wurden. Dieses Potenzial zur Hybridisierung führt zu umfangreichen Kreuzungs-

möglichkeiten, auch über die Sektionsgrenzen hinaus, und zeigt die züchterische Plastizität dieser Spezies. Häufig können Hybriden zwischen Arten derselben UG an Naturstandorten nachgewiesen werden - konnten aber gleichzeitig auch im hier dargestellten Weidenprojekt bereitgestellt werden (s. Abb. 1). Ihre Leistungsfähigkeit für den Kurzumtrieb wird gegenwärtig in umfangreichen Feld- und Invitroversuchen geprüft. Auch die Hybridisierung zwischen Weiden verschiedener UG mit unterschiedlichen Ploidiegraden ist grundsätzlich möglich. Zum Beispiel ergibt die Kreuzung von *S. alba* (UG Amerina $2n = 76$) mit *S. viminalis* (UG Caprisalix $2n = 38$) die triploide Weide („*S. x vimalba*“) mit $2n = 57$ ($3x$). Die Nachkommen dieser Kreuzungen sind, wie in diesem Fall oft, von Blatt- und Sprossanomalien sowie von vermindertem Wuchs gegenüber ihren Elternarten gekennzeichnet. Die Selektion von Plusvarianten ist deshalb nur zu einem deutlich geringeren Anteil gegenüber Kreuzungen derselben Ploidiestufe möglich. Dennoch könnten für die Züchtung interessante Eigenschaften der Nachkommen wie Rostresistenz, die potenzielle Eignung für die Midi-Rotation, verbesserte Holzqualität sowie die eingebaute Reproduktionsbarriere durch Triploidie einen züchterischen Erfolg gewährleisten.

3 Analyse von Leistungsparametern

Die Analyse der hier dargestellten Wachstumsparameter dient der Entwicklung von Methoden, deren Anwendung eine frühzeitige Diagnose der Leistungsfähigkeit des züchterischen Ausgangsmaterials sowie der daraus entstandenen Selektionen erlauben. Die im Vergleich zwischen Klonen, Arten, Sektionen und Untergattungen durchgeführten Messungen wurden auf der Testfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“ für das Weidenprojekt (Förderkennzeichen 22012409) vorgenommen. Die auf dieser Versuchsfläche abgesteckten Klone dienen dem Projekt gleichzeitig als Ausgangsmaterial für zahlreiche Kreuzungen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse über Klon-spezifische Eigenschaften finden sich in den Kreuzungsprodukten wieder und dienen einer noch gezielteren Ausrichtung der Züchtungsbemühungen. Folgende Parameter wurden aufgenommen oder berechnet:

- Rost

Der Rostbefall wurde durch ein vierstufiges Punktesystem, durch welches der Anteil infizierter Blätter an der Gesamtpflanze bewertet wurde, kategorisiert:
 0= 0 % 1=> 0 % < 10 % 2= >10 % <50 % 3= >50 %

- Höhe

Es wurde die Länge der Pflanze vom Boden bis zur Spitze des Terminaltriebs gemessen. Für alle 50 cm wurde ein Punkt für eine Höhenklasse vergeben.

- Verzweigungstrend

Alle Seitentriebe die innerhalb des ersten Höhenmeters mindestens einen Meter lang waren wurden bewertet.

- Raumdominanz
Aus den Punkten für die Höhenklassen sowie des Verzweigungstrends wurde die Summe gebildet und somit ein Parameter berechnet, der relative Aussagen über die Biomasseproduktion macht.
- Einzel-Blattflächenindex
Es wurde die Blattlänge mit der Blattbreite multipliziert.
- Blattanzahl
Innerhalb eines 15 cm langen Terminalbereiches, in dem auch drei Blätter für den Blattflächenindex vermessen wurden, wurde die Anzahl aller Blätter entlang des Sprosses ermittelt.
- Relative Blattfläche
Aus dem mittleren Blattflächenindex wurde durch Multiplikation mit der Anzahl der Blätter die relative Blattfläche berechnet.
- Aktuelle Blattfläche
Durch Multiplikation der relativen Blattfläche mit der Raumdominanz wurde die Blattfläche auf die Gesamtpflanze projiziert.

3.1 Rost

Im September 2010 wurde, nach 2-jähriger Kultivierung, für die hier zu diskutierenden Prüfglieder der Rostbefall durch ein vierstufiges System aufgenommen. Es wurden dabei nicht die Rostarten und Pathotypen berücksichtigt. Der Rostbefall widerspiegelt das in der Prüfreion übliche Spektrum der Rostarten. In Abbildung 2 wurde der prozentuale Rostbefall, sortiert nach Sektionen und Untergattungen, dargestellt. Es gab keinen Klon, der einen Befall von mehr als 50 % der Gesamtpflanzen-Blattfläche aufwies. Die Untergattung Amerina (Baumweiden), hier vertreten durch die Arten *S. alba*, *S. fragilis*, *S. x rubens* (*S. alba* x *S. fragilis*), *S. x alopecuroides* (*S. fragilis* x *S. triandra*) und *S. x erhartiana* (*S. alba* x *S. pentandra*), fällt durch sehr geringen Rostbefall auf. Rost scheint in den Sektionen Salix, Salicaster und Amygdalinae insgesamt eine geringere Pathogenität zu haben. Wesentlich höherer Rostbefall ist in der Sektion Caprisalix und da besonders bei allen Korbweiden-Hybriden mit *S. cinerea* (Grauweide) sowie *S. caprea* (Salweide) zu finden. Besonders hoch ist deshalb der Befall der Klone 22_55 (*S. x dasyclados*, *S. viminalis* x *S. caprea* x *S. cinerea*), 57_57 (*S. x aquatica* „Gigantea 56C“, *S. viminalis* x *S. cinerea* x *S. daphnoides*) sowie 56_90 (*S. x smithiana* „Regensburg II“, *S. viminalis* x *S. caprea*). Es ist zu vermuten, dass die hohe Anfälligkeit dieser Klone gegenüber Rost aus der hohen Empfindlichkeit der Kreuzungseltern entstand und in einer Addition verschiedener Pathotypen-Empfindlichkeiten in der entstandenen Hybride führte, welche somit den entstandenen Kreuzungsprodukten kumulativ hinzugefügt wurde. Gerade bei den hier verwendeten Ausgangsarten *S. cinerea* und *S. caprea* wurde bisher wenig züchterische Arbeit, vor allem in rostresistentere Klone investiert. In der Gruppe der Hanfweiden oder Korbweiden (*S. viminalis*) wurde histo-

risch schon wertvolle Züchtungsarbeit geleistet. Aber vor allem die Bereitstellung neuer Sorten für den Energieholzanbau sorgte dafür, dass rostresistentere Sorten den Markt eroberten. In unserem Versuchsdesign wurden deshalb Weiden der zweiten Generation aus der Svalöf Weibull – Züchtung (Lantmännern, Schweden), hier vertreten durch die Sorten „Tordis“ und „Inger“, integriert. Der schwedische Klon „Tordis“ fällt auf durch seine absolute Rostresistenz und zeigte diese Eigenschaft auch hier in der Feldprüfung. Bemerkenswert niedrig ist aber auch der Rostbefall bei Klon 722_51 („Zieverich“), der durch wenige Rostinfektionen auffiel und eine weitaus größere Rostresistenz zeigte als die schwedische Sorte „Inger“. Die Klone 6_87 (Blaue Fränkische Hanfweide), 84_55 (Ingeborg) und 85_55 (Carmen) waren besonders stark durch Rostbefall betroffen.

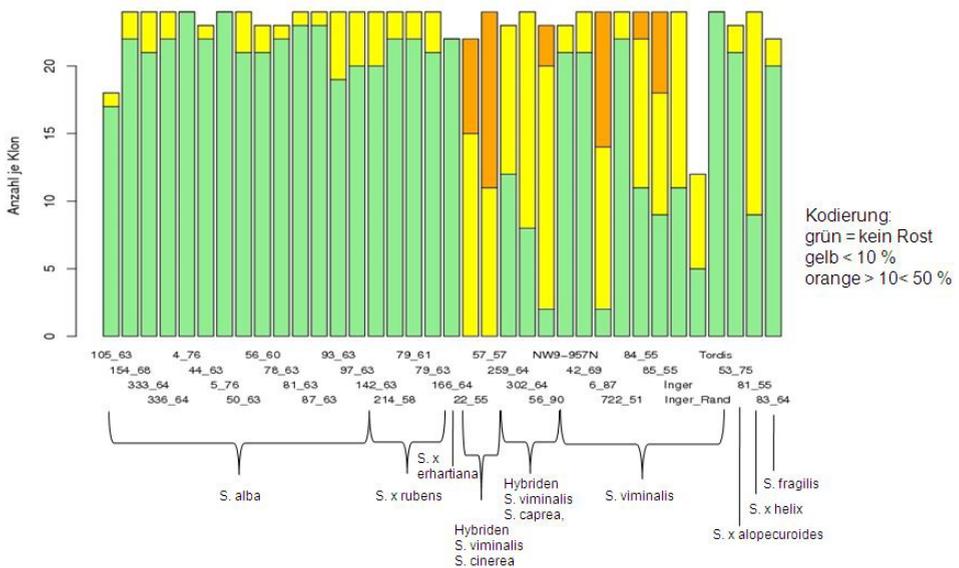


Abbildung 2: Rostbefall in Stufen von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“

3.2 Höhe

Der Trend zum Höhenwachstum ist bei verschiedenen Weidenarten unterschiedlich ausgeprägt. Es wird sichtbar, dass vor allem die Baumweiden ein akrotones Verzweigungsmuster entwerfen. Dies muss, im Vergleich zu den Strauchweiden, aber nicht gezwungenermaßen mit einem größeren Höhenwachstum in den ersten Jahren der Etablierung einhergehen. Wahrscheinlich ist, dass gerade baumförmige Pflanzen zunächst mehr in die Wurzelbildung investieren, um dann später die mächtigeren oberirdischen Organe ausreichend versorgen zu können. Erste Feldversuche zeigen ein kulminieren der Höhenzuwachsrate von Baumweiden erst ab dem 5. Etablierungsjahr. Dementsprechend sollte auch beachtet werden, dass

Baum- und Strauchweiden in den entsprechenden Rotationsmodi eingesetzt werden. Die Ergebnisse im Feldversuch zeigen in den ersten Jahren ein deutlich größeres Höhenwachstum der Korbweide *S. viminalis* gegenüber baumförmigen Weidenarten. Hier erzielte der Klon „Tordis“ zusammen mit der extra aufgenommenen Randreihe, bestehend aus dem Klon „Inger“, nach 2 Jahren teilweise Höhen bis 4 m. Dicht gefolgt von Klon 722_51 „Zieverich“ erreichten die Korbweiden auch im Durchschnitt von allen Weiden die größten Höhen (s. Abb. 3).

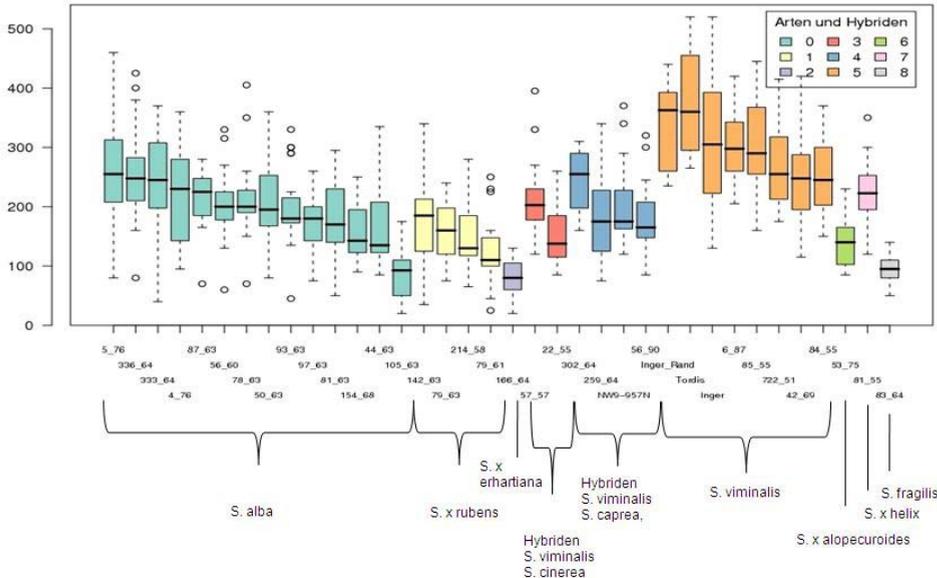


Abbildung 3: Höhe in Höhenklassen zu je 50 cm von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“

3.3 Raumdominanz

In der Formel für die Raumdominanz (s. Abb. 4) wird neben der Höhe auch der Verzweigungstrend berücksichtigt. Es wurden alle Seitentriebe entlang des höchsten Triebes bewertet, die eine Mindestlänge von 1 m aufwiesen und innerhalb des ersten Höhenmeters ansetzten. Mit der Raumdominanz soll ein Maß der „Strauchförmigkeit“ formuliert werden. Der Trend zur Strauchförmigkeit entscheidet maßgeblich über den Einsatz im entsprechenden Rotationsmodus und auch des passenden Pflanzverbandes. In der Mini-Rotation werden Klone benötigt, die schon im jährlichen Rückschnitt durch hohes Austriebsvermögen und starke Investition in zahlreiche Stockausschläge auffallen. Dieses alte Prinzip wurde schon bei der Besiedlung Mitteleuropas durch den Menschen über die Selektion zahlreicher Weiden für die Korbflechterei und deren Verbreitung mit den Siedlungsräumen bewahrt. Aus diesem Grund verwundert es nicht, dass die alte Sorte „Ulbrichweide“ (*S. x helix*) eine Kreuzung aus *S. viminalis* mit *S. purpurea* im Trend

der Seitenverzweigung im vorderen Bereich liegt. Die hier eingekreuzte Purpurweide gewährleistet durch ihre elastischen und zahlreichen Triebe eine gute Voraussetzung für die Korbflechtereie und wird sich wahrscheinlich sehr für eine Mini-Rotation im jährlichen Rückschnitt eignen. Sie besitzt von allen Weiden die höchste Rate der klonalen Vermehrbarkeit im Freiland. Auffallend ist weiterhin, dass es sich bei der Korbweiden-Hybride „Tordis“ um eine vor allem auf Höhenzuwachs gezüchtete Sorte handelt, die im Parameter der Strauchförmigkeit ihre Dominanz gegenüber den anderen Korbweiden verliert.

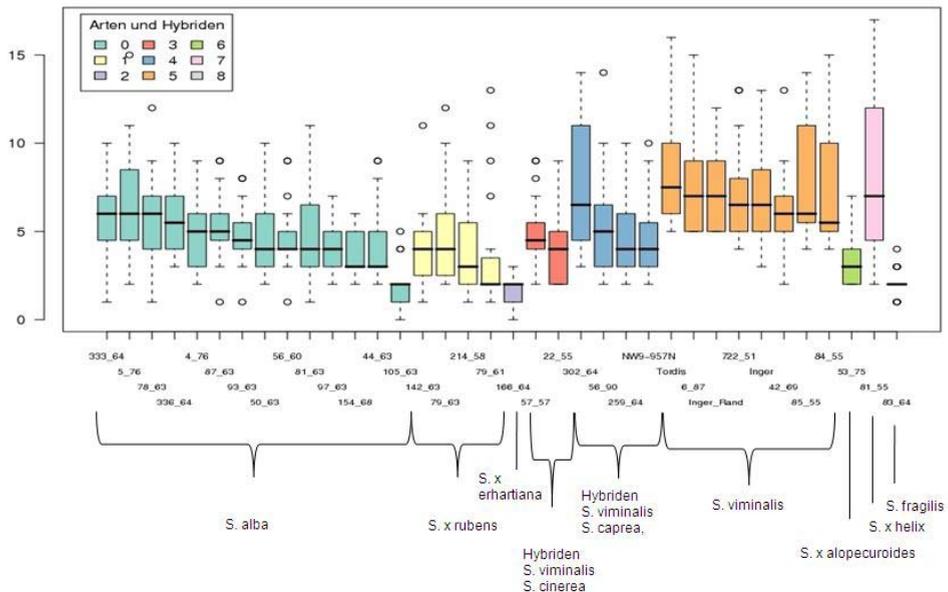


Abbildung 4: Raumdominanz (Höhenklasse + Anzahl der Seitentriebe) als Ausdruck der Strauchförmigkeit von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“

3.4 Einzel-Blattflächenindex

Schon länger wird in Züchtungsprogrammen angestrebt, ein Mittel zu finden, welches ein Kriterium zur frühen Selektion von Genotypen bietet, deren physiologische Merkmale mit der Biomasseausbeute korrelieren. Ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen der Wuchseistung und der für das Einfangen von Licht zuständigen Blattfläche wurde in TAYLOR et al. 2003 für ausgewählte Weidenklone dargestellt. In der hier ausgewählten Prüffläche wurden für 34 Weiden-Klone zu je 24 Ramets die relativen Blattflächen ermittelt. Je Prüfglied wurden im oberen Drittel der Pflanze drei Blätter durch ihre Länge x Breite („Einzel-Blattflächenindex“) typisiert. Der Einzel-Blattflächenindex gibt nicht die wahre Fläche des Einzelblattes wieder. Er ist vielmehr eine einheitenlose relative Größe zur Dimension einer Stichprobe von Blättern, mit dessen Hilfe nur symmetrische Blätter mit

wenigstens einer Spiegelfläche definiert werden können. Die ersten fünf vollentwickelten Blätter des Terminaltriebs wurden nicht in die Berechnung einbezogen. Typisch (s. Abb. 5) sind die deutlich kleineren Blätter der Silberweiden (*S. alba*). Die Hybridisierung von *S. alba* mit *S. fragilis* führt zu größeren, durch Einkreuzen von *S. pentandra* (*S. x erhartiana*) zu noch größeren Blättern. Die in dieser Untersuchung im Durchschnitt größten Einzelblätter wurden von (57_57) *S. x aquatica* ausgebildet.

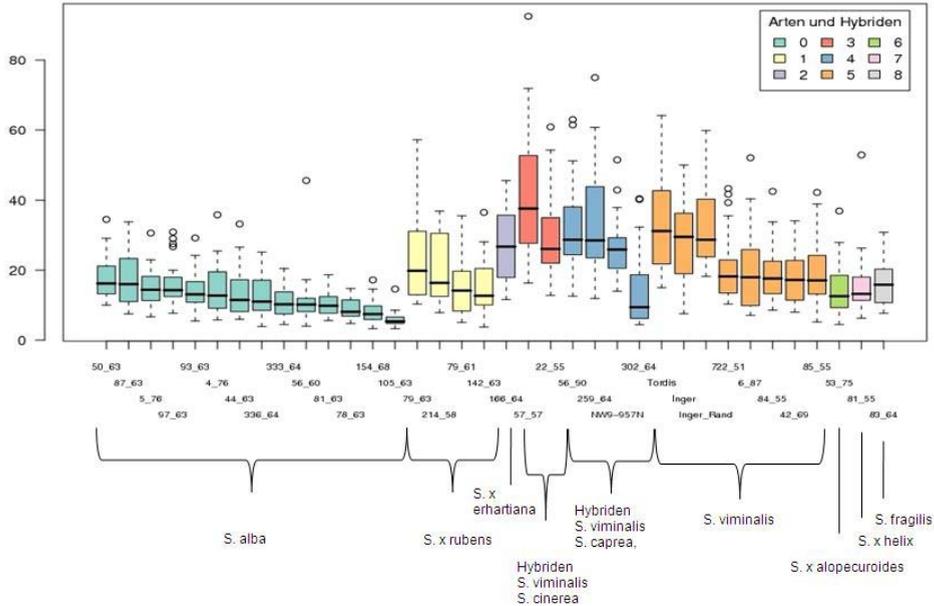


Abbildung 5: Einzel-Blattflächenindex (Länge \times Breite von drei Blättern des oberen Drittels) von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“

3.5 Relative Blattfläche

Zur Berechnung der relativen Blattfläche wurde erweiternd die Anzahl der Blätter im selben Abschnitt der Einzelblattmessungen auf einer Länge von 15 cm ermittelt. Aus der Multiplikation des Einzel-Blattflächenindex mit der Blattzahl je 15 cm Trieblänge wurde die „Relative Blattfläche“ je Klon projiziert. Hiermit wurde ein Wert berechnet, der eine noch höhere Aussagekraft über die dem jeweiligen Klon zur Verfügung stehende fotosynthetisch wirksame Gesamtfläche gegenüber der Einzelblattmessung erlaubt. Durch die Einbeziehung der Anzahl der Blätter je Trieb wird in Abbildung 6 deutlich, dass die Gesamtblattfläche der Korbweiden (*S. viminalis*), gegenüber der Einzelblattmessung (s. Abb. 5), im Vergleich zu den großen Blättern der Viminalis-Hybriden mit *S. cinerea* oder *S. caprea*, deutlich zunimmt. Es wird weiterhin deutlich, dass sich in diesem Parameter die Ränge

innerhalb der Baumweiden (UG Amerina) gegenüber den Einzelblattmessungen nicht verschieben. Es gibt bei diesen Weiden auch insgesamt keine Rangverschiebung gegenüber den anderen Weidentaxa. Die reinen Korbweiden-Arten verfügen über die größte relative Blattfläche der gemessenen Prüfglieder. Die Randreihe, bestehend aus der Sorte Inger und die Sorte „Tordis“ verfügen über die größten hier gemessenen relativen Blattflächen. Von den Hybridweiden kann auch (57_57) *S. x aquatica* (Gigantea, Klon 56C) auf hohe Werte in Bezug auf seine relative Blattfläche verweisen.

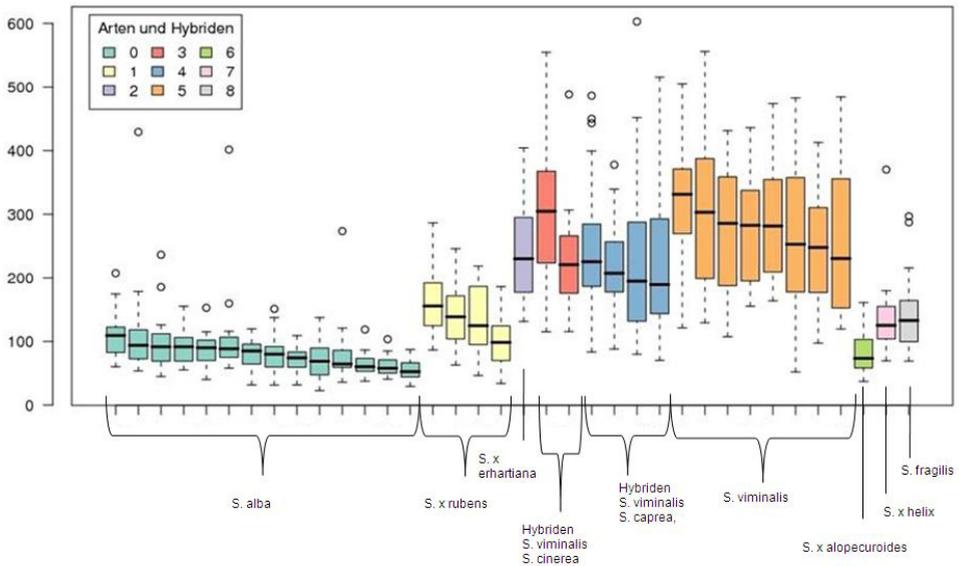
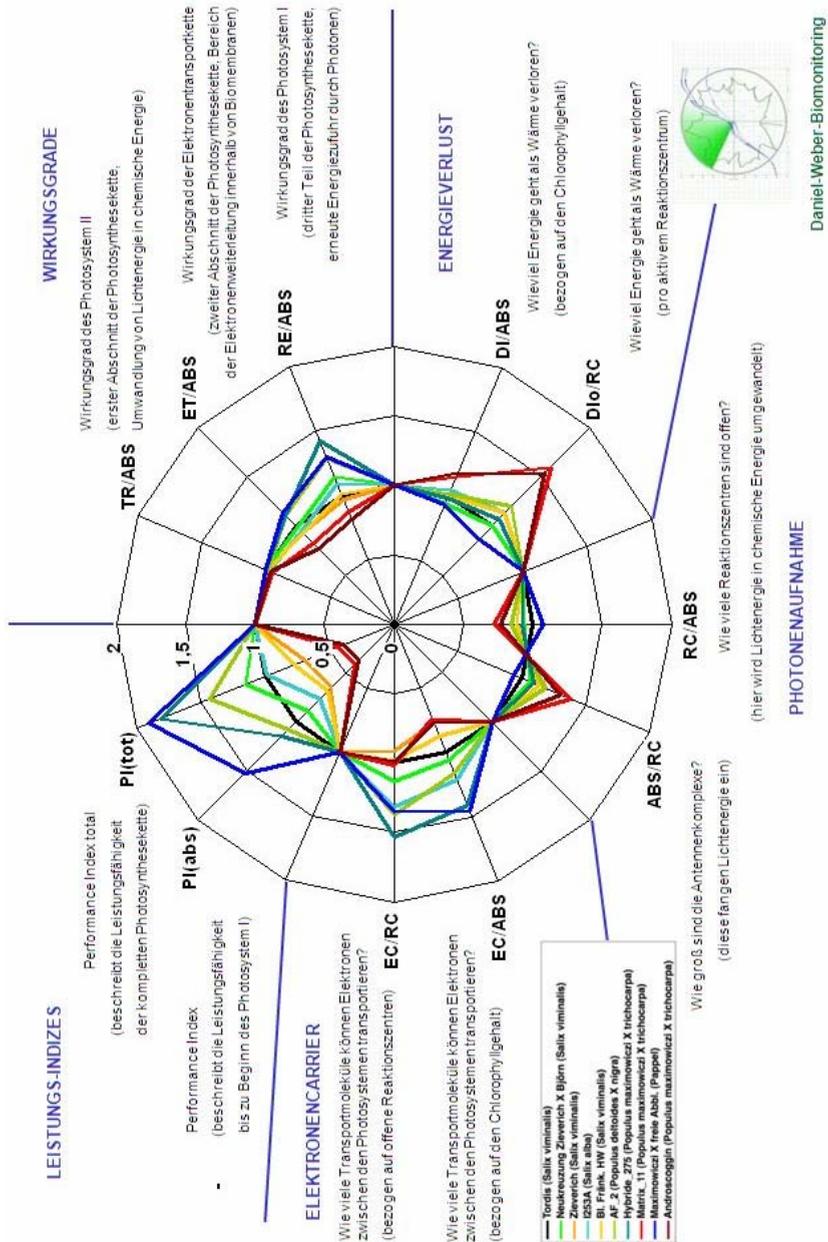


Abbildung 6: Relative Blattfläche (Einzel-Blattflächenindex x Anzahl der Blätter je 15 cm) von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“

4 Leistungsparameter der Fotosynthese über Messung der Chlorophyllfluoreszenz

Mit herkömmlichen Methoden lassen sich physiologische und anatomische Eigenschaften, die für die Biomasseproduktion von Gehölzen wie *Salix* und *Populus* im Kurzumtrieb wichtig sind, erst nach mehrjährigen Feldprüfungen ermitteln. Die Neuzüchtung von auf ihre Wuchsleistung optimierten Gehölzsorten erfordert dagegen effiziente Bewertungsmethoden, in denen frühzeitig auch neu entstandene Züchtungsprodukte auf ihr Verwertungspotenzial überprüft werden können. Mit einer modernen nichtdestruktiven Methode ist es möglich, das physiologische Potenzial anhand der Effizienz der Fotosynthesesysteme zu ermitteln. Die Detektion der von den fotosynthetischen Reaktionszentren emittierten Chlorophyll-

fluoreszenz erlaubt einen sehr fundierten Einblick in die Leistungsfähigkeit der für den Aufbau von Biomasse notwendigen Kohlenstofffixierung durch Fotosynthese, ohne dabei die Blätter während der Messung zu zerstören. Dabei können auch durch Nährstoff- oder Wassermangel entstandene Störstellen in der Fotosynthesekette sowie die Kompensationsmaßnahmen der Pflanze identifiziert und quantifiziert werden. Eine Überarbeitung des Messprinzips ermöglicht es seit wenigen Jahren, durch eine einsekündige Messung etwa 30 verschiedene Parameter zu erfassen. Diese verbesserte Methodik wurde bereits erfolgreich in Feldstudien zur Ermittlung von Stressparametern und fotosynthetischen Leistungsparametern bei Pappeln und Weiden eingesetzt (POLLASTRINI et al. 2010, BUSSOTTI et al. 2007, ALBERT et al. 2011). In Abbildung 7 wurden wichtige Fotosyntheseparameter von 10 Weiden- und Pappelklonen in einem Radarplot gegenübergestellt. Die aus 20 Einzelmessungen je Klon gewonnenen Ergebnisse belegen, dass mit Hilfe dieser Messmethode das Leistungspotenzial der einzelnen Sorten quantifiziert werden kann. Es konnten bereits potenzielle Leistungsträger anhand von Leistungsparametern, wie z. B. dem erst seit etwa einem Jahr berechenbaren Performance Index $PI_{(TOT)}$ (STRASSER et al. 2010) identifiziert werden. In die Berechnung des Performance Index $PI_{(TOT)}$ (s. Abb. 7, Leistungsindizes) wird die Effizienz und Leistung der meisten Schaltstellen des Fotosyntheseapparates in einem Parameter integriert. Es konnte eindeutig gezeigt werden, weshalb einige Sorten eine höhere Performance als andere aufweisen. So konnte z. B. bei schwächer wachsenden Sorten ein deutlich höherer Energieverlust durch Wärmeabstrahlung detektiert werden ($DI_{(ABS)}$) (Dissipation-Index = Abstrahlungs-Index, ABS = Absolut, bezogen auf den Chlorophyllgehalt) und $DI_{(RC)}$ (RC = Reaction Center, bezogen auf ein aktives Reaktionszentrum), Energien die dadurch nicht für die CO_2 -Fixierung und dem Biomasseaufbau zur Verfügung steht. In dieser grundlegenden Untersuchung wurden jeweils 5 Weiden und 5 Pappeln, die durch ihre Wuchsleistung auffielen ausgewählt. Im Radarplot in Abbildung 7 wurde der Klon „Tordis“ als Größenstandard auf den Wert 1 gesetzt. Alle weiteren 9 Klone wurden in dem jeweiligen Leistungsparameter mit ihrem Verhältniswert zum Standard aufgetragen. Es ist erkennbar, dass die hier dargestellten Einzelparameter in den zusammenfassenden Leistungsindizes $PI_{(ABS)}$ und $PI_{(TOT)}$ wiedergespiegelt werden (s. Abb. 7) und somit die Aussagekraft der Einzelparameter aufnehmen.



Daniel-Weber-Biomonitoring

Abbildung 7: Wichtige Fotosyntheseparameter, die durch eine nichtdestruktive Messung von je 20 Ramets ausgewählter Weiden- und Pappelklone an 2-jährigen Absteckungen im August 2011 an den Versuchsflächen für Kurzumtrieb in Stölzingen (Pappel) und Ballertasche (Weiden) gewonnen wurden. Als Standard wurde für diese Abbildung der Klon „Tordis“ (Salix viminalis) auf 1 gesetzt.

Wenn man nur den, in den weiteren Untersuchungen verwendeten, „modernen“ $PI_{(TOT)}$ (STRASSER et al. 2010) betrachtet, dann fällt auf, dass die hier untersuchten Pappeln in ihren Werten eine viel höhere Variabilität als die Weiden aufweisen. Die Spitzenpositionen werden durch die bekannten Sorten „Hybride 275“ (*P. maximowiczii* x *P. trichocarpa*) und „AF2“ (*P. deltoides* x *P. nigra*) aber auch durch eine Selektion der NW-FVA von „*P. maximowiczii* x freie Abblüte“ besetzt. Das Mittelfeld wird von der nicht so starken, aber typischen Differenzierung der Weiden geprägt. Hier ist besonders die Neukreuzung „Zieverich x Björn“ (*S. viminalis* x (*S. viminalis* x *S. schwerinii*)) der NW-FVA noch vor der schwedischen Hochleistungssorte der dritten Generation „Tordis“ und einer Silberweide (*S. alba*) „I253A“ (Klon 333_64 in Abb. 2-6) hervorzuheben. Die darauf folgenden Weiden der ersten Generation „Blaue Fränkische Hanfweide“ (Klon 6_87 in Abb. 2-6) und „Zieverich“ (Klon 722_51 in Abb. 2-6) ordnen sich noch deutlich vor den Pappelsorten „Matrix 11“ sowie „Androskoggin“ ein. Diese starke Differenzierung der Leistungsindizes des Fotosyntheseapparates zwischen Klonen, aber auch Gattungen, deutet auf die Entwicklung von gattungstypischen Messprotokollen und der spezifischen Interpretation der Ergebnisse hin.

5 Strukturanalyse des Zusammenhangs zwischen aktueller Blattfläche, Fotoeffizienz, Höhe und Raumdominanz

Im August 2011 wurden umfangreiche Messreihen auf der Weidenprüffläche „Nichtregistrierte Weidensorten für den Kurzumtrieb“ (Ballertasche, s. Abb. 2-6) durchgeführt. Es wurde wenigstens eine Messung des CF- $PI_{(TOT)}$ (Chlorophyll-Fluoreszenz-Performance-Index nach STRASSER et al. 2010, s. Kapitel 4) je Prüfling im terminalen Sprossbereich durchgeführt. Als weiterer Parameter wurde die „Relative Blattfläche“ (BF, s. Abb. 5) verwendet und mit der Raumdominanz zur „aktuellen Blattfläche“ (BF x RD) verrechnet. Die aktuelle Blattfläche soll durch die Einbeziehung der Seitentriebe ein noch besseres Maß der zur Verfügung stehenden fotosynthetisch nutzbaren Fläche je Pflanze sein und floss in die neu berechneten Parameter „Blattflächenleistung“ ($PI_{(TOT)} \times [BF \times RD]$) und „Blattflächeneffizienz“ ($PI_{(TOT)} / [BF \times RD]$) ein. Als Bezugsgröße für eine Korrelationsanalyse wurden die Höhe und die Raumdominanz derselben Pflanze verwendet. Die in Tabelle 1 dargestellten Daten haben den Anspruch einer Strukturanalyse. Da sich die Korrelationskoeffizienten zwischen den verschiedenen Taxa innerhalb eines untersuchten Zusammenhangs im extremsten Fall ($PI_{(TOT)}$ vs. Höhe) zwischen + 0,71 und - 0,42 bewegten, wurde auf die Darstellung des Bestimmtheitsmaßes verzichtet. Es wären dadurch wichtige Teilzusammenhänge verloren gegangen. Es wurden weiterhin die Durchschnittswerte der Leistungsparameter miteinander verglichen. Um die Verschiedenartigkeit der phänotypischen Trends des Gesamtdatensatzes zu erfassen, erfolgte eine Gruppierung in die Weidentaxa *S. alba*, *S. x rubens* (*S. alba* x *S. fragilis*), *S. x erhartiana* (*S. alba* x *S. pentandra*), *S. fragilis*,

S. viminalis, *S. x alopecuroides* (*S. fragilis* x *S. triandra*), *S. x smithiana* (*S. viminalis* x *S. caprea*), *S. x dasyclados* (*S. viminalis* x *S. cinerea* x *S. caprea*), *S. x aquatica* (*S. viminalis* x *S. cinerea* x *S. daphnoides*), „Tordis“ (*S. viminalis* x (*S. viminalis* x *S. schwerinii*)), *S. x stipularis* (*S. viminalis* x *S. cinerea* x *S. aurita*) sowie *S. x helix* (*S. viminalis* x *S. purpurea*).

Tabelle 1: Leistungsparameter im Vergleich und deren Korrelationskoeffizienten von 34 Klonen zu je 24 Wiederholungen auf der Versuchsfläche „Prüfung nicht registrierter Weidensorten für den Kurzumtrieb“, zur Veranschaulichung wurden hohe und niedrige Werte farblich gekennzeichnet (rot = besonders hohe Werte, grün = besonders niedrige Werte)

UG	Hybride aus:	Art/Sorte	Leistungsparameter (Mittelwerte)						Zusammenhänge zwischen Leistungsparametern								
			aktuelle Blattfläche (BFxRD)	Blattflächenleistung (BFxRD) x PI(tot)	Blattflächen-Effizienz PI(tot) / (BFxRD)	Foto-Effizienz PI(tot)	Höhe	Raumdominanz	(BFxRD) vs PI(tot)	PI(tot) vs (BFxRD)	(BF x RD) x PI(tot) vs (BFxRD) x PI(tot)	PI(tot) vs (BFxRD) / Höhe	PI(tot) vs (BFxRD) / RD	PI(tot) vs (BFxRD) / PI(tot)			
UG Amertha	S. alba S. alba x fragilis S. alba x pentandra S. fragilis S. fragilis x triandra	S. alba	136	345,5	174,4	21,4	51,5	189,0	4,5	0,73	0,77	0,08	0,02	0,63	0,62	-0,53	-0,09
		S. alba x rubens	40	340,3	116,7	13,7	33,0	133,1	2,8	0,63	0,74	0,53	0,48	0,75	0,77	-0,34	0,13
		S. alba x pentandra	10	63,6	121,7	12,6	33,8	73,5	1,5	0,82	0,81	0,71	0,80	0,87	0,89	-0,66	0,52
		S. fragilis	10	347,1	120,3	12,9	35,6	99,4	2,1	0,30	0,41	0,19	0,12	0,24	0,44	-0,24	-0,16
		S. fragilis x triandra	10	185,8	41,1	14,3	22,6	124,0	2,6	0,88	0,76	-0,09	-0,05	0,70	0,62	-0,59	-0,14
UG Caprsalix	S. viminalis x cinerea x species S. viminalis x caprea S. viminalis S. viminalis x schwerinii S. viminalis x aurita S. viminalis x purpurea	S. viminalis x cinerea x species	30	1008,6	508,4	6,7	44,8	151,8	3,6	0,63	0,65	0,39	0,29	0,54	0,52	-0,79	0,45
		S. viminalis x caprea	20	663,1	240,9	8,0	39,8	156,3	3,5	0,40	0,47	-0,09	-0,04	0,10	0,18	-0,26	-0,41
		S. viminalis	64	1232,1	577,0	4,6	46,8	244,9	5,5	0,78	0,90	0,13	0,03	0,62	0,61	-0,68	-0,28
		S. viminalis x schwerinii	10	703,5	201,7	4,4	28,5	211,0	5,0	0,19	0,43	0,09	0,22	0,16	0,39	0,00	0,03
		S. viminalis x aurita	10	737,8	213,0	5,3	29,4	220,5	5,9	0,37	0,85	-0,42	-0,39	0,02	0,28	-0,47	-0,09
gesamt:			350	650,2	302,2	13,2	44,5	185,1	4,3	0,57	0,55	0,19	0,16	0,45	0,42	-0,38	0,09



5.1 Baumförmigkeit und Lichtkonkurrenz innerhalb der Krone

Die höchste durchschnittliche „Fotoeffizienz“ ($PI_{(TOT)}$) (s. Tab. 1) wird von den Silberweiden (*S. alba*) und der schwedischen Sorte „Tordis“ (*S. viminalis* x *S. schwerinii*) erreicht. Diese Studie zeigt, dass Silberweiden über eine deutlich höhere Fotoeffizienz gegenüber den anderen hier geprüften Weidentaxa verfügen. Gleichzeitig besitzen die Baumweiden (UG Amerina) aber auch die geringsten aktuellen Blattflächen. Die geringere Blattfläche der Baumweiden gegenüber den anderen Taxa ist ein Resultat der Anpassung an die Lichtverhältnisse in einer vielschichtigen Krone, wie sie typisch ist für baumförmige und lichtadaptierte Spezies. Die „lichteren“ Kronen der UG Amerina lassen durch ihre geringere Blattfläche auch in die unteren und inneren Blattebenen der Krone so viel Licht, dass auch sie den Licht-Kompensationspunkt erreichen und ein positiver Nettogewinn aus der Fotosynthese erzielt werden kann (GIVNISH 1988). Damit wird die Pflanze dazu befähigt den gesamten Kronenraum effizienter als lichteinfangende Fläche zu nutzen (GREEN et al. 2001). Es verwundert deswegen nicht, dass die Weiden der Untergattung (UG) Amerina (Baumweiden) bei geringster Blattflächenleistung ($PI_{(TOT)} \times [BF \times RD]$) die höchste Blattflächeneffizienz ($PI_{(TOT)} / [BF \times RD]$) besitzen.

5.2 Leistungsträger

Die Sorte „Tordis“, eine schwedische Weidenzüchtung der dritten Generation, zeigt auch in dieser Studie die höchsten Zuwachsleistungen. Diese Leistungsfähigkeit ist auf ein sehr effizientes Fotosystem zurückzuführen. Somit verwundert nicht, dass die höchsten Werte der Fotoeffizienz bei der gleichzeitig höchsten aktuellen Blattfläche zu einer doppelt so hohen Blattflächenleistung gegenüber allen anderen Taxa führen und in den höchsten Werten bei Höhe und Raumdominanz resultieren.

5.3 Strauchförmigkeit und Lichtkonkurrenz am Boden

Die geringsten Werte der Fotoeffizienz werden durch die „strauchförmigsten“ Weidentaxa (s. Abb. 4) *S. x stipularis* und *S. x belix* erbracht. Strauchförmigkeit heißt aber gleichzeitig ein erhöhter Verzweigungsgrad durch basitonen Wuchs. Aus diesem Grund erhöhen sich mit der größeren Anzahl von Seitentrieben auch die zum Einfangen von Licht zur Verfügung stehende Grundfläche und das schon in jungen Jahren bestehende Potenzial zu einer erhöhten Lichtkonkurrenz gegenüber krautigen Pflanzen. Die erhöhte Anzahl von Seitenverzweigungen steht aber durch eine Bilanz der inneren Ressourcenverteilung in direkter Konkurrenz mit den Investitionen in die Struktur der Fotosysteme. Hocheffiziente Fotosysteme würden deshalb einen nicht geringfügigen Betrag der Ressourcen abzweigen, die aber bei Strauchweiden in schnell regenerierende flächige Verzweigungsmuster investiert werden müssen. Dennoch verfügen die beiden hier untersuchten „strauchförmig-

sten“ Weidentaxa über eher durchschnittliche aktuelle Blattflächen (s. Abb. 5 u. Tab. 1). Es ist zu vermuten, dass diese Werte nicht unbedingt die richtige Relation der Blattfläche darstellen, denn es wurde über die Raumdominanz (Höhenklasse + Anzahl Seitentriebe wenigstens 1 m Länge) und der zugrunde liegenden Projektion der Blattfläche eines 15 cm Triebabschnitts auf die gesamte Pflanze, nicht das vollständige Verzweigungsmuster eingefangen. Zahlreiche sylleptische Triebe (Bereicherungs Zweige) verändern bei den strauchförmigen Weiden wahrscheinlich noch deutlich die Kapazität der zur Verfügung stehenden Blattfläche.

5.4 Blattfläche versus Biomasse – Inter- und Intra-Individuale Licht-Konkurrenz

Für die Analyse der Zusammenhänge wurden alle Leistungsparameter eingeteilt in die tatsächlichen überirdischen Biomasse-Parameter (Höhe und Raumdominanz) und in die die Wuchsleistung indizierenden Parameter (Blattflächenleistung sowie Foto- und Blattflächeneffizienz). Somit wurden die Biomasse-Parameter jeweils den Leistung indizierenden Parametern gegenüber gestellt und in Tabelle 1 durch die Korrelations-Koeffizienten (r) der jeweiligen Beziehung dargestellt. Der am besten gestützte Gesamtzusammenhang betrifft die Beziehung zwischen Aktueller Blattfläche und den Wuchsparametern Höhe sowie Raumdominanz. Es werden Korrelationskoeffizienten je taxonomischer Gruppe zwischen 0,19 und 0,88 und somit im Gesamtdatensatz von 0,57 erreicht. Der in Abbildung 8 dargestellte Zusammenhang für *Salix alba* zeigt ein Bestimmtheitsmaß (r^2) von 0,538 ($n = 136$) und ist bei der im Datensatz festgestellten sehr hohen Schwankungsbreite sehr aussagekräftig. Insgesamt den stärksten Zusammenhang zwischen Blattfläche und Biomasse erzielte mit $r = 0,9$ die Sorte „Tordis“. Es kann also ein großer Teil der überirdischen Biomasse dieser Sorte über die Zunahme der Blattfläche erklärt werden. Weiterhin bemerkenswert ist die unterschiedliche Ausprägung dieses Zusammenhangs in Bezug auf Höhe und RD. Bei den Strauchweiden der UG *Caprisalix* werden die höheren Werte in der Beziehung Blattfläche und Raumdominanz (Höhenklasse + Anzahl Seitentriebe über 1 m Länge) erzielt. Am deutlichsten wird dies bei der „strauchförmigsten“ Weide *Salix x helix*. Somit besteht bei den strauchförmigen Weiden auch ein größerer Zusammenhang zwischen der Blattfläche und der „Strauchförmigkeit“ als gegenüber der Höhe. Zusammenfassend für alle hier untersuchten Taxa kann festgestellt werden, dass die überirdische Biomasse eindeutig mit der Ausprägung der aktuellen Blattfläche gekoppelt ist.

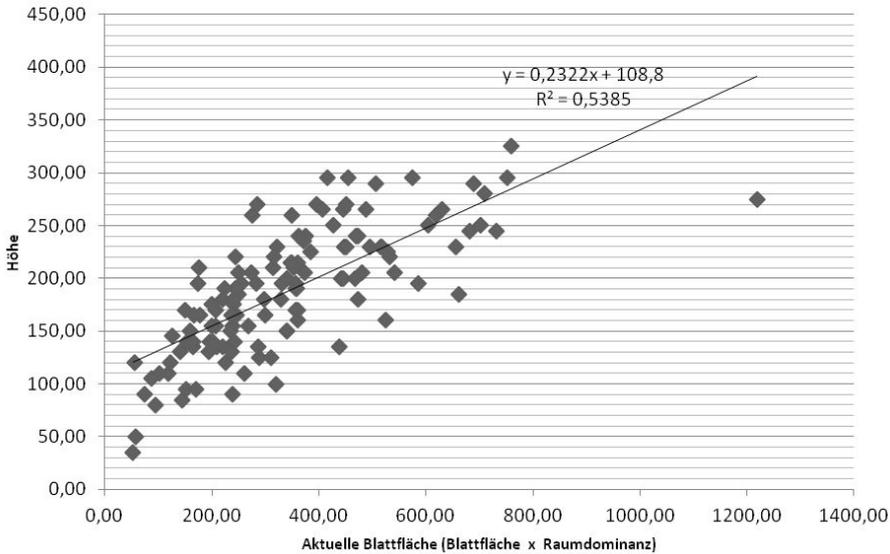


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen „aktueller Blattfläche“ (BF \times RD) und Höhe zwischen 136 Prüfgliedern bestehend aus 14 verschiedenen Klonen der Art *Salix alba* (Silberweide)

5.5 Fotoeffizienz versus Biomasse sowie Fotoeffizienz versus Blattfläche – Anpassungen an die Wasserversorgung

Besonders stark gegenläufige Trends wurden innerhalb des Zusammenhangs Fotoeffizienz ($PI_{(TOT)}$) vs. Biomasse (Höhe und RD) festgestellt. So wurde in der Beziehung $PI_{(TOT)}$ vs. RD eine Ausprägung von r von 0,8 bis -0,39 nachgewiesen. Dementsprechend ist im Gesamtdatensatz ein Trend nur sehr gering ausgeprägt. Dies deutet darauf hin, dass es sich bei der Fotoeffizienz um eine eher statische und vor allem auch art- oder klontypische Konstante handelt, welche bei den meisten Taxa dieser Untersuchung nur genotypisch schwingt und einen geringen Bezug zur aktuellen phänotypischen Plastizität erlaubt. Dennoch weisen die polyploiden Hybriden *S. x rubens*, *S. x lispoclados*, *S. x dasyclados* und *S. x aquatica* einen positiven Zusammenhang zwischen Fotoeffizienz und Biomasse auf. Auffallend ist, dass es sich bei allen vier Taxa um Hybriden handelt, die an wassernahe Standorte gebunden sind. Da eine Zunahme der Fotoeffizienz auch an die Zunahme des Wasserumsatzes gekoppelt und an den typischen Standorten dieser Arten Wasser kein limitierender Faktor ist, könnte eine Zunahme der Biomasse durch eine höhere Fotosyntheseleistung erklärt werden. Das heißt demnach, dass bei diesen Spezies, gut versorgte, effiziente Blätter der jeweiligen Pflanze einen nicht unerheblichen modifikativen Beitrag zum Biomassezuwachs leisten.

Ein negativer Zusammenhang zwischen Fotoeffizienz und den Biomasse-Parametern wurde bei den diploiden Hybriden *S. x smithiana* und *S. x helix* festgestellt.

Die Kreuzungspartner dieser Hybriden haben entweder eine hohe Amplitude was die Wasseransprüche betrifft, wie bei *Salix purpurea*, oder sind häufig auch an wasserfernen Standorten zu finden wie *Salix caprea*. Da die Zunahme der oberirdischen Biomasse aber auch gleichzeitig mit einer Zunahme der Blattfläche und Gesamtwasserversorgung verbunden ist könnte die Zunahme der Fotoeffizienz gedeckelt oder sogar gegenläufig sein um eine Wasserversorgung nicht zu stark zu limitieren. Somit wäre also die Abnahme der Fotoeffizienz bei Zunahme der Biomasse nichts anderes, als eine Adaption an trockenere Standorte. Weiter verdeutlicht wird diese Hypothese, wenn man den Zusammenhang zwischen Fotoeffizienz und Blattfläche ($PI_{(TOT)}$ vs. (BF x RD)) betrachtet (s. Tab. 1). Hier bilden die wassernahen Hybriden mit *S. cinerea* (*S. x dasyclados* und *S. x aquatica*) den Gegenpol mit $r = 0,52$ zu den wasserfernen Hybriden mit *S. caprea* (*S. x smithiana*) mit $r = -0,41$. In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass bei Pflanzen, die an trockenere Standorte angepasst sind, eine Erhöhung der Blattfläche, welche mit der Erhöhung der Verdunstung gekoppelt ist, gleichzeitig mit der Absenkung der Fotoeffizienz einhergehen muss, um die Wasserbilanz aufrecht zu erhalten.

5.6 Blattflächenleistung versus Biomasse – Bilanzierung der Wasserversorgung

Die Parameter Blattfläche (BF), Raumdominanz (RD) und Fotoeffizienz ($PI_{(TOT)}$) sind die Eckpfeiler eines Wasserbilanz-Modells (s. Kap. 5.5). Es beinhaltet die gegenseitige Beeinflussung durch die jeweilige Ausprägung dieser Einzelparameter. Es sollte davon ausgegangen werden, dass die meisten Phanerophyten der gemäßigten Breiten kaum anatomische und physiologische Anpassungen an trockene Standorte vorweisen können. Da Wasser an den meisten Standorten, an denen auch Weiden vorkommen, kein begrenzender Faktor ist, können die wasserverbrauchenden Faktoren wie Transpiration und Fotosynthese meistens bis an ihre physiologischen Grenzen hochgefahren werden. Der Stoffumsatz der Assimilation dieser Pflanzen hängt dann neben den zur Verfügung stehenden Nährstoffen nur noch vom Temperatur- und Lichtangebot ab. Bei optimaler Versorgung mit diesen Faktoren, wäre der einzig limitierende Faktor für den Ertrag einer jeden Weide nur ihr Genotyp. Durch die Verwendung von Weiden als Energiepflanze, werden diese Pflanzen an Standorten kultiviert, die nicht immer ihrem natürlichen Optimum entsprechen würden. Zumindest zeitweilig ungünstige Situationen wie z. B. ausgeprägte sommerliche Trockenzeiten würden dann limitierend für die Kultivierung dieser Spezies sein. Die in der Züchtung schnellwachsender Baumarten notwendige Kronenoptimierung durch Erhöhung des Blattflächenindex (Verhältnis zwischen Gesamt-Blattfläche und Kronenfläche) ist gezwungenermaßen assoziiert mit einem Anstieg der Transpiration. Ebenfalls führt die Erhöhung und Effizienzsteigerung der Fotosyntheseleistung zu einem immer höheren Wasserverbrauch der jeweiligen Pflanze. Es wird also deutlich, dass bei der Entwicklung von Hochleistungspflanzen Wasser der hauptsächlich limitierende Faktor ist.

Durch das Zusammenfassen dieser drei Leistungsindikatoren zum Parameter Blattflächenleistung soll ein integrierendes Boniturmaß gefunden werden, welches frühzeitig eine potenzielle Leistungsfähigkeit des Prüfglieds in Bezug auf den zu erwartenden Ertrag anzeigt. Es soll indizieren welche Leistungsfähigkeit dem jeweiligen Genotyp unter den günstigsten Umweltbedingungen zur Verfügung steht. Der Zusammenhang Blattflächenleistung versus Höhe oder RD (s. Tab. 1) zeigt eine beachtliche Ausprägung vor allem bei den baumförmigen Weiden (s. Abb. 9) und der Sorte „Tordis“.

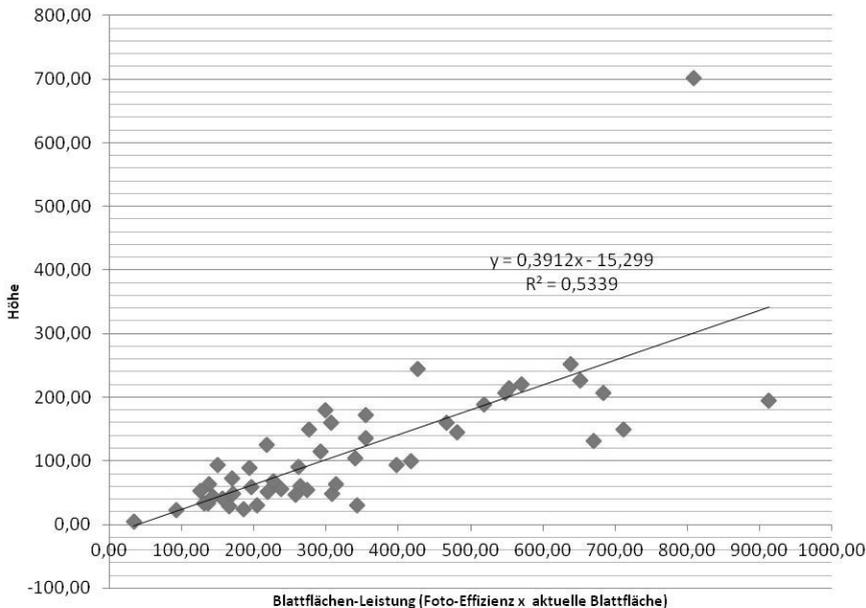


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen „Blattflächenleistung“ ($PI_{TOT} \times [BF \times RD]$) und Höhe zwischen 30 Prüfgliedern bestehend aus 3 verschiedenen Klonen der Hybriden zwischen Silber-, Bruch- und Lorberweide vertreten durch *S. × rubens* (*S. alba* × *fragilis*) und *S. × lispoelados* (*S. alba* × *pentandra*)

5.7 Blattflächeneffizienz versus Biomasse – Je effizienter die Blätter umso höher der Ertrag?

Das Verhältnis zwischen der Fotoeffizienz zur Blattfläche ist vor allem ein Maß in welchem Umfang die jeweilige Pflanze im Verhältnis zu ihrer Blattmasse in die Fotosysteme investiert. Fotoeffizienz und Blattfläche stehen in einem balancierten Gleichgewicht. Der limitierende Faktor ist, wie in Kapitel 5.6 erwähnt, das zur Verfügung stehende Wasser. Zwei grundsätzliche Strategien sind somit fokussierbar. Pflanzen mit großen Blattflächen haben zusätzlich zu ihrem Grundumsatz auch noch eine erhöhte Transpiration. Dadurch kann es bei einem hohen Stoffumsatz (Temperatur und Licht im Optimum) zu Engpässen in der Wasserversorgung

kommen. Für diese Pflanzen ist ein permanenter Zugang zu Wasser unumgänglich. Pflanzen mit einer geringen Blattfläche können sich demgegenüber aber eine wesentlich höhere Fotoeffizienz leisten, da die Transpiration reduziert ist. Die Prüfglieder *S. alba* (UG Amerina) und „Tordis“ (*S. viminalis* x (*S. viminalis* x *S. schwerinii*), UG Caprisalix) haben die mit Abstand höchsten Werte in der Fotoeffizienz. Trotz dessen bilden sie im Parameter Blattflächeneffizienz die Gegenpole (s. Tab. 1). Ursache sind die geringen Blattflächen von *S. alba* gegenüber den in dieser Untersuchung größten Blattflächen bei „Tordis“. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Fotoeffizienz nicht unbegrenzt hochgefahren werden kann, da durch die große Blattfläche von „Tordis“ auch eine erhöhte Transpiration stattfinden muss.

Im Zusammenhang Blattflächeneffizienz versus Ertrag zeigen sich durchweg Werte von 0 und <0. Besonders stark ausgeprägt ($R^2 = 0,515$, s. Abb. 10) ist dieser Zusammenhang bei den Weidenhybriden zwischen *S. viminalis* mit *S. cinerea*. *S. cinerea* ist typisch für wassernahe Standorte und in dieser Untersuchung ein gutes Beispiel für eine deutliche Deckelung des Wasserumsatzes durch Reduktion der Fotoeffizienz um ein entsprechendes Höhenwachstum zu gewährleisten.

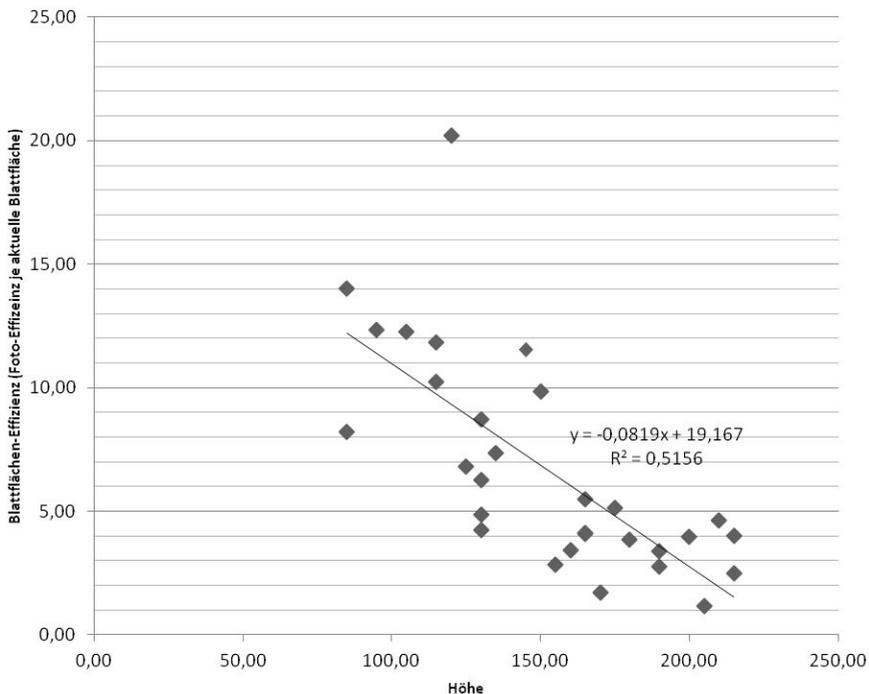


Abbildung 10: Zusammenhang zwischen „Blattflächeneffizienz“ ($PI_{(TOT)}/[BF \times RD]$) und Höhe zwischen 30 Prüfgliedern bestehend aus 3 verschiedenen Klonen der Hybriden zwischen Korb- und Grauweide *Salix* x *dasyclados* (*S. viminalis* x *cinerea* x *caprea*) und *S. aquatica* (*S. viminalis* x *cinerea* x *daphnoides*)

6 Strategien für die Züchtung neuer Ideotypen

Die Züchtung neuer Ideotypen für den Kurzumtrieb sollte zu Pflanzen führen mit einer geschichteten Krone, deren Blattflächen den Dichtstand im engen Verband vertragen. Zur Maximierung der Netto-Fotosyntheseleistung der Krone ist die Erhöhung der aktuellen Blattfläche nur bis zu dem Wert effektiv, an dem die am meisten beschatteten Blätter der Krone ihren Licht-Kompensationspunkt erreicht haben (GIVNISH 1998). Das heißt, dass auch für die eher vom Licht benachteiligten Blätter an optimalen Lichttagen die fotosynthetische CO₂-Bindung höher sein sollte als die CO₂-Abgabe durch Atmung.

Für schnellwachsende Baumarten wie den Weiden ist zur Optimierung der Kronenleistung ein hoher Blattflächenindex mit einem hohen Blattstickstoffgehalt (hohe Chlorophylldichte) sowie einer geringen vertikalen Abnahme dessen empfehlenswert (WEI u. RÖNNBERG-WASTLJUNG 2007, WU 1993). In THARAKHAN et al. 2005 werden für Weiden zwei Empfehlungen für eine Kronen-Optimierung entworfen. Weiden mit einer hohen Anzahl an Stockausschlägen (ca. 11 je Wurzelstock) benötigen einen eher geringen Blattflächenindex und geringere Einzel-Blattflächen. Im Gegensatz dazu sind bei Weidenklonen mit eher weniger starkem Stockausschlag (ca. 6 je Wurzelstock) ein hoher Blattflächenindex und auch große Einzelblattflächen von Vorteil.

Die Erhöhung der Lichtnutzungseffizienz muss im Einklang mit dem zur Verfügung stehenden Wasser stehen und richtet sich nach dem Standort, für den die Pflanze gezüchtet werden soll. Zur Auswahl des geeigneten Züchtungsmaterials ist die Kenntnis über die ökophysiologischen Konstitutionstypen der einzukreuzenden Arten und Kultivare eine elementare Voraussetzung. Da die meisten Weidenarten, die für den Kurzumtrieb geeignet sind, durch ihre Anpassung an Ruderal- und Pionierstandorte, mit ihrem erfolgreichen Wettbewerbsverhalten, zu den „Wettbewerbsstrategen“ (GRIME 1979) gehören, ist an gut versorgten Standorten mit dementsprechenden Höchstleistungen im Ertrag zu rechnen. Das bedeutet für Weidensorten, die diesen Anforderungen genügen und auf höchsten Ertrag gezüchtet wurden, dass sie ihr volles Potential nur bei bester und permanenter Versorgung mit Wasser, Licht und Nährstoffen ausschöpfen können. Dementsprechend ist aber mit großen Ertragseinbußen zu rechnen, wenn es zu starken Engpässen in der Versorgung innerhalb einer Vegetationsperiode kommt. Größtmögliche Blattflächen bei immer leistungsfähigeren Fotosystemen und demzufolge sehr hohem Wasserdurchsatz könnten dann durch Unterbrechung z. B. der Wasserversorgung in trockeneren Perioden zum Wasserkollaps und Absterben von Sprossteilen oder ganzer Triebe führen. Weidenarten wie *Salix caprea*, *S. daphnoides* und *S. purpurea*, die an trockeneren, kalten oder nährstoffarmen Standorten vorkommen, tendieren dazu, durch zeitweise geringere, aber über die Vegetationsperiode beständigere Zuwachsraten einen eher ausgewogenen und damit stresstoleranteren Kohlenstoff-, Mineralstoff- und Wasserhaushalt aufrechtzuerhalten. Durch die züchterische Bearbeitung dieser und anderer Arten und deren Einkreu-

zung in Weidenklone mit höchstem Stoffdurchsatz, die vor allem durch *Salix viminalis* zur Verfügung stehen, können diverse Ideotypen mit einem hohen Potential der Anpassung an marginale Standorte sowie jährliche Klimaschwankungen die Auswahl für den Energiebauern erleichtern.

Literatur

- ALBERT, K. R.; MIKKELSEN, T. N.; RO-POULSEN, H.; ARNDAL, M. F. u. MICHELSEN, A. (2011): Ambient UV-B radiation reduces PSII performance and net photosynthesis in high Arctic *Salix arctica*. *Environmental and Experimental Botany*. 72 (3), 439-447
- BUSSOTTI, F.; DESOTGIU, R.; CASCIO, C.; STRASSER, R. J.; GEROSA, G. u. MARZUOLI, R. (2007): Photosynthesis responses to ozone in young trees of three species with different sensitivities, in a 2-year open-top chamber experiment (Curno, Italy). *Physiologia Plantarum*, 130 (1), 1399-3054
- GIVNISH, J. T. (1988): Adaption to Sun and Shade: A Whole-plant Perspective. *Aust. J. Plant Physiol.* 15, 63-92
- GREEN, D. S.; KRUGER, E. L.; STANOSZ, G. R. u. ISEBRANDS, J. G. (2001): Light-use efficiency of native and hybrid poplar genotypes at high levels of intracopy competition. *Can. J. For. Res.* 31, 1030-1037
- GRIME, J. P. (1979): *PLANT STRATEGIES AND VEGETATION PROCESSES*. WILEY, CHICHESTER, 1979
- HAKULAINEN, J.; SORJONEN, S. u. JULKUNEN-TIITTO, R. (1999): Leaf phenolics of three willow clones differing in resistance to *Melampsora* rust infection. *Physiol. Plant.* 105, 662-669
- HÖRANDL, E.; FLORINETH, F. u. HADACEK, F. (2002): *Weiden in Österreich und angrenzenden Gebieten* : Eigenverlag des Arbeitsbereiches Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Institut für Landschaftsplanung u. Ingenieurbiologie, Univ. für Bodenkultur Wien
- LAUTENSCHLÄGER-FLEURY, D. (1994): *Die Weiden von Mittel- und Nordeuropa: Bestimmungsschlüssel und Artbeschreibung für die Gattung Salix L.* / Dagmar und Ernst Lautenschläger-Fleury. – Überarb. und erw. Neuaufl. – Basel; Boston; Berlin: Birkhäuser
- POLLASTRINI, M.; DESOTGIU, R.; CASCIO, C.; BUSOTTI, F.; CHERUBINI, P.; SAURER, M.; GEROSA, G. u. MARZUOLI, R. (2010): Growth and physiological responses to ozone and mild drought stress of tree species with different ecological requirements. *Trees - Structure and Function* 24 (4), 695-704
- RECHINGER, K. H. FIL. (1957): *Salix*. In: HEGI G. (Hrsg.): *Illustrierte Flora von Mitteleuropa III/I, 2. Aufl.*, pp. 44-135. Carl Hanser: München [unveränd. Nachdruck in der 3. Aufl. 1981]
- SCHIECHTL, H. M. (1992): *Weiden in der Praxis. Die Weiden Mitteleuropas, ihre Verwendung und ihre Bestimmung*. Patzer Verlag: Berlin, Hannover
- SCHÜTT, P.; WEISGERBER, H.; SCHUCK, H. J.; LANG, U. u. ROLOFF, A. (1994): *Enzyklopädie der Holzgewächse, Handbuch und Atlas der Dendrologie*. Landsberg am Lech. Ecomed-Verlag
- STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; QIANG, S. u. GOLTSEV, V. (2010): Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochimica et Biophysica Acta* 1797, 1313-1326
- TAYLOR, G.; ROBINSON, K. u. KARP, A. (2003): *Identifying physiological traits for yield in biomass willow*. University of Southampton: FES B/W6/00599/REP/2 DTI/Pub URN 03/1301
- THARAKAN, P. J.; VOLK, T. A.; LINDSEY, C. A.; ABRAHAMSON, L. P. u. WHITE, E. H. (2005): Evaluating the impact of three incentive programs on the economics of cofiring willow biomass with coal in New York State: *Energy Policy* 33: 337-347
- WEIH, M. u. RÖNNBERG-WASTLJUNG, A. C. (2007): Shoot biomass growth is related to the vertical leaf nitrogen gradient in *Salix* canopies. *Tree Physiol.* 27, 1551-1559

Wu, R. L. (1993): Simulated optimal structure of a photosynthetic system: implication for the breeding of forest crop ideotype. *Can J For Res* 23:1631–1638

Korrespondierender Autor:

Steffen Fehrenz
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Straße 6
34346 Hann. Münden
E-Mail: steffen.fehrenz@nw-fva.de
URL: www.nw-fva.de, www.fastwood.de

Daniel Weber
Daniel Weber Biomonitoring

Vergleichender Anbau zweier Pappelklone auf Grenzertragsstandorten der Vorderpfalz

Martin Armbruster und Hubert W. Fischer

Die Nachfrage nach Holz zur energetischen Verwertung hat in den letzten Jahren stark zugenommen, wobei zunehmend die Anlage von Plantagen mit schnellwachsenden Hölzern auf landwirtschaftlichen Flächen diskutiert wird. Aus Klima- und Umweltsicht hat die direkte energetische Verwertung dieser Hölzer Vorteile. Für den Landschafts- und Stoffhaushalt sind neben positiven Effekten möglicherweise auch negative Auswirkungen dieser Bewirtschaftungsart zu berücksichtigen. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Frage, ob der Anbau schnellwachsender Hölzer auch auf sogenannten landwirtschaftlichen „Grenzertragsstandorten“ sowohl ökonomisch als auch ökologisch zu vertreten ist. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFA) Speyer und der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz (FAWF) Trippstadt soll diese Frage langfristig bearbeitet werden. Die Untersuchungen wurden auf dem Versuchsfeld „Rinkenbergerhof“ der LUFA Speyer durchgeführt. Der Versuchsstandort liegt im Oberrheingraben nördlich von Speyer. Bei den Böden handelt es sich um Braunerden bis Pseudogley-Braunerden aus Terrassensanden des Rheins und des Speyerbaches mit einer Ackerzahl von etwa 25. Der Humusgehalt des Bodens liegt bei 1 bis 1,5 %. Die nutzbare Feldkapazität beträgt etwa 10 %. Im langjährigen Mittel fallen knapp 600 mm Jahresniederschlag, die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt etwa 10,0 °C. Die Gesamtfläche beträgt 0,56 ha.

Zwei Pappelsorten („Androscoggin“ sowie „Muhle-Larsen“) wurden im April 2009 im reihenweisen Wechsel angepflanzt (Handsteckung im Verband 2 x 0,8 m, jeweils 4 Reihen je Sorte). Nach jeder Rotation (ca. 5-7 Jahre, Zieldurchmesser ca. 14 cm) wird die Trockenmasseproduktion bestimmt. Es wurden Sickerwassermessstellen zu dessen Analyse sowie Tensiometer zur Bestimmung der Bodensaugspannung und damit zur Erfassung des Bodenwasserhaushalts eingebaut. Die Elementeinträge werden mit dem Freilandniederschlag ermittelt und die klimatischen Messgrößen (Luft- und Bodentemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Windstärke, Strahlung) werden an der Wetterstation der LUFA routinemäßig ermittelt. Erste Erhebungen zeigen eine leichte Wuchsüberlegenheit der Androscoggin.

Die Messungen zu Elementeinträgen und Sickerwasserkonzentrationen sollen über einen Zeitraum von bis zu drei Rotationen durchgeführt werden. Des Weiteren ist die Implementierung eines Bodenwasserhaushaltsmodells vorgesehen. Nach drei Rotationen kann eine umfassende Auswertung zur ökonomischen und ökolo-

gischen Nachhaltigkeit des Anbaus schnellwachsender Hölzer auf diesen Grenzertragsstandort erfolgen.

Stichworte: Pappel, Kurzumtriebsplantage, Stoffhaushalt, Grenzertragsstandort

Korrespondierender Autor:

Dr. Hubert W. Fischer

Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft

Hauptstraße 16

67705 Trippstadt

E-Mail: hubert.fischer@wald-rlp.de

URL: www.fawf.wald-rlp.de

Ertragseinfluss und Umweltwirkungen von Stickstoffdüngern in Weiden- und Pappel-KUP am Standort Potsdam-Bornim

Antje Balasus, Volkhard Scholz, Ralf Pecenka, Peter Kaulfuß, Markus Schlensener und Jürgen Kern

In praxisnahen Feldversuchen, die von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe gefördert werden, soll geklärt werden, ob die Erträge von Weiden und Pappeln durch mineralische Stickstoffdüngung erhöht werden können und ob dadurch negative Umweltwirkungen verursacht werden. Hierfür wurden Weiden (*Salix viminalis* Klon Inger) und Pappeln (*Populus maximoviczii* x *P. nigra* Klon Max 4) im zweijährigen Kurzumtrieb auf schwach lehmigem Sand angebaut. Die randomisierte Blockanlage umfasst Varianten mit vier Stickstoffdüngestufen (0, 25, 50 und 75 kg N je Hektar und Jahr) sowie eine mit 50 kg N je Hektar und Jahr gedüngte weitgehend begleitvegetationsfreien Variante. Die Sortenwahl, das Versuchsdesign und die Auswertung erfolgt in Abstimmung mit dem ProLoc-Verbundvorhaben. In den ersten drei Versuchsjahren wurden die Trockenmasse-Erträge der Weiden und Pappeln, die Menge der Begleitvegetation und die Nitratauswaschung ermittelt.

Durch die Stickstoffdüngung waren am Standort Potsdam-Bornim bisher keine Ertragszuwächse zu verzeichnen. Bei Weiden wurden nach 2 Jahren Erträge von 1,2-1,5 t Trockenmasse je Hektar und Jahr und bei Pappeln von 1,4-1,5 t Trockenmasse je Hektar und Jahr gemessen. Durch eine deutliche Reduzierung der Begleitvegetation in den ersten zwei Jahren konnten Ertragssteigerungen von 111 % bei Weiden und 90 % bei Pappeln erzielt werden.

Die Stickstoffdüngung verursachte folgende negativen Umwelteffekte. Aufgrund der Düngung von 75 kg N je Hektar und Jahr waren nach zwei Jahren Stickstoffauswaschungsverluste von 25 kg N je Hektar und Jahr in Weiden und 40 kg N je Hektar und Jahr in Pappeln zu verzeichnen. Zusätzlich waren in Weiden durch Stickstoffgaben von 75 kg N je Hektar und Jahr um 46 % höhere Mengen der Begleitvegetation zu verzeichnen, in Pappeln waren diese tendenziell erhöht.

Die bisherigen Ergebnisse lassen nur Aussagen für die ersten zwei Bestandsjahre zu. Um Aussagen zu Ertrags- und Umweltwirkungen der Stickstoffdüngung bei der Produktion von Weiden und Pappeln zu treffen, werden weiterführende Untersuchungen durchgeführt. Dabei ist zu klären, ob die Stickstoffdüngung die Ressourceneffizienz erhöht (Produktion auf kleineren Flächen, geringere Fahrwege, Reduktion der Bodenbearbeitung etc.) und dadurch die Stickstoffemissionen pro Ertragseinheit rechtfertigt.

Stichworte: Kurzumtrieb, Weide, Pappel, Stickstoff-Düngung, Auswaschung, Begleitvegetation

Korrespondierende Autorin:

Antje Balasus

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam Bornim e. V.

Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam

E-Mail: abalasus@atb-potsdam.de

URL: www.atb-potsdam.de

Biomasseerträge von 16 Nachkommenschaften der Zitter-Pappeln im Kurzumtrieb

Mirko Liesebach und Ulrike Bittow

Die weltweit gestiegene Nachfrage nach Energie und Rohstoffen führte in den vergangenen Jahren zu dem vermehrten Anbau von schnellwachsenden Baumarten. Für die Landwirtschaft gilt der Anbau von schnellwachsenden Baumarten als eine Produktionsalternative, die aus Sicht des Umweltschutzes allgemein positiv bewertet wird, da sie eine extensive Landnutzungsform darstellt.

Im Vergleich zu Schwarz- und Balsam-Pappeln stellen Zitter-Pappeln die geringsten Ansprüche an Klima und Boden und sind nicht so anfällig gegenüber Krankheiten. Daher eignen sich Zitter-Pappeln auch für eine Bewirtschaftung im Kurzumtrieb auf leichten, nährstoffärmeren Standorten. Als Pionierbaumart zeichnen sich Zitter-Pappeln durch rasches Jugendwachstum aus. Außerdem besitzen sie ein hohes Stockausschlagvermögen und bilden Wurzelbrut. Zugelassenes, geeignetes Vermehrungsgut ist jedoch kaum verfügbar.

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurden 16 Nachkommenschaften der Zitter-Pappeln hinsichtlich ihrer Wuchseigenschaften und Biomasseerträge geprüft. Die Nachkommenschaften wurden durch kontrolliertes Kreuzen von 8 Elternbäumen der Europäischen (*P. tremula* L.) und 4 Eltern der Amerikanischen Zitter-Pappel (*P. tremuloides* Michx.) erzeugt und im Frühjahr 2004 auf der Versuchsfläche in Dägeling (Schleswig-Holstein), einem trockenen, nährstoffarmen Sandstandort, angepflanzt. Die Pflanzen wurden im Verband 2,20 m x 1,10 m (4132 Pfl./ha) gepflanzt. Neben den Wuchsmerkmalen Höhe und Brusthöhendurchmesser (BHD) wurden die holztechnologischen Eigenschaften Wassergehalt und Rohdichte bestimmt. Aus der im Jahr 2009 komplett beernteten Fläche wurde anhand der gewogenen Parzellenfrischmassen die Trockenmasseerträge für die einzelnen Nachkommenschaften bestimmt. Ein Teil der Fläche wurde nach 2 weiteren Jahren erneut beerntet und die Biomasseerträge ermittelt.

Die stärksten BHD erreichen drei *P. tremula* × *P. tremuloides*-Nachkommenschaften (W95 × Turesson141, Großdubrau1 × Turesson141 und Brauna11 × Turesson141) mit etwa 7 cm. Diese Nachkommenschaften hatten auch das beste Höhenwachstum. Im Vergleich dazu erreicht nur eine reine *P. tremula*-Nachkommenschaft (Großdubrau1 × CVS52) einen BHD von über 5 cm. Hinsichtlich des Höhen- und Durchmesserwachstums, sind die Arthybriden den reinen *P. tremula*-Nachkommenschaften überlegen.

Die ermittelten Trockenmasseerträge lagen im Mittel bei 16 t_{atro} /ha in 5 Jahren und variierten zwischen den einzelnen Nachkommenschaften von 4 bis 35 t_{atro} /ha.

Die höchsten Erträge erbrachten die Nachkommenschaften der Arthybriden Großdubrau1 × Turesson141 und W95 × Turesson141 mit 35 t_{atro} /ha bzw. 33 t_{atro} /ha. Drei weitere Arthybrid-Nachkommenschaften produzierten über 20 t_{atro} /ha Biomasse in 5 Jahren. Den höchsten Biomasseertrag erzielte unter den reinen Europäischen Zitter-Pappeln die Nachkommenschaft Großdubrau1 × CVS52 mit 16 t_{atro} /ha.

Der Wassergehalt des geernteten Holzes betrug im Mittel 64 % und variierte zwischen den Nachkommenschaften zwischen 58 und 67 %. Die mittlere Rohdichte betrug 0,36 g/cm³. Zwischen den Nachkommenschaften ließen sich statistisch keine Unterschiede absichern.

In der 2. Rotation erbrachte der 2-jährige Aufwuchs einen Zuwachs zwischen 2,6 und 7,8 t_{atro} /ha und Jahr. Dabei war der mittlere Zuwachs bei den Hybridaspens etwa 70 % höher als das Mittel der reinen *P. tremula*-Nachkommenschaften. Den höchsten Biomassezuwachs hatten die Nachkommenschaften W95 × T44-60 (7,8 t_{atro} /ha und Jahr), Brauna11 × Turesson141 (7,5 t_{atro} /ha und Jahr) und Großdubrau1 × Turesson141 (7,1 t_{atro} /ha und Jahr).

Auf einem weiteren Drittel der Fläche soll der 3-jährige Aufwuchs in der kommenden Vegetationsruhe geerntet werden. Es wird erwartet, dass die Erträge noch höher ausfallen. Auf dem letzten Drittel wird der Aufwuchs in der 2. Rotation 5-jährig geerntet. Die gestaffelte Beerntung soll dazu beitragen, die Umtriebszeiten für die Zitter-Pappeln zu optimieren.

Stichworte: *Populus tremula*, *Populus tremuloides*, Hybriden, Wachstum, Wassergehalt, Rohdichte, Umtriebszeit

Korrespondierender Autor:

Dr. Mirko Liesebach

vTI – Institut für Forstgenetik

Sieker Landstraße 2

22927 Großhansdorf

E-Mail: mirko.liesebach@vti.bund.de

URL: www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html

Vergleich von 30 Pappelnachkommenschaften der Sektion *Populus* an 7 Versuchsorten

Mirko Liesebach, Peter Eichel und Matthias Zander

Der natürliche Verbreitungsraum der Sektion *Populus* erstreckt sich über die gemäßigten, borealen und montanen Regionen der nördlichen Hemisphäre. Innerhalb der Gruppe sind die in Eurasien heimische Zitter-Pappel (*P. tremula* L.) und die Silber-Pappel (*P. alba* L.) sowie die in Nordamerika vorkommende Amerikanische Zitter-Pappel (*P. tremuloides* Michx.) und die Großzähnlige Pappel (*P. grandidentata* Michx.) von forstwirtschaftlicher Bedeutung.

In einer Bachelorarbeit wurde eine Versuchsserie, zu der 7 Flächen in Nordwest-Deutschland gehören, mit 30 Nachkommenschaften von *P. tremula* (1 Nachkommenschaft), *P. tremuloides* (1), *P. grandidentata* (3) und deren Hybriden (25) ausgewertet. Die Auswertungen konzentrierten sich auf die Messungen und Erhebungen bis zum Alter 10.

Zwischen den Versuchsstandorten gab es Unterschiede in der Entwicklung der Pflanzenanzahl sowie im Höhen- und Dickenwachstum. Auf der Fläche Warendorf (Nordrhein-Westfalen) überlebten die meisten Pflanzen, die jedoch im Wachstum im Vergleich zu anderen Flächen zurückblieben. Den besten Höhen- und Durchmesserwuchs hatten die Nachkommenschaften auf den Flächen Malente (Schleswig-Holstein) und Lembeck (Nordrhein-Westfalen).

Die reinen *P. grandidentata*- und *P. tremuloides*-Nachkommenschaften hatten höhere Ausfälle als die der artreinen *P. tremula*. Weiterhin zeigte sich, dass die Hybriden zwischen verschiedenen Arten bessere Wüchsigkeit und höhere Überlebensraten als ihre Elternarten hatten. Vor allem Kreuzungen aus Europäischen und Amerikanischen Zitter-Pappeln überzeugten durch gutes Wachstum. Hybriden mit *P. grandidentata* als väterlichem Elter waren im Allgemeinen schlechter im Wuchs.

Die *P. tremula* × *P. tremuloides*-Kreuzung Brauna11 × Turesson141 sowie Kreuzungen Großdubrau5 × Turesson141 und Großdubrau1 × Turesson141 erzielten das beste Höhen- bzw. Dickenwachstum im Alter 7 bzw. 10 und waren der reinen *P. tremula*-Nachkommenschaft signifikant überlegen.

Die qualitativen Merkmale waren bei den *P. tremula* × *P. tremuloides*-Hybriden bessere als bei den Nachkommenschaften der reinen Arten. So hatten die Hybriden häufiger gerade Stammformen und die Neigung, Zwiesel zu bilden, war geringer. Bei den Hybriden waren die Aststärken und -längen größer, die Anzahl der Äste zwischen den Quirlen jedoch geringer. Die *P. tremula* × *P. tremuloides*-Nachkommenschaften unterschieden sich hinsichtlich der qualitativen Merkmale

unwesentlich von denen der *P. tremula* × *P. grandidentata*-Kreuzungen. Bei den Nachkommenschaften der *P. tremuloides* × *P. grandidentata*-Kreuzungen waren die Ausprägung der qualitativen Merkmale schlechter als die der anderen Hybridnachkommenschaften.

Neben der bereits 1986 als „geprüft“ zugelassenen Kreuzung Brauna11 × Turesson141 (‘Holsatia’) sind weitere *P. tremula* × *P. tremuloides*-Kreuzungen erfolgversprechend. So sollte anhand der vorliegenden Ergebnisse eine Zulassung der Kreuzungen Großdubrau1 × Turesson141 und Großdubrau5 × Turesson141 erwogen werden. Die Nachkommenschaften dieser Kreuzungen sind, verglichen mit der rein Europäischen Aspennachkommenschaft, in mehreren Wachstumsmerkmalen und damit auch indirekt im Resistenzverhalten überlegen. Diese Kreuzungskombinationen könnten auch für die Bewirtschaftung im Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Standorten interessant sein.

Stichworte: *Populus tremula*, *Populus tremuloides*, *Populus grandidentata*, Hybriden, Wachstum, Stammform, Kurzumtrieb

Korrespondierender Autor:

Dr. Mirko Liesebach

vTI – Institut für Forstgenetik

Sieker Landstraße 2

22927 Großhansdorf

E-Mail: mirko.liesebach@vti.bund.de

URL: www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html

Anbauerfahrungen mit der Amerikanischen Schwarz-Pappel

Mirko Liesebach

Die Amerikanische Schwarz-Pappel (*Populus deltoides* BARTR. ex MARSH.) ist eine der raschwüchsigsten Laubbaumarten in Nordamerika. Die lichtbedürftige Pionierbaumart kommt häufig in Reinbeständen gewässerbegleitend vor. Aufgrund ihrer Wüchsigkeit und ihrer Eignung als Kreuzungspartner auch mit anderen Arten wird *P. deltoides* seit langem weltweit intensiv züchterisch bearbeitet. Die Konzentration auf wenige Hochleistungssorten führt bei Anbauten jedoch häufig zu Ertragseinbußen durch pathogene Organismen.

In den 1960er Jahren erhielt das heutige vTI-Institut für Forstgenetik Saatgut von *P. deltoides* mehrerer Herkünfte aus dem natürlichen Verbreitungsgebiet in Nordamerika. Das Saatgut wurde in der Baumschule des Instituts ausgesät und die Nachkommen wiederholt selektiert und verklont. Mit den Pflanzen wurden im Herbst 1973 eine Klonprüfung (Pa51) mit 86 Klonen und eine Klonsammlung (Pa52) mit 204 Klonen (zusammen 285 Klone) an der Elbe bei Hamburg angelegt.

In der Klonprüfung und der Klonsammlung wurden die Baumhöhen und Brusthöhendurchmesser (BHD) gemessen sowie die Stammform bonitiert. Gleichzeitig mit den Messungen sind auch die Überlebensraten erfasst.

Die Klonprüfung wurde auf Herkunfts-, Einzelbaum- und Klonebene ausgewertet. Als Standard sind in der Klonprüfung 4 Altstammsorten (*P. ×canadensis*: Gelrica, Grandis, Harff, Löns) angepflanzt worden.

Die 4 Altstammsorten haben die geringsten Ausfallraten und sind am besten an den Standort angepasst. Nur 3 Klone aus den USA, einer aus Michigan und 2 aus Wisconsin, haben ebenfalls hohe Überlebensraten. Mehrere Klone sind vollständig ausgefallen. Von den Einzelbaumnachkommenschaften ist eine, die durch 2 Klone vertreten war, ausgefallen.

Im Alter 6 haben die Klone des Bestands aus Ohio im Mittel die höchsten BHD und sind signifikant dicker als die Altstammsorten. 33 Klone sind im Dickenwuchs vergleichbar mit den Altstammsorten, die anderen Klone sind mattsüchtiger.

Im Alter 35 sind die Altstammsorten, deren Wachstum etwas später einsetzt und länger anhält, allen amerikanischen Beständen bzw. Einzelbäumen im Dickenwachstum signifikant überlegen. Nur noch 12 amerikanische Klone sind im Wuchs den Altstammsorten ebenbürtig.

Die Stammformen sind insgesamt eher schlecht, die besten haben die Altstammsorten und ein Klon aus Ohio.

Die wüchsigsten Klone der Klonprüfung bzw. der -sammlung sind eine wertvolle Genressource für weitergehende Züchtungsarbeiten, insbesondere für solche der Hybridzüchtung (z. B. im Rahmen von FastWOOD). Für einen Anbau der hinsichtlich ihrer standörtlichen Gegebenheiten relativ anspruchsvollen Amerikanischen Schwarz-Pappel in artreiner Form stehen in Deutschland keine geeigneten Flächen zur Verfügung.

Stichworte: *Populus deltoides*, Klonprüfung, Klonsammlung, Überlebensrate, Wachstum, Stammform, Züchtung

Korrespondierender Autor:

Dr. Mirko Liesebach

vTI – Institut für Forstgenetik

Sieker Landstraße 2

22927 Großhansdorf

E-Mail: mirko.liesebach@vti.bund.de

URL: www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html

Untersuchungen zur Produktivität und zum Pilzbefall einer einjährigen Pappelklon-Demonstrationsfläche

Ramona Nievelnkötter, Carolin Rolf, Christina Mengel, Christina Fey-Wagner, Ilona Leyer und Birgit Ziegenhagen

Die Auswahl von Genotypen für schnellwachsende Pappelklonplantagen erfolgt nach Kriterien wie z.B. Biomasseleistung oder geringe Anfälligkeit gegenüber Pathogenen. Da diese Eigenschaften vielfach quantitative Merkmale darstellen, ist es besonders wichtig, genotypische Effekte bzw. Genotyp-Umwelt-Interaktionen in Experimenten zu testen. Idealerweise liefern getestete Genotypen unter einer möglichst großen Anzahl von Umwelten vorhersagbare Eigenschaften.

Wir prüften in einer erst 1-jährigen Pappeldemonstrationsfläche im Botanischen Garten der Philipps-Universität Marburg Wachstumsparameter und Pilzbefall von insgesamt 15 Genotypen zu sechs Boniturzeitpunkten, und zwar in der Zeit von Mitte Juli bis Ende September 2010. Die Genotypen repräsentieren Hybridsorten von *Populus x canadensis* sowie zwei Klone aus der Balsampappel-Sektion, eine 'reine' *Populus trichocarpa* und einen *P. trichocarpa* Hybriden. Es zeigte sich zwar für einige Wachstumsparameter ein signifikanter genotypischer Effekt, überwiegend war jedoch eine hohe Variation innerhalb der Klone zu verzeichnen. Diese ist wahrscheinlich auf unterschiedliche Anwachsenerfolge zwischen den Steckreisern derselben Klone im März 2010 zurückzuführen. Die Klone aus der Balsampappel-Sektion erwiesen sich zudem als besonders anfällig gegenüber einem speziellen Blattpilz. Im weiteren Verlauf der Wachstumsperiode wurden später in der Vegetationsperiode auch die *P. x canadensis* Klone hiervon befallen. Unsere Ergebnisse diskutieren wir hinsichtlich der Möglichkeiten und Grenzen von Frühtests sowie mit Blick auf die Abundanz und Dynamik von Pilzpathogenen. Auch geben wir einen kleinen Ausblick auf notwendige Forschungen für einen ökologisch verträglichen Anbau von Pappelklonen in Transitionslandschaften.

Stichworte: *Populus x canadensis*, *Populus x trichocarpa*, Common-Garden-Experiment

Korrespondierende Autorin:

Prof. Dr. habil. Birgit Ziegenhagen
Philipps-Universität Marburg, FB Biologie, Naturschutzbiologie
Karl-von-Frisch-Straße 8, 35043 Marburg
E-Mail: Birgit.Ziegenhagen@biologie.uni-marburg.de

Standort-Leistungsschätzung von Pappel-Kurzumtriebsplantagen

Heinz Röbke, Wael Ali und Katja Skibbe

Kurzumtriebsplantagen (KUP) sind in Deutschland eine alternative aber auch konkurrierende Form der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Für potentielle Interessenten dieser Bewirtschaftungsform sind Informationen zu Naturalerträgen bei gegebenen standörtlichen Verhältnissen ein wichtiges Entscheidungskriterium. In der Landwirtschaft werden für Ertragsprognosen einjähriger Kulturen Standortcharakteristika herangezogen. Im Gegensatz dazu wird in der Forstwirtschaft die Ertragsfähigkeit eines Bestandes nicht direkt über die standörtlichen Charakteristika, sondern indirekt durch die Alters-Höhenbeziehung des aufstockenden Bestandes hergeleitet. Durch die Kombination beider Ansätze entwickelte ALI (2009) ein erstes Modell zur Schätzung des Ertragspotentials für KUP aus Pappel.

Über umfangreiche Korrelations- und Regressionsanalysen zwischen Ertrags- und Standortdaten beprobter KUP wurde ein zweistufiges Modell entwickelt. In einem ersten Schritt erfolgt die Schätzung der Bestandesoberhöhe in Abhängigkeit vom Bestandesalter und den Standortfaktoren „Mitteltemperatur Monate April bis Juli“, „Niederschlagssumme Monate Mai bis Juni“, „Ackerzahl“ und „nutzbare Feldkapazität (nFK) im effektiven Wurzelraum“. Mit diesem Modell wurden je nach Klon Bestimmtheitsmaße (R^2) von 0.975 bis 0.989 erreicht. Der zweite Schritt dient zur Schätzung des Biomassevorrates [t_{atro} je Hektar und Jahr] über die bereits ermittelte Bestandesoberhöhe unter Beachtung der Bestandesdichte. Auch hier weisen Bestimmtheitsmaße von $R^2 \geq 0,933$ auf eine hohe Anpassungsgüte hin.

Stichworte: Ertragsschätzung, KUP, Pappel, Standort-Leistungsschätzung

Korrespondierende Autorin:

Katja Skibbe

TU Dresden, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik

Pienner Str. 8

01737 Tharandt

E-Mail: katja.skibbe@forst.tu-dresden.de

URL: <http://www.forst.tu-dresden.de/Waldwachstum/>

Ertragsermittlung von Kurzumtriebsplantagen aus Pappel

Heinz Röhle, Kai-Uwe Hartmann und Katja Skibbe

Kurzumtriebsplantagen (KUP) sind mehrjährige Kulturen. Aus diesem Grund benötigt der Bewirtschafter auch während des Heranwachsens der Bestände Angaben zur aktuellen Biomasseleistung bzw. zur Entwicklung der Biomassevorräte über der Zeit. Bisherige Methoden zur Ertragsbestimmung von KUP sind mit hohem Zeit- und Kostenaufwand verbunden oder/und haben destruktiven Charakter.

Einen Ansatzpunkt für die Entwicklung eines nicht destruktiven Ertragsschätzers bildet die Aufstellung und Fortschreibung von allometrischen Biomassefunktionen ($BM = a_0 \cdot BHD^{a_1}$) in Abhängigkeit von einfach zu erhebenden Bestandeskennwerten.

Auf Grundlage einer breiten Datenbasis an Biomassefunktionen von KUP-Versuchsfeldern wurde gezeigt, dass sowohl die Bestandesmittelhöhe [m] als auch die Bestandesdichte (Triebzahl/ha) einen deutlichen Einfluss auf die Werte der Koeffizienten a_0 und a_1 der Biomassefunktion haben. Des Weiteren wurden die Beziehungen zwischen den Koeffizienten a_0 und a_1 untersucht sowie eine Gleichung zur Bestimmung des flächenbezogenen Biomassevorrates entwickelt. Dieses Instrumentarium erlaubt eine Herleitung verallgemeinerbarer Biomassefunktionen (sog. „Standardbiomassefunktionen“), bei deren Anwendung lediglich Durchmesser und Höhen einer KUP erhoben und deren Triebzahl/ha bestimmt werden müssen. Die Evaluierung des Ertragsschätzers mit einem unabhängigen Datensatz zeigte einen Bias von $-0,2 t_{\text{atro}}$ je Hektar.

Stichworte: Biomassefunktion, Ertragsschätzung KUP, Pappel

Korrespondierende Autorin:

Katja Skibbe

TU Dresden, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik

Piener Str. 8

01737 Tharandt

E-Mail: katja.skibbe@forst.tu-dresden.de

URL: <http://www.forst.tu-dresden.de/Waldwachstum/>

Schnellwachsende Hölzer auf Kurzumtriebsplantagen

Hendrik Rumpf

Im Verbund zwischen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, dem Lohnunternehmen Hüttmann sowie dem ML Niedersachsen wurde 2005 ein Projekt zur Anlage und zum Management von Schnellwuchsplantagen im Raum Soltau gestartet. Auf einer rd. 5 ha großen Versuchsfläche wurde die Anbauwürdigkeit und Leistungsfähigkeit verschiedener Weidensorten und eines Pappelhybriden getestet sowie Erfahrungen zur Kultur- und Erntetechnik gesammelt. Auf dem ziemlich frischen bis grundfrischen, gut mit Nährstoffen versorgten, anlehmigen Sandstandort wurde das Wachstum von vier verschiedenen schwedischen Weidensorten und dem Pappelhybrid „275“ erfasst. Bei den Weidensorten wurde auf Teilflächen nach der ersten Vegetationsperiode ein Rückschnitt mit dem Ziel durchgeführt, das Stockausschlagpotenzial zu erhöhen und hierdurch möglicherweise eine Steigerung der Gesamtbiomasseleistung zu erzielen.

Nach Abschluss der Vegetationsperiode 2007 (erste Rotation) schwankt die Biomasseproduktion in der nicht rückgeschnittenen Variante in einer Spanne zwischen 9 t_(atro) je Hektar und Jahr (Weidensorte „Jorr“) und rd. 14 t_(atro) je Hektar und Jahr (Weidensorte „Tordis“). Der Pappelhybrid „HMü 275“ erreichte 10,7 t_(atro) je Hektar und Jahr.

Die Rutenzahl hat sich mit Ausnahme der Sorte „Jorr“ nach dem Rückschnitt von im Mittel 2 Ruten auf ca. 4 Ruten erhöht. Die Biomasseproduktion schwankte in einem Rahmen zwischen 7 t_(atro) je Hektar und Jahr („Jorr“) und 9,5 t_(atro) je Hektar und Jahr („Tordis“) und blieb damit deutlich hinter der Variante ohne Rückschnitt zurück.

In einem Produktionszeitraum von 12 Jahren und bei einem Erntezyklus von drei Jahren lassen Spitzenweidensorten unter den gegebenen Standortsbedingungen eine jährliche Biomasseproduktion von bis zu 17 t_(atro) je Hektar erwarten.

Stichworte: Schnellwuchsplantagen, Weidensorten, Hybridpappel, Biomasseproduktion

Korrespondierender Autor:

Dr. Hendrik Rumpf
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Grätzelstr. 2
37079 Göttingen
E-Mail: hendrik.rumpf@nw-fva.de
URL: <http://www.nw-fva.de>

Projekt BIODEM – Versuchs- und Demonstrationsflächen zum Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb

Rainer Schlepphorst und Holger Hartmann

Im Forschungsprojekt BIODEM betreibt die Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH) seit dem Frühjahr 2006 Versuchs- und Demonstrationsflächen zum Anbau schnell wachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf unterschiedlichen Flächen im Land Brandenburg. Bis heute konnten über 20 Sortenversuche und Praxisanbauten realisiert werden. Im Projekt werden vorrangig ertragskundliche Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Agrarholzanbau in Brandenburg untersucht.

Die Versuchs- und Demonstrationsflächen unterscheiden sich vor allem im Hinblick auf die Art der Vornutzung, die Bodenqualität und die Grundwasserverfügbarkeit. Sie sind in den verschiedenen Regionen des Landes Brandenburg verteilt.

Auf den zur Verfügung stehenden, zumeist ehemals landwirtschaftlich genutzten, Flächen werden unter anderem randomisierte Sortenversuche mit bis zu 35 Prüfgliedern angepflanzt. Dazu zählen verschiedene Weiden- und Pappelhybriden, wie Robinien verschiedener Herkünfte, die Grauerle und der Eschenblättrige Ahorn. Die Sortenversuche werden in einem dreijährigen Umtrieb bewirtschaftet. Im kommenden Winter werden einige Versuche bereits zum zweiten Mal beerntet.

Durch eine enge Kooperation mit der CHOREN Industries GmbH besteht die Möglichkeit deren Kurzumtriebsplantagen in Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Brandenburg und Nordwest-Polen ebenfalls ertragskundlich zu untersuchen. Das gilt auch für Kurzumtriebsplantagen der Vattenfall AG in Brandenburg. Damit ist gewährleistet, dass Daten von einer vergleichsweise großen Vielfalt verschiedener Klone, Pflanzverbände, Umtriebszeiten, Pflegekonzepte und Standorte gesammelt werden.

Neben der Gewinnung ertragskundlicher Daten konnten im Laufe des Projektes bisher sehr viele praktische Erfahrungen zum Anbau schnellwachsender Baumarten gewonnen werden. Insbesondere Fragen der Flächenvorbereitung, Pflanztechnik, Unkrautbekämpfung, Ernte und ggf. Bewässerung von KUP stehen immer wieder im Vordergrund.

Das Projekt ist innerhalb der Energieholz - Arbeitsgruppe (Prof. Dr. Murach) an der HNE Eberswalde eng verzahnt mit weiteren, themenverwandten Projekten, wie beispielsweise CultPop (Optimierung und ökologische Begleitforschung von

KUP), ELAN (Entwicklung eines integrierten Landmanagements durch nachhaltige Wasser- und Stoffnutzung in Nordostdeutschland) ZIM Agroforst (Optimierung des Wasserregimes von KUP mit Hilfe von Turgordruck-Sonden) und BioBra (Einsatz von Biokohle zur Bodenverbesserung etc.).

Das Projekt wird hauptsächlich finanziert durch Mittel der PCK Raffinerie Schwedt GmbH und der Volkswagen AG.

Korrespondierender Autor:

Rainer Schlepphorst

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (FH), Fachbereich für Wald

Alfred-Möller-Str. 1

16225 Eberswalde

E-Mail: rschlepphorst@hnee.de

Anlage von Mutterquartieren der Pappelsorten 'Matrix 49', 'Matrix 24' und 'Matrix 11' als Unterstützungsleistung für die Forstliche Saatgutstelle Hessen (Staatl. Samendarre Wolfgang)

Wolfgang Hüller

Im Rahmen des Projekts FastWOOD ist die Unterstützung von Staatlichen Forstlichen Saatgutbetrieben beim Aufbau von Pappel-Mutterquartieren und die Beratung bei der Vermarktung der neu zugelassenen Pappel-Sorten eine wichtige Aufgabe. Sie dient einer breiten Markteinführung der bisherigen Züchtungsergebnisse und als Verfahrenstest für die Anlage weiterer Mutterquartiere nach einer zu erwartenden Zulassung neuer Pappelklone in ein paar Jahren.

Es galt die im Januar 2010 nach Forstvermehrungsgutgesetz (FoVG) als 'Geprüft' neu zugelassenen Pappelsorten 'Matrix 49', 'Matrix 24' und 'Matrix 11' in möglichst großer Stückzahl genetisch zu identifizieren und das somit gesicherte Material in Vorvermehrungsquartieren auf eine Menge zu vervielfältigen, die in möglichst kurzer Zeit die Verfügbarkeit dieser Sorten auf dem Markt gewährleistet.

Im Frühjahr 2011 konnten die ersten 4 ha Mutterquartiere der Sorten 'Matrix 49' und 'Matrix 24' angelegt werden. Im Frühjahr 2012 sollen die Flächen erweitert werden.

Zum Frühjahr 2012 sind die ersten 500.000 Matrix-Klone auf dem Markt verfügbar. Der Verkauf erfolgt unter dem Warenzeichen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, nwplus® und können über:

HESSEN-FORST

Forstamt Hanau-Wolfgang

Samendarre

Rodenbacher Chaussee 10 a

63457 Hanau

Tel.: 06181-95019-0

Fax: 06181-95019-40

E-Mail: SamendarreWolfgang@forst.hessen.de

vorbestellt werden.

Stichworte: Kurzumtrieb, *Populus*, Mutterklonquartiere Matrix-Klone, Geprüftes Vermehrungsgut, nwplus

Korrespondierender Autor:

Wolfgang Hüller
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Straße 6
34346 Hann. Münden
E-Mail: waldgenressourcen@nw-fva.de
URL: www.nw-fva.de, www.fastwood.de

Verbundvorhaben ProLoc – Erfassung und Modellierung von Klon-Standort-Wechselwirkung bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten

Christian Siebert, Martin Hofmann und Daniel Amthauer Gallardo

Das standortsbezogene Ertragspotential von Pappeln und Weiden auf landwirtschaftlichen Standorten kann derzeit noch nicht mit hinreichender Genauigkeit abgeschätzt werden. Durch das über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. geförderte Verbundvorhaben ProLoc sollen daher Klon-Standort-Wechselwirkungen auf unterschiedlichen Standorten identifiziert werden. Schließlich wird für den Anwender ein einfaches öffentlich im Internet zugängliches Programm zur Ertragsprognose entwickelt, das abgesicherte Prognosen zur Ertragsfähigkeit eines Klones auf einem speziellen Standort ermöglicht.

Im Rahmen des Projektes wurden bundesweit im Frühjahr 2008 insgesamt 35 Versuchsstandorte nach einheitlichem Maßstab angelegt, die von 22 Institutionen aus der landwirtschaftlichen und forstlichen Forschung vor Ort betreut werden. Auf den Versuchsstandorten wurden jeweils die drei Pappelklone Max 1, Hybride 275 und AF 2 sowie die beiden Weidenklone Tordis und Inger in vierfacher Wiederholung in einem Verband von 1,8 x 0,5 m gepflanzt. Nach dreijähriger Umtriebszeit erfolgte im Winter 2010/2011 die erste Beerntung der Versuchsstandorte, die sich nunmehr in der zweiten Rotation befinden.

Auf den einzelnen Versuchsstandorten fanden verschiedenartige bodenkundliche Untersuchungen in zwei Tiefen (0-30 cm, 31-60 cm) und Datenaufnahmen statt. Bodenkundlich wurden organischer C, Gesamt N, pH, Textur, Lagerungsdichte und nutzbare Feldkapazität untersucht. Darüber hinaus wurde die Humusdynamik der Standorte erfasst. Bei den jährlichen Aufnahmen wurden Durchmesser (in 1,3 m und 0,1 m Höhe), Höhe, Begleitvegetation und Vitalitätsparameter, wie Rostpilzbefall und weitere biotische/abiotische Schäden erfasst.

Mithilfe der erhobenen Daten konnte per multipler Regressionsanalyse unter Berücksichtigung der Klima- und Bodenparameter ein Ertragsmodell entwickelt werden.

Stichworte: Pappel, Weide, Klon-Standort-Wechselwirkungen, Ertragsmodellierung

Korrespondierender Autor:

Christian Siebert

Kompetenzzentrum HessenRohstoffe e.V.

Am Sande 20

37213 Witzenhausen

E-Mail: c.siebert@hero-hessen.de

URL: <http://www.hero-hessen.de>

Ergebnisse zur Erfassung und Modellierung der Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten

Daniel Amthauer Gallardo, Martin Hofmann, Christian Siebert und Heinz Röbke

Beim Anbau von schnell wachsenden Gehölzen sind gesicherte Ertragsprognosen von großer Bedeutung. Im Rahmen des FNR-Verbundvorhabens ProLoc sind 35 Versuchsflächen mit jeweils drei Pappel- und zwei Weidensorten angelegt worden. Das Projektziel ist die Entwicklung standortsbasierter Ertragsmodelle.

Nach der dritten Wuchperiode wurden durchschnittliche Gesamtzuwächse (dGZ) über alle Standorte und Klone hinweg zwischen 0,1 und 11,5 t_(atro) je Hektar und Jahr registriert. Die Bestandeshöhen schwankten dabei zwischen 1,0 und 9,3 m. Zu den leistungsstärksten Standorten gehörten die Lössböden. Auf diesen Standorten wurden die genannten maximalen Höhen und dGZ-Werte erreicht. Weitere Böden, die Spitzenleistungen aufwiesen, waren anlehmgige und lehmige Sande. Während diese Böden bei Ackerkulturen normalerweise nur mittlere Ertragsleistungen erwarten lassen, konnten sie bei Pappel und Weide ähnliche Zuwächse wie auf Lössböden hervorbringen. Schwere, tonige Böden wiesen trotz allgemein guter Wasserführung mittlere dGZ-Werte zwischen 1,0 und 5,0 t_(atro) je Hektar und Jahr auf. Sandige Böden mit schlechter Wasserverfügbarkeit zeigten die niedrigsten Wachstumsraten. Hier wurden nach dem dritten Wuchsjahr maximale Höhen von nur 2,0 m erreicht mit dGZ-Werten von höchstens 2,0 t_(atro) je Hektar und Jahr. Die ertragsstärksten Sorten waren über alle Standorte hinweg gesehen Max 1, AF 2 und Tordis. Bei der Dimensionsentwicklung konnte beobachtet werden, dass AF 2 trotz ähnlich bleibenden Gewichtszuwachses signifikant größere Dimensionen aufwies. Dies konnte anhand ihrer geringeren Rohdichte (305 kg je m³) erklärt werden.

Die Modellierung wurde zunächst für die Klone Max 1 und Tordis vorgenommen. Als Zielgröße wurde der dGZ in t_{(atro)*} je Hektar und Jahr am Ende der ersten dreijährigen Rotation gewählt. Die Modellierung erfolgte mittels multipler linearer Regression sowie nichtlinearer Anpassungsmethoden. Die über alle Standorte hinweg errechneten Modelle wiesen geringe korrigierte Bestimmtheitsmaße (R²_{korrr}) auf. Diese betrugen 0,50 bei Max 1 sowie 0,26 bei Tordis. Dabei waren die verwendeten Prädiktoren nutzbare Feldkapazität (nFK) bei Max 1 sowie nFK und Bodenzustandsstufe bei Tordis. Eine Erhöhung der Modellgüte konnte durch das

Clustern der Standorte nach der Hauptbodenart erzielt werden. Es wurden zwei Cluster gebildet, wobei das erste die Hauptbodenart Sand beinhaltete und das zweite die Hauptbodenarten Schluff, Lehm und Ton. Bei der Hauptbodenart Sand waren bodenphysikalische und klimatische Kenngrößen ertragsbestimmend. Das bei der Weide ermittelte Modell basiert auf den Variablen durchschnittlicher prozentualer Sandgehalt, Temperatursumme der Monate Juli und August ($T_{7,8}$) sowie dem Quotienten von nutzbarer Feldkapazität (nFK) und Luftkapazität (LK). Das R^2_{kor} des Tordis-Modells beträgt 0,96. Das Max 1-Modell verwendete die Variablen nFK/LK und $T_{7,8}$ (R^2_{kor} 0,94). Beim zweiten Cluster waren ausschließlich Bodenkennwerte ertragsbestimmend. Nach multipler Regression stellte sich die nFK als Hauptvariable der Modelle dar. Das Max 1-Modell erzielte bei sigmoidaler Anpassung (nicht linear) ein R^2_{kor} von 0,77. Bei Tordis zeigte die logarithmische Anpassung ein Bestimmtheitsmaß von 0,85.

Stichworte: Pappel, Weide, Ertragsmodellierung, Multiple Regression, Bodenphysik, KUP

Korrespondierender Autor:

Daniel Amthauer Gallardo
Kompetenzzentrum HessenRohstoffe e.V.
Am Sande 20
37213 Witzzenhausen
E-Mail: d.amthauer@hero-hessen.de
<http://www.hero-hessen.de/>

Frühselektionskriterium „Zuwachsleistung von Sämlingen“ auf dem Prüfstand

Christoph Briebach, Hubert Merkel, Wolfgang Hüller und Karl Gebhardt

Der Zuwachs als Massenleistung ist ein hochrangiges Ziel bei der Züchtung schnellwachsender Pappeln. Der Züchtungsweg kann sich verkürzen, wenn ein linearer Zusammenhang zwischen der erreichten Leistung im Saatbeet und auf ein- bzw. zweijähriger Adventivwurzel besteht. Die Überprüfung dieses Zusammenhangs erfolgte mittels eines Vergleiches von Korrelationen der Massenleistung in den untersuchten Entwicklungsstadien. Die Massenleistung wurde mit Hilfe einer Volumenfunktion (MERKEL et al., Posterbeitrag, in diesem Band S. 366) berechnet, die das Volumen der verholzten Aufwüchse (ohne Blätter) jedes Individuums aus den gemessenen Höhen ableitet. Es wurden Korrelationen (nach Pearson) zwischen den Volumenleistungen als auch Korrelationen zwischen den erreichten Rängen der Volumina der Aufwüchse im Saatbeet sowie den verklonten Aufwüchsen auf ein- und zweijähriger Wurzel errechnet.

Die selektierten und verklonten Sämlinge auf zweijähriger Adventivwurzel erreichten in einer Vegetationsperiode im Jahr 2010 mittlere Wuchshöhen von 1,6 bis 4,5 m. Die Volumenleistungen auf ein- und zweijähriger Adventivwurzel korrelierten relativ eng ($r = 0,76$) und es erklärt sich 58 % der Streuung auf zweijähriger durch das erreichte Volumen auf einjähriger Wurzel ($R^2 = 0,58$). Die Korrelationen der Volumina unterschieden sich in allen Fällen unwesentlich im Vergleich zur Korrelation der Ränge (nach Pearson).

Ein enger linearer Zusammenhang und damit die Möglichkeit einer einfachen Prognose der Volumenleistung des selektierten und verklonten Sämlings auf ein- oder zweijähriger Adventivwurzel besteht weder nach der ersten ($R^2=0,158$) noch nach der zweiten Selektion ($R^2=0,153$) auf Wüchsigkeit. Die Volumenleistung des Sämlings (Ortets) steht generell in keinem engen Zusammenhang zur Volumenleistung des entsprechenden Ramets.

Stichworte: Pappel, Neuzüchtung, Zuwachs, Ortets, Ramets

Korrespondierender Autor:

Dr. Karl Gebhardt
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Straße 6
34346 Hann. Münden
E-Mail: karl.gebhardt@nw-fva.de
URL: www.nw-fva.de

Eine einparametrische Volumenfunktion zur Bestimmung der Zuwachsleistung von ein- und zweijährigen Pappelaufwüchsen

Hubert Merkel, Christoph Briebach, Wolfgang Hüller und Karl Gebhardt

Aufgrund ihres Vermögens zum Stockausschlag bilden Stecklinge von Pappeln im ersten und zweiten Jahr auf einer Adventivwurzel verholzte Triebe in unterschiedlicher Anzahl und Länge. Daraus resultiert eine klonspezifische Volumenleistung, die zum Erntezeitpunkt (im Winter, ohne Blätter) mit möglichst geringem Messaufwand erfasst werden soll.

Aus dem Kollektiv einer von BRIEBACH et al. beschriebenen Untersuchung (in diesem Band S. 364) wurden zufällig je 50 Aufwüchse auf ein- und zweijährigen Adventivwurzeln ausgewählt. Von diesen Pflanzen wurden die Höhe, der BHD (bei den zweijährigen), der Durchmesser in einer Höhe von 100 cm (bei den einjährigen), sowie die mittleren Durchmesser von jeweils 20 cm langen Sektionen ermittelt. Dabei wurde bei der Höhe auf cm, bei den Durchmessern auf mm gerundet. Aus den Sektionsdaten wurde mit Hilfe der HUBERSchen Formel (KRAMER u. AKCA 1995) durch Aufsummieren der Sektionsvolumina das „wahre“ Volumen der einzelnen Aufwüchse errechnet. Zwischen Höhe (h), Durchmesser und Volumen wurden getrennt und gemeinsam nichtlineare Regressionen berechnet.

Alle durchgeführten Regressionsanalysen zeichnen sich durch hohe Korrelationskoeffizienten ($R \geq 0,9$) aus. Für das Vorhaben fand der Zusammenhang zwischen Höhe und Volumen, ermittelt aus dem Gesamtkollektiv der 100 Aufwüchse und ausgeglichen durch eine Potenzfunktion, Verwendung.

Bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,96 erklärt die Funktion

$$V = 0,00008 \cdot h^{2,7076}$$

92 % der Varianz der Volumina. Der Verlauf dieser Ausgleichskurve deckt sich bis zu einer Höhe von 350 cm weitgehend mit denen der beiden Teilkollektive.

Bei der Regression zwischen Durchmesser und Volumen liefert ein Polynom 2. Grades den besten Ausgleich ($R = 0,99$), was sich zwanglos durch die Eigenschaften der Volumenformel erklären lässt.

Stichworte: Pappel, Neuzüchtung, Zuwachs, Volumen

Literatur

KRAMER, H. u. AKCA, A. (1995): Leitfaden zur Waldmeßlehre. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main. 266 S.

Korrespondierender Autor:

Prof. Dr. Hubert Merkel
HAWK, Fakultät für Ressourcenmanagement
Büsgenweg 1A
37077 Göttingen
Email: hubert.merkel@hawk-hhg.de

Von der Kreuzung zur Versuchsflächenanlage: Vorprüfungen zur Selektion der aussichtsreichsten Klone für die Feldversuche

Wolfgang Hüller

Im Rahmen des Projekts FastWOOD ist die Züchtung und Prüfung neuer Pappelsorten für den Kurzumtrieb eine zentrale Aufgabe. In den zurückliegenden letzten 5 Jahren sind bei der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt jedes Frühjahr zahlreiche Kreuzungen erfolgversprechender Eltern, vor allem der Arten *P. nigra*, *P. deltoides*, *P. trichocarpa* und *P. maximowiczii* durchgeführt worden. Aus den vielen tausend Nachkommen, die daraus entstanden, werden in der Regel bis zu 300 Sämlinge pro erfolgreicher Kreuzung in die Saatbeetkästen gepflanzt.

Zwei Jahre lang erfolgten Aufnahmen der Wuchsparameter, Rostbonituren und anschließend die Verklonung der vitalsten Nachkommen der meisten Kreuzungen. Es wurden die ca. 400-500 besten Klone mit jeweils bis zu 15 Stechhölzer im Weserkamp (Reinhardshagen, Ortsteil Vaake, Hessen) abgesteckt.

Nach einem Jahr im Kamp wurden wiederum Wuchsleistung, Resistenz und zusätzlich die Bewurzelungseigenschaft geprüft. Alle Pflanzen wurden zurückgeschnitten und ca. 50-100 der besten Klone zur Vermehrung abgesteckt.

Im vierten Jahr erfolgte zusätzlich noch eine Bewertung der Wiederaustriebsfähigkeit nach dem Rückschnitt.

Vier Jahre nach der Kreuzung stehen durch Selektion und Vermehrung 20-40 Klone in genügend großer Individuenzahl zur Verfügung um neue Versuchsflächen zur Sortenprüfung anzulegen.

Stichworte: Kurzumtrieb, *Populus*, Vorprüfung, Selektion, Biomasseleistung, Versuchsflächen

Korrespondierender Autor:

Wolfgang Hüller
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Straße 6
34346 Hann. Münden
E-Mail: waldgenressourcen@nw-fva.de
URL: www.nw-fva.de, www.fastwood.de

Erste vorläufige Entwicklungstendenzen auf der Feldversuchsfläche zur Sortenprüfung in Stölzingen (Nordhessen)

Wolfgang Hüller

Im Rahmen des Projekts FastWOOD ist die Anlage von Sortenprüfungen mit dem Ziel der Zulassung neuer Pappelsorten für den Kurzumtrieb eine zentrale Aufgabe. Die Fläche in Stölzingen ist eine von sechs im Frühjahr 2010 bundesweit parallel angelegten Sortenversuchen, die in einigen Jahren zur Zulassung neuer Sorten führen soll. 2011 sind vier weitere Flächen mit neuen Prüfgliedern hinzugekommen.

Auf der Versuchsfläche in Stölzingen werden 36 Pappelklone vor allem der Arten *P. nigra*, *P. deltoides*, *P. trichocarpa* und *P. maximowiczii* sowie deren Hybriden geprüft.

Nach einer Aufnahme im Winter 2010/2011 sowie einer weiteren im August 2011 lassen sich erste Tendenzen erkennen, die aber nur mit viel Vorsicht auf die in Zukunft zu erwartenden Ergebnisse schließen lassen.

Bei sehr vorsichtiger Schätzung ist von einer überdurchschnittlichen Wachstumsleistung einiger neuer Pappelsorten auszugehen. Aussage die den einzelnen Klon betreffen können noch nicht gemacht werden, da hier noch mit erheblichen Umsetzungsprozessen zu rechnen ist.

Stichworte: Kurzumtrieb, *Populus*, Klonprüfung, Sortenprüfung, Biomasseleistung, Versuchsflächen

Korrespondierender Autor:

Wolfgang Hüller
Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Waldgenressourcen
Prof.-Oelkers-Straße 6
34346 Hann. Münden
E-Mail: waldgenressourcen@nw-fva.de
URL: www.nw-fva.de, www.fastwood.de

Prüfung von Pappelklonen aus einem alten Sortiment auf Anbaueignung für Energieholzplantagen

Volker Schneck

Im Rahmen des Projekts FastWOOD bestand eine Aufgabe darin Pappelklone, die bereits in Sammlungen vorhanden waren, auf ihre Eignung für den Anbau in Kurzumtriebsplantagen zu prüfen. 1994/95 wurden vom Institut aus einer in Eberswalde aufgegebenen Sammlung 230 Klone verschiedener Pappelarten und Hybriden übernommen und in einem Mutterquartier ausgepflanzt. Diese Klone waren über den Austausch zwischen verschiedenen europäischen Institutionen, die sich mit Pappelzüchtung befassen, vor allem in den 1960er Jahren nach Eberswalde gekommen. Darüber hinaus wurden einige Klone auch in Anpflanzungen selektiert und anhand morphologischer Merkmale die Artzugehörigkeit bestimmt. Nur wenige dieser Klone wurden seinerzeit in Prüfungen angebaut. Bei der Untersuchung der Klone im Mutterquartier mittels molekularer Marker wurde eine Anzahl von identischen Klonen identifiziert. Dadurch und durch einige Totalausfälle beträgt die aktuelle Klonzahl ca. 175.

Zwischen 2004 und 2009 wurden im Waldsiefersdorfer Mutterquartier Wachstumsparameter an den jeweils einjährigen Aufwüchsen aufgenommen und der Rostbefall bonitiert. Im Ergebnis dieser Aufnahmen konnten ca. 30 Klone der Sektionen *Tacamahaca* und *Aigeiros* (einschließlich Hybriden) selektiert werden, die für eine intensivere Prüfung auf Versuchsflächen in Frage kommen. Bis Ende 2010 wurden mit diesen Klonen sechs Versuchsflächen angelegt. Diese Versuchsflächen wurden sowohl mit Steckhölzern als auch mit einjährigen Pflanzen (bewurzelte Steckhölzer) angelegt. Der älteste Versuch, eine Fläche mit 18 Klonen, wurde bereits zweimal nach dreijähriger Vegetationszeit beerntet.

Aufgrund der noch kurzen Versuchsdauer sind jedoch keine gesicherten Aussagen über die Leistungsfähigkeit und Anbaueignung der geprüften Klone möglich. Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung einjähriger Pflanzen (bewurzelte Steckhölzer) deutlich bessere Anwuchsergebnisse und auch eine bessere Entwicklung der Pflanzen bedingt als die Verwendung von unbewurzelten Steckhölzern.

Obwohl die in den Prüfungen verwendeten Klone aufgrund ihrer Wuchsleistung im Mutterquartier ausgewählt wurden, sind auf den einzelnen Versuchsflächen deutliche Unterschiede zwischen den Klonen zu beobachten. Regelmäßig hohe Biomasseleistung erreichen der Klon NE 42 (= Hybride 275) sowie ein Klon aus der Hybridgruppe *Populus deltoides* × *P. maximowiczii*. Dieser Klon hat bisher

auch keinerlei Anfälligkeit gegenüber Pappelrost gezeigt. Allerdings ist seine Bewurzelungsfähigkeit als Steckholz schlechter als bei vielen anderen Klonen.

Auch einige der reinen *P. trichocarpa*-Klone erreichen gute Wuchsleistungen. Allerdings werden diese Klone wie auch NE 42 mittel stark von Rost befallen.

Ein weiterer pilzlicher Schaderreger, der besonders bei der vegetativen Vermehrung in der Baumschule in Erscheinung trat, war *Venturia populina* (anamorphe Form *Pollaccia elegans*). Die Schäden äußern sich in Form von Blattnekrosen und dunkelbraunen Verfärbungen des Blattes. Darüber hinaus kann es auch zum Absterben unverholzter Triebe, die sich meistens hakenförmig krümmen, kommen. Es existieren deutliche Unterschiede im Befall zwischen den Klonen. Vor allem einige reine *P. trichocarpa*-Klone werden stark befallen.

Die bisher vorläufigen Ergebnisse deuten an, dass einige der im Waldsiedersdorfer Mutterquartier vorhandenen älteren Klone durchaus für den Anbau in Kurzumtriebspflanzungen geeignet sind.

Stichworte: Kurzumtrieb, *Populus*, *Venturia populina*, Klonprüfung, *Melampsora*, Biomasseleistung

Korrespondierender Autor:

Volker Schneck

vTI – Institut für Forstgenetik

Eberswalder Chaussee 3a

15377 Waldsiedersdorf

E-Mail: volker.schneck@vti.bund.de

URL: www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html

Chlorophyllfluoreszenz als Diagnosetool zur Quantifizierung von photosynthetischen Leistungsparametern bei Pappeln und Weiden

Daniel Weber und Steffen Febrenz

Mit herkömmlichen Methoden lassen sich physiologische und anatomische Eigenschaften, die für die Biomasseproduktion von Gehölzen wie *Salix* und *Populus* im Kurzumtrieb wichtig sind, erst nach mehrjährigen Feldprüfungen ermitteln. Die Neuzüchtung von auf ihre Wuchsleistung optimierten Gehölzsorten erfordert dagegen effiziente Bewertungsmethoden, in denen frühzeitig auch neu entstandene Züchtungsprodukte auf ihr Verwertungspotential überprüft werden können. Mit einer modernen nichtdestruktiven Methode ist es möglich das physiologische Potential, anhand der Effizienz der Photosynthese-Systeme auch für einjährige Kreuzungsprodukte zu ermitteln.

Die Detektion der von den photosynthetischen Reaktionszentren emittierten Chlorophyllfluoreszenz erlaubt einen sehr fundierten Einblick in die Leistungsfähigkeit der für den Aufbau von Biomasse notwendigen Kohlenstofffixierung durch Photosynthese ohne die Blätter während der Messung zu zerstören. Dabei können auch durch Nährstoff- oder Wassermangel entstandene Störstellen in der Photosynthesekette sowie die Kompensationsmaßnahmen der Pflanze identifiziert und quantifiziert werden. Eine Überarbeitung des Messprinzips ermöglicht es seit wenigen Jahren, durch eine einsekündige Messung etwa 30 verschiedene Parameter zu erfassen. Diese verbesserte Methodik wurde bereits erfolgreich in Feldstudien zur Ermittlung von Stressparametern und photosynthetischen Leistungsparametern bei Pappeln und Weiden eingesetzt (POLLASTRINI et al. 2010, BUSSOTTI et al. 2007, ALBERT et al. 2010).

Im Juli und August 2011 wurden erste vielversprechende Messreihen auf einer bestehenden Pappel-Prüffläche des FastWOOD Projektes in Stölzingen, sowie einer Weidenprüffläche mit alten Sorten (Ballertasche) durchgeführt. Die inzwischen aus einer Vielzahl von Einzelmessungen innerhalb kürzester Zeit gewonnenen Ergebnisse belegen, dass mit Hilfe der oben beschriebenen Messmethode sehr genau das Leistungspotenzial der einzelnen Sorten statistisch signifikant quantifiziert werden kann. Es konnten dadurch bereits potentielle Leistungsträger anhand von mehreren Leistungsparametern, wie zum Beispiel dem erst seit etwa einem Jahr berechenbaren Performance Index $PI_{(TOT)}$ (STRASSER et al. 2010) identifiziert werden. Diese Parameter korrelieren mit dem von der NW-FVA ermittelten Biomassezuwachs der entsprechenden Prüfflächen. Es konnte auch eindeutig gezeigt werden, weshalb einige Sorten eine höhere Performance als

andere aufweisen. So konnte beispielsweise bei schwächer wachsenden Sorten ein deutlich höherer Energieverlust durch Wärmeabstrahlung detektiert werden (angezeigt durch die Parameter $DI_{(ABS)}$ und $DI_{(RC)}$) Energie, die dadurch nicht für die Kohlenstofffixierung und dem Biomasseaufbau zur Verfügung steht. Durch eine Gewichtung der gemessenen Parameter über Verrechnung der zusätzlich ermittelten Blattflächen, konnte eine noch eindeutigere Korrelation der verschiedenen Chlorophyllfluoreszenz-Parameter mit dem Zuwachs der Biomasse erzielt werden (siehe Posterbeitrag FEHRENZ u. WEBER, in diesem Band S. 425).

Stichworte: Chlorophyllfluoreszenz, *Salix*, *Populus*, Performance Index, Leistungsparameter, Kohlenstofffixierung, Biomasse, Diagnose

Literatur

- POLLASTRINI, M.; DESOTGIU, R.; CASCIO, C.; BUSSOTTI, F.; CHERUBINI, P.; SAURER, M.; GEROSA, G. u. MARZUOLI, R. (2010): Growth and physiological responses to ozone and mild drought stress of tree species with different ecological requirements. *Trees - Structure and Function* 24 (4), 695-704
- BUSSOTTI, F.; DESOTGIU, R.; CASCIO, C.; STRASSER, R. J.; GEROSA, G. u. MARZUOLI, R. (2007): Photosynthesis responses to ozone in young trees of three species with different sensitivities, in a 2-year open-top chamber experiment (Curno, Italy). *Physiologia Plantarum*, 130 (1), 1399-3054
- ALBERT, K. R. ; TEIS N. MIKKELSEN, T.N., RO-POULSEN, H., ARNDAL, M.F. u. MICHELSEN, A. (2011) Ambient UV-B radiation reduces PSII performance and net photosynthesis in high Arctic *Salix arctica*. *Environmental and Experimental Botany*, 72 (3), 439-447
- STRASSER, R.J., TSIMILLI-MICHAEL, M., QIANG, S. u. GOLTSEV, V. (2010): Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochimica et Biophysica Acta* 1797, 1313-1326

Korrespondierender Autor:

Daniel Weber

Daniel-Weber-Biomonitoring,

Heinrich-Hoffmann-Str. 5,

60528 Frankfurt am Main

E-Mail: daniel-weber-biomonitoring@email.de

Molekulare Charakterisierung von Sorten und Klonen – Methoden zur Verbesserung der Zusammenarbeit verschiedener Labore

Pascal Eusemann, Steffen Fehrenz, Hilke Schröder, Birgit Ziegenhagen und Ronald Bialozyt

Die morphologische Unterscheidung von Sorten und Klonen bei Bäumen ist schwierig. Gerade in der Zucht langlebiger Baumarten aber, die in Klonsammlungen Jahrzehnte überdauern können, ist es von großem Interesse, die Zugehörigkeit eines Baumes zu einer bestimmten Sorte auch nachträglich sicher belegen zu können. Große Hoffnung wurde hierbei in den genetischen Fingerabdruck gesetzt. Leider ist die Vergleichbarkeit der so ermittelten Genotypen zwischen Laboren limitiert. Versuche, die Vergleichbarkeit durch allelische Leitern zu verbessern, verliefen wenig befriedigend. Im Rahmen eines Ringversuches wurde daher untersucht, inwieweit die Ergebnisse verschiedener Labore mithilfe softwaregestützter Methoden verglichen werden können. Hierzu wurde die Software „Allelogram“ verwendet, die vom Sequenzierer gelieferte Fragmentlängen analysiert und in Allelklassen (Bins) sortiert. Eine Besonderheit des Programms ist die Möglichkeit, Standardproben zu definieren, die genutzt werden können um Genotypen zu normalisieren. Hierbei werden Fragmentlängen, die auf verschiedenen Sequenzierern ermittelt wurden und sich daher gerätebedingt unterscheiden, einander automatisch angeglichen. Die Normalisierung ist wichtig, um echte Allele von technisch bedingten Unterschieden trennen zu können.

Untersucht wurde ein Probensatz von 48 Pflanzen. Dieser bestand aus 10 von der NW-FVA bereitgestellten Pappel-Standardklonen und 38 Proben von *Populus nigra*, *P. deltoides* und *P. x canadensis*. Alle Proben wurden an je sechs Mikrosatelliten-Loci untersucht: WPMS 09, 14, 18, 20 und PMGC 14, 2163. Der gesamte Probensatz wurde an der Universität Marburg in zwei separaten PCRs amplifiziert. Jede dieser PCRs wurde zweimal getrennt auf dem Sequenzierer des Institutes analysiert. Die PCR-Produkte der ersten PCR wurden zusätzlich auf dem Sequenzierer des vTI in Großhansdorf untersucht. 40 Proben des Gesamtprobensatzes wurden in der NW-FVA in Hann. Münden in einer dritten PCR amplifiziert und auf dem dortigen Sequenzierer analysiert. Dieses Vorgehen ermöglichte es, die Ergebnisse verschiedener Labore, Bearbeiter und Geräte direkt miteinander zu vergleichen. Die erhaltenen Genotypen wurden in „Allelogram“ eingelesen und mithilfe der Standardklone normalisiert. Die normalisierten Daten wurden für die Definition von Allelklassen verwendet und anschließend jedes Fragment einer Allelklasse zugeordnet (Binning). Beim Vergleich der resultierenden Genotypen wurden

Genotypisierungs- und Binningfehler unterschieden. Als Genotypisierungsfehler wurde gewertet, wenn eine identische Probe einmal als homo- und einmal als heterozygot analysiert wurde oder zwei als identisch bekannte Allele Bins zugeordnet wurden, die mehr als eine Motivlänge Abstand voneinander aufwiesen. Als Binningfehler wurde betrachtet, wenn als identisch bekannte Allele unterschiedlichen, aber direkt benachbarten Bins zugeordnet wurden.

Insgesamt konnten bei den sechs getrennten Analysen der sechs Loci 3058 Allele erfasst werden. Unter diesen wurden 129 Fälle entdeckt, in denen sich Allellängen zwischen verschiedenen Läufen unterschieden. 94 dieser Fälle wurden als Genotypisierungsfehler erkannt. Die restlichen 35 Fälle wurden als echte Binningfehler gewertet. Der Vergleich der vier Analysen innerhalb des Marburger Labors enthielt 8 Genotypisierungsfehler und einen Binningfehler unter 2130 erfassten Allelen. Daraus ergibt sich eine Gesamtfehlerrate pro Allel von 4,20 %. Diese teilt sich auf in einen Genotypisierungsfehler von 3,10 % und einen Binningfehler von 1,10 %. Der Vergleich der Analysen eines einzigen Labors ergibt einen Gesamtfehler von 0,42 %, einen Genotypisierungsfehler von 0,37 % und einen Binningfehler von 0,05 %. Damit liegt die Fehlerrate verschiedener Labore im Bereich anderer Studien. Innerhalb desselben Labors liegt der Fehler weit unterhalb der üblicherweise bestimmten Fehlerraten.

Es kann daher eine klare Empfehlung für die Verwendung der Software „Allelogram“ für alle Genotypisierungsprojekte ausgesprochen werden. Für die Vergleichbarkeit von Genotypen, die in verschiedenen Laboren und auf unterschiedlichen Geräten produziert wurden, ist eine Software mit Normalisierungsfunktion von grundlegender Bedeutung. Es konnte gezeigt werden, dass die Software in der Lage ist, Daten unterschiedlicher Herkunft konsistent zu kategorisieren und dabei den Fehler in akzeptablen Grenzen zu halten. Innerhalb desselben Institutes verwendet, reduziert das Programm die Fehlerrate gegenüber klassischen Auswertemethoden merklich und eignet sich damit auch für Projekte, die keine Beteiligung unterschiedlicher Labore erfordern.

Stichworte: Allelklassen, Allelische Leitern, Binning, Genotypisierung, Mikrosatelliten, Standardklone

Korrespondierender Autor:

Dr. Pascal Eusemann
Philipps-Universität Marburg
FB Biologie – AG Naturschutzbiologie
Karl-von-Frisch-Straße 8, 35032 Marburg
E-Mail: pascal.eusemann@biologie.uni-marburg.de

Entwicklung und Nutzung neuartiger genetischer Technologien zur Erhöhung von Biomasseerträgen in *Populus spec.* (PopMass)

Matthias Fladung

Die Sicherung und Steigerung von Ertrag und Qualität pflanzlicher Rohstoffe sowie Nachhaltigkeit in der Pflanzenproduktion erfordern neue Ansätze in Forschung und Züchtung. Das geplante BMBF-Projekt „PopMass“ stellt ein geplantes nationales Kooperationsprojekt mit fünf wissenschaftlichen und drei Industriepartnern dar, das ab Januar 2012 Ergebnisse aus wissenschaftlicher Grundlagenforschung für die Erzeugung von qualitativ optimierten Pappeln mit erhöhtem Holzertrag, modifiziertem Ligningehalt und optimierter Pflanzenarchitektur nutzen möchte.

Bäume mit einer erhöhten Biomasseproduktion sind von hohem wirtschaftlichem Interesse, da diese als Ausgangsmaterial für die direkte Erzeugung von Energie oder für die Gewinnung von Biopolymeren für industrielle Anwendungen dienen. Es sollen verschiedene Kandidatengene eingesetzt werden, die eine Modifikation der vegetativen Wachstumskapazität, der vaskulären Kambiumaktivität oder der Zusammensetzung der sekundären Zellwand erlauben und in der Konsequenz höhere Biomasseleistungen bedingen.

Als Ansatz ist eine Überexpression bzw. Herunterregulierung dieser Gene geplant. Die erzeugten transgenen Pappeln sollen in Bezug auf die Ausbeute an Biomasse, Eigenschaftsmerkmale des Holzes sowie der Baum-Architektur analysiert werden. Ausgewählte Linien sollen im Gewächshaus und ggf. im Feld getestet werden. Ein möglicher „cisgen-Ansatz“ soll vorbereitet werden.

Stichworte: Pappel, Biomasse, Holzeigenschaften, Lignin

Korrespondierender Autor:

Dr. habil. Matthias Fladung

Johann Heinrich von Thünen Institut, Institut für Forstgenetik

Sieker Landstr. 2

22927 Großhansdorf

E-Mail: matthias.fladung@vti.bund.de

URL: <http://www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html>

DNA Mikrosatelliten: Mehrzweck-Marker in der *Salix*-Züchtung und Plantagenwirtschaft

Birgit Ziegenhagen, Steffen Febrenz, Ilona Leyer, Eva Mosner, Sascha Liepelt, Ronald Bialozyt, Jorge Bozzi, Paula Marchelli, Leonardo Gallo, Karl Gebhardt und Christina Mengel

Der ökonomische Erfolg von Kurzumtriebsplantagen von Pappeln und Weiden hängt von Hochleistungsklonen ab, die über verschiedene Züchtungsstrategien erzeugt werden. Neben einer Auslese bestimmter gutwüchsiger Individuen aus einem Taxon, werden häufig Arthybride der ersten Generation zur Nutzung des Heterosis-Effektes auf die Plantagen gebracht. Um diesen Prozess möglichst effizient zu gestalten und um einem zu hohen Grad an Inkompatibilität von vorneherein zu begegnen, werden Kreuzungen häufig über offene Abblüte erzeugt. Die Verfahren sind ausgesprochen fehlerträchtig: Steckreiser können irrtümlich falsch gekennzeichnet werden oder richtig gekennzeichnete können einen falschen Pflanzplatz erhalten. Desweiteren können im Handel mit wertvollen Klonen vorsätzliche Täuschungen geschehen. Fazit: Methoden sind gefragt, die eine eindeutige Identifizierung von Klonen bzw. Taxa erlauben.

Wir präsentieren eine Auswahl an 18 Kern-DNA Mikrosatelliten-Markern, die ursprünglich in unterschiedlichen *Salix*-Arten entwickelt wurden (BAKKER et al. 2003, HANLEY u. KARP 2003, HOSHIKAWA et al. 2009). Nach einem umfassenden Screening in einer Weiden-Klonsammlung der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (Salicetum, Hannoversch-Münden) blieb dieses Set übrig, um Klone bestimmter Taxa eindeutig zu identifizieren. Ferner fanden sich diagnostische Allele zur Artansprache sowohl unter diesen 18 Kern-Mikrosatellitenorten als auch an bestimmten Chloroplasten DNA-Mikrosatellitenorten (HYSKI et al., unveröffentlicht). Diese Systeme erlauben damit die Bestimmung von Hybrideltern und in umgekehrter Richtung ebenfalls von Hybridnachkommen. Auch gelang es, in Verbindung mit der Software CERVUS 3.0 (Programm zur Elternschaftsanalyse, MARSHALL et al. 1998) Väter in Kreuzungspaaren zu identifizieren, in denen die Mutter bekannt war (offene Abblüte, siehe auch gemeinsamen Posterbeitrag mit KARL GEBHARDT et al.).

Damit ist der vielseitige Nutzen von Mikrosatelliten-Markern in der *Salix*-Züchtung und für ein „irrtumsfreies“ Betreiben von Plantagen für die in unserer Studie involvierten Klone bzw. Taxa belegt. In einer Aussicht stellen wir weitere Einsatzmöglichkeiten vor. Die Marker stehen nämlich nunmehr auch für zukünftige Genomkartierungen und QTL-Analysen in diesen Taxa zur Verfügung. Im Rahmen von ökologischer Begleitforschung können diese Marker auch für ein

Monitoring von introgressivem Genfluss in der Landschaft sowie für die Untersuchung der Effekte von genetischer Diversität auf assoziierte Organismen eingesetzt werden.

Stichworte: Weide, SSR Marker, Klonplantage, Hybride, Elternschaftsanalysen

Literatur

- BARKER, J.H.A.; PAHLICH, A.; TRYBUSH, S.; EDWARDS, K.J. u. KARP, A.. (2003): Microsatellite markers for diverse *Salix* species. - *Molecular Ecology Notes* 3(1), 4-6
- HANLEY, S. u. KARP, A. (2003): Improving willow breeding efficiency. - Rothamsted Research Station (PhD Thesis).
- HOSHIKAWA, T., KIKUCHI, S., NAGAMITSU, T. u. TOMARU, N. (2009): Eighteen microsatellite loci in *Salix arbutifolia* and cross-species amplification in *Salix* and *Populus* species. - *Permanent Genetic Resources Note*, 1202-1205
- MARSHALL, T.C.; SLATE, J.; KRUK, L.E.B. u. PEMBERTON, J.M. (1998): Statistical confidence for likelihood-based paternity inference in natural populations. *Molecular Ecology* 7, 639-655 doi: 10.1046/j.1365-294x.1998.00374.x

Korrespondierende Autorin:

Prof. Dr. habil. Birgit Ziegenhagen
Philipps-Universität Marburg
FB Biologie, Naturschutzbiologie
Karl-von-Frisch-Straße 8
35043 Marburg
E-Mail: Birgit.Ziegenhagen@biologie.uni-marburg.de

SNP – Diagnose züchtungsrelevanter Eigenschaften von Salicaceae

Karin Pfennig, Marion Hoffmann, Michael Brauer, Sascha Liepelt, Matthias Fladung und Karl Gebhardt

Molekulare Marker wie Mikrosatelliten (SSRs) und Einzelnukleotid-Polymorphismen (SNPs) bieten das Potenzial, die Effizienz der Gehölzzüchtung erheblich zu steigern. So können mit Hilfe von z. B. SNP-Markern Pappel- und Weidengenotypen hinsichtlich ihres Wachstums, ihrer lokalen Anpassung sowie die Eigenschaften ihres Holzes charakterisiert und anschließend züchterisch optimiert werden. Hierfür dienen die SNP-Marker zur Erkennung der natürlichen Variation in Genen, die diese Merkmalsausprägungen beeinflussen können, sowie zur Selektion geeigneter Genotypen für eine züchterische Anwendung (SMART-Breeding).

Die von uns ausgewählte Herangehensweise ist der sog. Kandidatengen-Ansatz. Dazu werden *a priori* Gene ausgewählt, die möglicherweise züchtungsrelevante Eigenschaften wie z. B. Trockentoleranz, Wund-/Krankheitsresistenz, vegetative Bewurzelbarkeit, Biomasseleistung, Lignifizierung usw. vermitteln können. Die Analyse der genetischen Variation erfolgt in Zuchtklonen verschiedener Pappel- und Weidenarten sowie in Weiden-Naturpopulationen (*Salix viminalis*).

Das Verbundprojekt wird von der dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) angegliederten Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) über drei Jahre gefördert (2010-2013) und beinhaltet die Zusammenarbeit der Projektpartner Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI) und Philipps-Universität Marburg. Die Ziele des Projektes sind (1) die Evaluierung der Nukleotiddiversität in Zuchtklonen und Hybriden, (2) der Aufbau einer SNP-Datenbank der Pappel für 20 Kandidaten-Gene, die an der Ausprägung züchtungsrelevanter Eigenschaften beteiligt sind, und (3) Assoziationsanalysen von SNPs und quantitativen Merkmalen.

Für genetische Untersuchungen wurden bisher 125 Klone der Pappel-Sektionen *Aigeiros*, *Tacamahaca* und *Populus* aus der Sammlung der NW-FVA, 24 Klone der Sektion *Populus* aus dem Institut für Forstgenetik des vTI sowie insgesamt 36 Individuen aus natürlichen Weidenpopulationen beprobt. Die Auswertung der ersten Ergebnisse für ein Fragment des *LEAFY*-Gens zeigt bereits auf, dass die reinen Pappelarten gegenüber der Datenbank-Referenzsequenz von *P. trichocarpa* (POPTR_U93196) und den Hybriden genetische Unterschiede aufweisen. Das *LEAFY*-Gen stellt ein Meristem-Identitätsgen dar und ist während der Pflanzenentwicklung am Übergang vom vegetativen zum Infloreszenzmeris-

tem beteiligt. Die Bedeutung der zwischen den Untersuchungsklonen gefundenen genetischen Unterschiede für das individuelle Wachstum und die Entwicklung ist noch unbekannt.

Stichworte: SMART-Breeding, SNP-Marker, Populus-Genotypen

Korrespondierende Autorin:

Karin Pfennig

Johann Heinrich von Thünen–Institut, Institut für Forstgenetik

Sieker Landstraße 2,

22927 Großhansdorf

E-Mail: karin.pfennig@vti.bund.de

URL: www.vti.bund.de

Ökologisches Potential heimischer Weiden und Hybriden für den Kurzumtrieb

Steffen Fehrenz und Karl Gebhardt

Die Gattung *Salix* umfasst weltweit bis zu 500 Arten mit einem Genzentrum in China. Das Verbreitungsgebiet erstreckt sich somit über eine gewaltige ökologische Amplitude von der arktischen Tundra über die gemäßigte Zone bis in die Tropen und von der Meeresküste bis in hochalpine Lagen. Die natürliche Verbreitung der Arten korreliert mit der artspezifischen Standortstoleranz. Die Gattung *Salix* ist in Deutschland mit mehr als 40 Arten die wohl artenreichste einheimische Gehölzgattung. Für den Kurzumtrieb eignen sich jedoch vorwiegend 10 baum- und strauchartig wachsende Arten. Ihre Raschwüchsigkeit, das Stockausschlagsvermögen, die hohe Frostresistenz sowie Überschwemmungstoleranz verschaffen Weiden an vielen Standorten Konkurrenzvorteile. Neben Vertretern reiner Arten existieren Arthybriden, Mehrfachhybriden und hybridogene Formenschwärme, die voll lebens- und konkurrenzfähig sind. Sie unterscheiden sich durch ihre klonale Vermehrbarkeit, die Fähigkeit zur Besiedelung marginaler Standorte, die Frosthärte, die Länge ihrer Vegetationsperiode und Photosyntheseleistung (Biomasseakkumulation), die Trockenheitstoleranz und durch ihre sexuelle Verträglichkeit (Kompatibilität). Die Einkreuzung spezieller Arten kann alle genannten Eigenschaften beeinflussen. Entsprechend kann auch eine Anpassung der Umtriebszeit erforderlich werden.

Stichworte: Weidenarten, *Salix* *ssp.*, Kreuzungsschema

Korrespondierender Autor:

Steffen Fehrenz

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Genressourcen

Prof.-Oelkers-Str. 6

34346 Hann. Münden

E-Mail: steffen.fehrenz@nw-fva.de

URL: www.weidenzuechtung.de

Mikrovermehrung von Weiden-Zuchtsorten

Ulla Frühwacht-Wilms, Hardy Dembny, Steffen Febrenz und Karl Gebhardt

Mikrovermehrung dient der schnellen Klonierung von Zuchtmaterial, da für Feldprüfungen schnellstmöglich Mutterpflanzen zur Stecklingsgewinnung produziert werden sollen, um neue Sorten bei Pflanzdichten von 13 bis 18.000 Stecklingen/ha prüfen zu können. Es wurden Methoden zur Etablierung und Vermehrung steriler Sprosskulturen entwickelt, die eine jahreszeitlich unabhängige, sortenreine Produktion bewurzelungsfähiger oder schon bewurzelter Pflanzen ermöglichen. In Zusammenarbeit mit einem kommerziellen Labor (Fa. Biotec, Baumschulen Oberdorla) wurde die Massenvermehrung einzelner Klone erprobt.

Der Zusatz von 0,1 % Aktivkohle zu einem modifizierten WPM-Medium (NAUJOKS u. LIESEBACH 2005) wirkte sich positiv auf die Sprossentwicklung sowohl in der Phase der Etablierung als auch bei der Vermehrung aus. Der Zusatz von Cytokinin hemmte das Wachstum der Sprosskulturen. Mit der schnell einsetzenden Wurzelbildung auf hormonfreiem Medium entwickelten sich gestreckte, gering verzweigte Sprosse, die an jeder Blattachsel segmentiert werden konnten. Die Vermehrungsraten entwickelten sich art- und klonspezifisch, sodass bei 10 verfügbaren Sprossspitzen mit den besten Klonen nach 3 monatlichen Subkultivierungen bis zu 1000 Sprosse produziert werden konnten. Bei schwieriger zu vermehrenden Klonen konnten im selben Zeitraum nur ca. 200 Pflanzen pro Klon vermehrt werden. Eine Überführung der sterilen Sprosse in Erde oder Schaumstoffsubstrat gelang unter Sprühnebel mit geringen Ausfallprozenten. Es bildet sich ein verzweigtes Wurzelsystem mit vielen Haarwurzeln. Neben der Klonierung adulter Sorten gelang auch die Klonierung von Sämlingen aus inter- oder intraspezifischer Kreuzung.

Stichworte: Mikrovermehrung, Züchtung, Weiden, *Salix ssp.*

Literatur

NAUJOKS, G. u. LIESEBACH, M., 2005: Vegetative propagation of difficult-to-root *Salix caprea* L. clones for pathogenicity tests. Poster at the Workshop: Alternative Plants for Sustainable Agriculture. 7-9 September 2005, Poznań, Poland

Korrespondierender Autor:

Dr. Karl Gebhardt

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Genressourcen

Prof.-Oelkers-Str. 6

34346 Hann. Münden

E-Mail: karl.gebhardt@nw-fva.de

Abstammung der Nachkommen einer frei abgeblühten *S. viminalis* des Salicetums Vaake

Karl Gebhardt, Christina Mengel, Steffen Febrenz und Birgit Ziegenhagen

Das Salicetum Vaake (Reinhardshagen, Hessen) dient seit 1969 als Klonarchiv für zuletzt 257 registrierte Klone von 42 Arten bzw. Hybriden. Durch freie Abblüte entstehen jährlich an zahlreichen weiblichen Pflanzen neue Genotypen, deren Abstammung durch eine Vaterschaftsanalyse mittels Mikrosatelliten-Markern geklärt werden kann. Dies wird exemplarisch mit 10 Nachkommen einer am Pflanzplatz S369 frei abgeblühten *S. viminalis* „NW8-700“ demonstriert.

Die Vertreter aller strauch- und baumartig wachsenden Arten bzw. Hybriden des Salicetums wurden von der AG Naturschutzbiologie des FB Biologie der Phillips-Universität Marburg an 11 Mikrosatelliten-Genorten genotypisiert. Die Suche nach potenziellen Vätern erfolgte mit dem Programm CERVUS 3.0. Dieses Programm basiert auf Simulationen, an deren Ende mögliche Väter entsprechend ihrer Wahrscheinlichkeiten gelistet werden.

Mit einer Wahrscheinlichkeit > 60 % fanden sich Vertreter der folgenden Arten bzw. Hybriden unter den Vätern: *S. × smithiana*, *S. alba*, *S. × salamoni*, *S. grandifolia* und *S. viminalis*. Der morphologische Vergleich der Blattmerkmale stützt diesen Befund.

Stichworte: *Salix*, freie Abblüte, Mikrosatelliten

Korrespondierender Autor:

Dr. Karl Gebhardt

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Genressourcen

Prof.-Oelkers-Str. 6

34346 Hann. Münden

E-Mail: karl.gebhardt@nw-fva.de

URL: www.weidenzuechtung.de

Ploidiestatus von Weiden (*Salix ssp.*) einer Zuchtpopulation

Karl Gebhardt und Steffen Febrenz

Die Chromosomen-Grundzahl $x = 19$ ist die Chromosomenzahl des haploiden Genoms von *Salix*. Der DNA-Gehalt pro Genom ist in der Regel konstant und damit charakteristisch für eine Art. Interspezifisch variiert der DNA-Gehalt jedoch sehr stark. Diese Variation zeigt nukleotypische Effekte, wie die Veränderung der Zellgrößen und Organe, als auch genetische Effekte, wie z. B. die Maskierung schädlicher Allele bei Polyploidie. Sie beeinflusst u. U die Blühfunktionen, die Kreuzbarkeit und Wuchsleistung der Weidenklone für den Kurzumtrieb.

In einer Auswahl von Weidenklonen wurde mittels Flowcytometrie der Ploidiestatus ermittelt. Die Zellkernsuspensionen wurden aus Blattgewebe gewonnen. Das Grundprinzip der Flowcytometrie beinhaltet den Transport von zu analysierenden, mit einem Fluoreszenzfarbstoff (DAPI) gefärbten Zellkernen in einer Suspension. Beim Passieren der Strahlenquelle wird ein Fluoreszenzsignal auf einen Photomultiplier projiziert und gemessen. Die Messungen erfolgten im Labor der niederländischen Fa. PlantCytometryServices mit einem Gerät der Fa. Partec.

An den untersuchten Weiden wurden Ploidiestufen von diploid bis hexaploid nachgewiesen.

Stichworte: Ploidie, *Salix ssp.*, Flowcytometrie

Korrespondierender Autor:

Dr. Karl Gebhardt

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Genressourcen

Prof.-Oelkers-Str. 6

34346 Hann. Münden

E-Mail: karl.gebhardt@nw-fva.de

URL: www.weidenzuechtung.de

Erzeugung tetraploider Pappeln als Kreuzungspartner für die Züchtung leistungsfähiger triploider Klone zur Steigerung der Biomasseproduktion

Dietrich Ewald, Kristina Ulrich und Natalia Ring

Über die Erzeugung stabiler tetraploider Elternpflanzen als Kreuzungspartner soll die Voraussetzung für die Züchtung leistungsfähiger triploider Klone geschaffen werden. Durch Kombination der Polyploidisierung mit der Technik der *in vitro*-Kultivierung wird es möglich sein, ganzjährig Pflanzen mit einer veränderten Ploidiestufe zu erzeugen. Als Ausgangsmaterial werden Aspen-, Pappel- und Robinienklone verwendet, deren Nachkommenschaften bereits als leistungsfähig beschrieben wurden. *In vitro*-Explantate dieser Klone werden mit einem Mitose-Hemmer behandelt, der die Ausbildung des Spindelapparates verhindert, was eine Verdopplung des Chromosomensatzes zur Folge hat. Aus diesen Explantaten werden neue Sprosse regeneriert und durch Flowcytometrie auf den Grad ihrer Ploidie getestet. Nach mehrfacher Subkultivierung werden genetisch stabile Linien selektiert. Ziel der Produktion tetraploider Elternbäume ist letztlich die Bildung diploider Gameten und die damit verbundene Erzeugung triploider Pflanzen nach Kreuzung mit einem normalen diploiden Partner. Um die Zeit bis zur Erreichung der Blühfähigkeit zu verkürzen, werden verschiedene Methoden der Stimulierung des Stoffwechsels in Richtung Blütenbildung getestet wie zum Beispiel die Reduktion des Wurzelsystems, die Ringelung von Individuen oder die Beeinflussung mit Wachstumsregulatoren.

Stichworte: Pappel, Tetraploide, Triploide, In-vitro-Kultivierung

Korrespondierender Autor:

Dr. Dietrich Ewald
Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Forstgenetik
Eberswalder Chaussee 3a
15377 Waldsiedersdorf
E-Mail: dietrich.ewald@vti.bund.de

Erzeugung neuer Genotypen durch Mutagenisierung und/oder Embryo rescue

Ulla Frühwacht-Wilms, Steffen Febrenz und Karl Gebhardt

In der Familie der Salicaceae finden wir natürliche Chromosomensätze zwischen $2n$ und $7n$. Diese chromosomale Vielfalt ermöglicht einerseits eine vielfältige züchterische Bearbeitung, stellt gleichzeitig jedoch eine natürliche Kreuzungsbarriere dar. Oryzalin wirkt wie das stark toxische Kolchizin als Mitosehemmer und bewirkt so eine Vervielfältigung des Chromosomensatzes.

Für die Oryzierung von Gehölzen wurden bisher nur wenige Hinweise gefunden. Deshalb galt es, die generelle Pflanzenverträglichkeit, die Konzentration und Einwirkzeit der Lösung sowie die Tauglichkeit des Ausgangsmaterials (In-vitro-Material, Blühreiser/Pollen, Jungpflanzen) zu prüfen. Embryonen, die nach Oryzierung oder durch die Kreuzung verschiedener Arten entstanden sind, können durch „Embryo rescue“ besser mit Nährstoffen versorgt und zur Weiterentwicklung gefördert werden.

Bei der Behandlung steril kultivierter Sprosskulturen war mit Erhöhung der Konzentration und der Einwirkzeit des Oryzalins an den Sprossspitzen zunehmend Schädigungen zu beobachten. Nur bei zwei Varianten (0,001 % 144 h und 0,002 % für 48 h im Flüssigmedium) waren bei der flowcytometrischen Untersuchung Veränderungen im Chromosomensatz des Klons 722_51 messbar. Neben einem vollständig tetraploiden Individuum fanden sich solche die an 10 %, 25 %, 40 % oder 60 % der untersuchten Zellen eine Verdopplung des Chromosomensatzes ($4x$) aufwiesen sich jedoch *ex vitro* als nicht lebensfähig erwiesen.

Stichworte: Oryzalin, Mutationszüchtung, *Salix* spp., Embryo rescue

Korrespondierender Autor:

Dr. Karl Gebhardt

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Genressourcen

Prof.-Oelkers-Str. 6

34346 Hann. Münden

E-Mail: karl.gebhardt@nw-fva.de

URL: www.weidenzuechtung.de

Photosynthesekapazität von Leistungsklonen der Pappel bei unterschiedlichen Ploidiestufen

Dietmar Lüttschwager und Dietrich Ewald

Durch Behandlung mit Kolchizin können tetraploide Aspenpflanzen erzeugt und perspektivisch mit diploiden Pflanzen gekreuzt werden. Durch die Wirkung des Kolchizins entstehen dabei oft auch stabile Mixoploide. Ploidieveränderungen sind häufig mit verbessertem Wachstum verbunden, welches offenbar auf veränderten physiologisch-biochemischen Regulationsmechanismen des Primärstoffwechsels basiert. Dabei kommt der Photosyntheseleistung eine Schlüsselrolle zu.

Bei Linien zweier Zitterpappel-Klone und eines Graupappel-Klones wurden deshalb Pflanzen verschiedener Ploidiestufen (2N, 2N/4N und 4 N) hinsichtlich ihres Wuchsverhaltens sowie ihrer Photosynthesekapazität und Wassernutzungseffizienz untersucht.

Die Ergebnisse deuten auf deutliche Unterschiede bei der spezifischen Blattfläche, der Photosynthese und der Wassernutzungseffizienz hin. Besonders bei den Zitterpappelklonen waren hinsichtlich Photosynthese die mixoploiden den di- und tetraploiden Pflanzen überlegen. Graupappeln bilden deutlich größere Blätter aus, welche jedoch flächenbezogen eine geringere Photosynthesekapazität besitzen. Aufgrund der geringen Anzahl untersuchter Pflanzen waren diese Unterschiede jedoch noch nicht statistisch zu sichern, was wiederholende Untersuchungen erfordert. Falls sich die Klone unterschiedlicher Ploidie signifikant in ihrer Leistungsfähigkeit unterscheiden, so könnte dies vor dem Hintergrund perspektivischer klimatischer Veränderungen in Mitteleuropa bei der Suche nach geeigneten Leistungsklonen der Pappel ausgenutzt werden.

Stichworte: Pappel, Klone, Mixoploide, Photosynthesekapazität

Korrespondierender Autor:

Dr. Dietmar Lüttschwager

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Inst. f. Landschaftsstoffdynamik
Eberswalder Straße 84

15374 Müncheberg

E-Mail: dluettschwager@zalf.de

ZÜEND – Züchtung neuer Energiepappeln für Deutschland

Renate Lührs, Nadia Efremova, Peter Welters, Andreas Meier-Dinkel, Alwin Janßen, Mina-Merle Voß und Matthias Fladung

Kurzumtriebsplantagen (KUP) aus Pappeln zeigen gegenüber anderen Energiepflanzen sehr gute energetische, ökologische und ökonomische Bilanzen. Aufgrund der momentan nur geringen Sortenbasis besteht jedoch ein hoher Bedarf an der Züchtung neuer Sorten, die optimal an KUP angepasst sind. In Zukunft sollen landwirtschaftliche Flächen unterschiedlichster Standorte für den Anbau von Pappeln im Kurzumtrieb genutzt werden. Bedingt durch große Standortsamplituden in Bezug auf Nährstoffgehalt, Wasserverfügbarkeit und verschiedene Stressfaktoren werden entsprechend unterschiedliche Anforderungen an geeignete Sorten gestellt. Hier besteht ein dringender Bedarf für die Züchtung neuer Sorten mit speziellen Anpassungen für die verschiedenen Standortbedingungen.

Die genetische Diversität der Pappelarten bietet ein Spektrum verschiedener gewünschter Eigenschaften. Neukombinationen, wie die gute Stockausschlagfähigkeit der Schwarzpappeln mit verschiedenen Resistenzeigenschaften der Aspen, sind zum Beispiel für die Züchtung neuer KUP-Sorten sehr interessant. Die Erzeugung von Hybriden durch Kreuzungszüchtung ist bei einigen Pappelarten jedoch sehr schwierig. Die Methode der somatischen Hybridisierung über die Protoplastenfusion bietet hier einen innovativen Ansatz zur Neukombination von Genomen schwer kreuzbarer Arten. Ein zusätzlicher Vorteil der Protoplastenfusion gegenüber der natürlichen Kreuzung ist die Möglichkeit der Neukombination der Chloroplasten und Mitochondrien, da bei Pappeln wie bei den meisten Kulturpflanzen das Cytoplasma maternal vererbt wird. Welchen Einfluss das Cytoplasma auf züchterische Eigenschaften wie z. B. die Biomasse hat, ist bisher nicht untersucht worden.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung der Protoplastenfusion sind effiziente Regenerationssysteme. Daher konzentrierte sich die Anwendung der somatischen Hybridisierung in der Pflanzenzüchtung bisher hauptsächlich auf Kartoffeln, Raps und einige Gemüsearten, für die entsprechende Methoden bestehen. Phytowelt entwickelte im Rahmen eines von der FNR geförderten Vorläuferprojektes (FKZ 22004105) für verschiedene Pappellinien der Sektionen *Populus*, *Tacamahaca* und *Aigeiros* Methoden zur effizienten Pflanzenregeneration aus Protoplasten. Mit Hilfe der Elektrofusion konnten erste intersektionale Hybridpflanzen erzeugt werden. Zusätzlich zeigte sich, dass die Protoplastenfusion

eine ideale Technik zur Erzeugung tetraploider Pappel-Linien darstellt (LÜHRS et al 2010).

Im Rahmen von ZÜEND wird diese neue Technik der Phytowelt eingesetzt, um aufbauend auf ein bereits (vor)charakterisiertes Sortiment an Klonen der NW-FVA die genetische Diversität durch Neukombinationen verschiedener Pappelarten zu erhöhen und optimierte Energiepappeln zu züchten. Parallel werden vom vTI zum Ausbau neuer Techniken in der Pappelzüchtung molekulare Marker entwickelt, mit der frühzeitig wichtige Züchtungseigenschaften detektiert werden können. Diese Marker sollen eingesetzt werden, um die regenerierten Pflanzen aus der Protoplastenfusion molekulargenetisch zu charakterisieren und somatische Hybride zu selektieren. Somatische Hybride und tetraploide Linien aus den Protoplastenfusionen werden von der NW-FVA klonal vermehrt und phänotypisch charakterisiert. Langfristig ist geplant, die tetraploiden Pappel-Linien mit diploiden Pappeln zu kreuzen, um triploide Pappeln mit erwünschten Eigenschaften zu erzeugen.

Das Konsortium des Verbundprojektes stellt eine einzigartige Kompetenz-Verknüpfung aus züchterischer Praxis, innovativer Methodik und Marktkenntnis dar.

Stichworte: Pappel, somatische Hybridisierung, Protoplastenfusion, Kurzumtrieb, Neukombination, genetische Diversität

Literatur

LÜHRS R., EFREMOVA N., KRULL A., LÖFKE C., NING D., MÜLLER A., POLLE A., TEICHMANN T. (2010): Innovative Hybridpappeln - Schnelles Wachstum für Deutschland. Agrarholz 2010, Symposium 18., 19. Mai 2010 in Berlin

Korrespondierende Autorin:

Dr. Renate Lührs (Projektkoordination ZÜEND)

Phytowelt GreenTechnologies GmbH

Stöckheimer Weg

50829 Köln

URL: www.phytowelt.com

AgroForstEnergie – Agroforstsysteme mit Energieholz. Erste Ergebnisse: Umweltwirkungen Dornburg

Manuela Bärwolff und Armin Vetter

Für die kommenden Jahre wird von einer verstärkten Produktion von Energieholz in Kurzumtriebsplantagen (KUP) ausgegangen. Die hohe gesellschaftliche Bedeutung der Nutzung von Biomasse als alternative Energiequelle ist in Anbetracht der Notwendigkeiten zur Reduktion klimaschädlicher Gase in der Atmosphäre und zur Erlangung der Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern unbestritten. Die zunehmende Produktion von Biomasse zur energetischen Verwertung wird Flächenkonkurrenzen verstärken und eine weitere Intensivierung der Landwirtschaft zur Folge haben. Die Kombination forst- und landwirtschaftlicher Systeme scheint hier eine vielversprechende Lösung zu sein. Das Verbundprojekt AgroForstEnergie unter Förderung des BMELV untersucht seit 2007 die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des Anbaus von streifenförmigen Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf ackerbaulich genutzten landwirtschaftlichen Flächen. Folgende Umweltwirkungen sollen mit dieser modernen Form der Landbewirtschaftung erreicht werden:

- Verminderung von Wind- und Wassererosion
- Herabsetzung der unproduktiven Verdunstung
- Ökologische Aufwertung ausgeräumter Agrarflächen durch Erhöhung der Diversität

Mit der Anlage von KUP-Streifen entgegengesetzt zur Hauptwindrichtung wird eine deutliche Reduzierung der Windgeschwindigkeit im Lee-Bereich erreicht, welche auch im unbelaubten Zustand der Gehölze nachweisbar ist. Hieraus ergeben sich weitere Beeinflussungen mikroklimatischer Parameter. Die Reduktion der Verdunstung auf angrenzenden Agrarflächen kann insbesondere in trockenen Witterungsperioden, welche im Zuge des Klimawandels vermehrt auftreten sollen, positive Ertragseffekte erzeugen. Aufgrund der Erhöhung der strukturellen Diversität der Gesamtfläche in Verbindung mit mehrjähriger Bodenruhe und Verzicht auf Pestizideinsatz im Bereich der KUP-Streifen stellt das Agroforstsystem eine ökologische Aufwertung im Vergleich zu ausgeräumten Agrarflächen dar. Dies zeigt sich unter anderem in einer Erhöhung der floristischen Biodiversität.

Stichworte: Agroforstsystem, Energieholz, Kurzumtriebsplantage, Biodiversität, Klimawandel, Erosion

Korrespondierende Autorin:

Manuela Bärwolff

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

Apoldaer Straße 4

07774 Dornburg-Camburg

E-Mail: manuela.baerwolff@tll.thueringen.de

URL: <http://www.thueringen.de/de/tll/>

AgroForstEnergie – Agroforstsysteme mit Energieholz. Erste Ergebnisse: Erträge Dornburg

Manuela Bärwolff, Christian Schmidt und Armin Vetter

Für die kommenden Jahre wird von einer verstärkten Produktion von Energieholz in Kurzumtriebsplantagen (KUP) ausgegangen. Die hohe gesellschaftliche Bedeutung der Nutzung von Biomasse als alternative Energiequelle ist in Anbetracht der Notwendigkeiten zur Reduktion klimaschädlicher Gase in der Atmosphäre und zur Erlangung der Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern unbestritten. Die zunehmende Produktion von Biomasse zur energetischen Verwertung wird Flächenkonkurrenzen verstärken und eine weitere Intensivierung der Landwirtschaft zur Folge haben. Die Kombination forst- und landwirtschaftlicher Systeme scheint hier eine vielversprechende Lösung zu sein. Das Verbundprojekt AgroForstEnergie unter Förderung des BMELV untersucht seit 2007 die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen des Anbaus von streifenförmigen Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf ackerbaulich genutzten landwirtschaftlichen Flächen. Folgende produktionsbezogenen Ziele sollen mit dieser modernen Form der Landbewirtschaftung erreicht werden:

- Erhaltung der Produktionsfunktion der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche
- Produktion von festen Bioenergieträgern auf landwirtschaftlichen Flächen
- Diversifizierung des landwirtschaftlichen Einkommens

Im Untersuchungszeitraum zeigten sich Tendenzen zu reduzierten Ackerfruchterträgen im Nahbereich der Gehölze und zu höheren Erträgen im Bereich zwischen den KUP-Streifen, welche fruchtartenspezifisch zu sein scheinen. Dieser geringfügige Effekt wurde jedoch bisher deutlich von den räumlich heterogenen Flächeneigenschaften überzeichnet. Die erste Ernte der Gehölzstreifen A, B und C erzielte einen durchschnittlichen Ertrag von 4,9 t Trockenmasse je Hektar und Jahr. Die Wuchsleistungen der Pappel in den zwei verschiedenen Pflanzdichten unterschieden sich im Höhenzuwachs nur geringfügig, bei geringeren Pflanzdichten zeigte sich jedoch die Tendenz zu stärkeren Wurzelhalsdurchmessern und damit zu einer höheren Biomasseleistung je Pflanze und Jahr. Insgesamt konnten im bisherigen Untersuchungszeitraum weder ökonomisch wirksame synergistische ($1 + 1 = 3$) noch ökonomisch wirksame antagonistische ($1 + 1 = 1,5$) Ertrags-effekte festgestellt werden.

Stichworte: Agroforstsystem, alley cropping, Energieholz, Kurzumtriebsplantage, Ertrag

Korrespondierende Autorin:

Manuela Bärwolff
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Apoldaer Straße 4
07774 Dornburg-Camburg
E-Mail: manuela.baerwolff@tll.thueringen.de
URL: <http://www.thueringen.de/de/tll/>

Feldstreifen mit schnellwachsenden Baumarten

Michael Grunert und Karin Ruscher

Feldstreifen bereichern die Landschaft und schützen vor Wind- und Bodenerosion. Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) hat untersucht, wie schnellwachsende Baumarten als Feldstreifen angebaut werden können. Jeweils ein Streifen wurde in den Jahren 2002 und 2007 mit verschiedenen Pappel- und Weidensorten im Mitteldeutschen Trockengebiet in Köllitsch angelegt. In einem Streifen wurde zusätzlich Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) beigemischt, um die Diversität zu erhöhen.

Der durchschnittliche jährliche Gesamtwuchs des 2002 angelegten Streifens betrug in den ersten drei Jahren bis zu 8,9 t/ha und zwischen erster und zweiter Ernte bis zu 14,6 t/ha. Der durchschnittliche jährliche Gesamtwuchs des zweiten Streifens betrug in den ersten drei Jahren 8,8 t/ha. Aufgrund des hohen Rehbestandes kam es jedoch auch zu zahlreichen Verbiss- und Fegeschäden.

Der Einfluss der Streifen auf das Mikroklima ist positiv und sie bieten Windschutz für die angrenzenden Ackerflächen. Hinsichtlich der Biodiversität sind die Feldstreifen günstiger als einjährige Feldkulturen einzustufen. Sie bieten Lebensraum für verschiedene Pflanzen der Ruderal- und Ackerflora sowie für gefährdete Spinnen- und Laufkäferarten.

Feldstreifen sind somit eine Alternative zu konventionellen Hecken und stellen einen wirtschaftlich nutzbaren Teilschlag dar, in dem bereits nach drei Jahren Holz geerntet werden kann.

Stichworte: Kurzumtrieb, Streifenanbau, Pappel, Weide, Biodiversität

Korrespondierender Autor:

Dr. Michael Grunert

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 71 Pflanzenbau, Nachwachsende Rohstoffe

Gustav-Kühn-Str. 8

04159 Leipzig

Tel: 0341-9174 147

E-Mail: michael.grunert@smul.sachsen.de

URL: www.smul.sachsen.de/lfulg

Anbau von schnellwachsenden Baumarten auf arsen- und schwermetallbelasteten Flächen

Michael Grunert und Anke Dietzsch

Um zu untersuchen, ob mit Arsen und Schwermetallen belastete Ackerflächen zum Anbau schnellwachsender Baumarten geeignet sind, führte das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) einen Versuch in Krummenhennersdorf im Erzgebirge durch. Die Kurzumtriebsplantage wurde hinsichtlich Biomasseproduktion, Schwermetall- und Arsenaufnahme sowie der Verwertung des Holzes untersucht.

Drei Pappel- und fünf Weidensorten wurden im Doppelreihensystem gepflanzt. Die Bäume wuchsen sehr gut an und zeigen eine Ertragssteigerung von durchschnittlich 6,3 t Trockenmasse je Hektar und Jahr in den ersten drei Jahren auf 16 t Trockenmasse je Hektar und Jahr zur zweiten Ernte nach weiteren zwei Jahren.

Die Schwermetall- und Arsen-Gehalte sind in den Blättern deutlich höher als im Holz. Die Zink- und Cadmium-Gehalte sind in den Weiden doppelt bis dreimal so hoch wie in den Pappeln. Eine Sanierung der Böden durch schnellwachsende Baumarten ist jedoch in absehbarer Zeit nicht zu erwarten.

Das Abbrand- und Emissionsverhalten der Hackschnitzel wurde durch das Institut für Luft- und Kältetechnik Dresden untersucht. Hier besteht ebenso wie zur Trocknung der Holzhackschnitzel weiterer Forschungsbedarf.

Stichworte: Kurzumtrieb, Pappel, Weide, Schwermetall, Arsen, Cadmium

Korrespondierender Autor:

Dr. Michael Grunert

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 71 Pflanzenbau, Nachwachsende Rohstoffe

Gustav-Kühn-Str. 8

04159 Leipzig

Tel: 0341-9174 147

E-Mail: michael.grunert@smul.sachsen.de

URL: www.smul.sachsen.de/lfulg

IO-A1 Agroforstwirtschaft und Kurzumtriebsplantagen

Linda Hartmann und Norbert Lamersdorf

In den oben genannten Poster wird das Teilprojekt „IO - A1 Agroforstwirtschaft und Kurzumtriebsplantagen“ vom Verbundvorhaben „BEST - Bioenergie-Regionen stärken“ vorgestellt. BEST ist ein Verbundprojekt des Forschungszentrums Waldökosysteme der Georg-August-Universität Göttingen mit insgesamt 31 Teilprojekten. Gefördert wird das Vorhaben vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Im Teilprojekt IO-A1 werden innovative Nutzungskonzepte im Bereich der Energieholzversorgung mittels Kurzumtriebsplantagen und Agroforstsysteme entwickelt und räumlich in den Bioenergieregionen „Thüringer Ackerebene“ und „Göttinger Land“ verwirklicht. Dabei werden Kurzumtriebsplantagen (KUP), also der Anbau von schnell wachsenden Baumarten wie Pappel oder Weide, als eine Variante einer agroforstwirtschaftlichen Bewirtschaftungsform betrachtet.

Im Teilprojekt soll demonstriert werden, dass durch die Integration holziger Pflanzen in landwirtschaftliche Produktionslinien im Bereich der Biomasse- und Bioenergieerzeugung ein erhöhter ökologischer Mehrwert erzeugt werden kann. Dazu werden bodenökologische Untersuchungen (u. a. Quantifizierung des Input und Export an Nährstoffen) durchgeführt, die wiederum zur Beurteilung und Beratung von Pflegemaßnahmen (Aufwuchssicherung, Bewässerung, Düngung) dienen.

Stichworte: BEST, Kurzumtriebsplantage, Agroforstwirtschaft, Nährstoffhaushalt, Bioenergieregion

Korrespondierende Autorin:

Linda Hartmann

Büsgen-Institut, Ökopedologie der gemäßigten Zonen

Büsgenweg 2

37077 Göttingen

E-Mail: lhartma2@gwdg.de

URL: <http://best-forschung.uni-goettingen.de/>

<http://www.uni-goettingen.de/de/team/81318.html>

Das Projekt AgroForNet und die Internetseite energieholz-portal.de

Mareike Hirsch

Das Verbundprojekt „AgroForNet – Nachhaltige Entwicklung ländlicher Regionen durch Vernetzung von Produzenten und Verwertern von Dendromasse für die energetische Nutzung“ läuft von 2010 bis 2014 und wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Das Ziel sind regionale Wertschöpfungsnetze zur effizienten Erzeugung und Bereitstellung von Energieholz aus Wald, Landwirtschaft und offener Landschaft. Um Wissen rund um das Thema zu sammeln und die Kommunikation untereinander zu fördern ist die Internet-Plattform energieholz-portal.de Teil des Projektes.

Das Portal ist in mehrere Bereiche aufgeteilt. In einem allgemeinen Teil werden sämtliche Aspekte der Produktion, Bereitstellung und Verwertung von Energieholz behandelt. Darüber hinaus gibt es eine Unterteilung auf Länderebene um regionale Aktivitäten zu stärken. Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) erstellt diese Seite für Sachsen. Hier kann man sich über existierende Kurzumtriebsplantagen, regionale Grundlagen zum Anbau schnellwachsender Baumarten sowie die energetische Nutzung von Holz aus Wald und Landschaft in Sachsen informieren.

Die Internetseite unterstützt die Vernetzung von Wissenschaft und Praxis, um eine umweltverträgliche Landnutzung und Regionalentwicklung zu fördern.

Stichworte: Kurzumtrieb, Regionalentwicklung, Netzwerke, nachhaltige Landnutzung, Energieholz, Internet

Korrespondierende Autorin:

Mareike Hirsch

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Referat 71 Pflanzenbau, Nachwachsende Rohstoffe

Gustav-Kühn-Str. 8

04159 Leipzig

Tel: 0341-9174159

E-Mail: mareike.hirsch@smul.sachsen.de

URL: www.energieholz-portal.de

Wachstums-Entwicklung von Pappeln und Weiden in Agroforstsystemen

Karin Pfennig und Georg von Wühlisch

Aufgrund der stetig steigenden Nachfrage nach Energieholz sind Einrichtungen wie das Johann Heinrich- von Thünen – Institut (vTI), Institut für Forstgenetik, zunehmend gefragt, Möglichkeiten der schnellen Energieholzerzeugung zu erforschen und entwickeln, darunter Kurzumtriebsplantagen (KUP) und Agroforstsysteme in denen Gehölze streifenweise auf Ackerflächen angebaut werden.

Das Institut für Forstgenetik des vTI untersucht gemeinsam mit dem Institut für Pflanzenbau des JKI Agroforstsysteme auf einem Ackerstandort in Wendhausen und einem Grünland-Standort in Mariensee. Dabei wurden die mit den landwirtschaftlichen Kulturen wechselnden Gehölzstreifen wie schmale KUP im Alley-Cropping-System bewirtschaftet und mit Weidenklonen (Inger, Tora, Tordis) und Balsampappelhybriden (Koreana, Max, Hybride 275), bepflanzt, die sich in KUP bewährt haben. Zusätzlich wurden Hybriden aus europäischer und amerikanischer Aspe, als dauerhafteres Element etabliert, die nicht, wie die Pappeln und Weiden, in 3-4-jährigen, sondern in längeren Umtriebszeiten bewirtschaftet werden sollen. In einer ökologischen Variante wurden Sträucher randständig gepflanzt. Das Institut für Forstgenetik erfasst Überlebensraten, Wuchs- und Biomasseentwicklungen mit dem Ziel, Anbauempfehlungen für Acker- und Grünlandstandorte zu entwickeln, um Grundlagen für die Anlage von Agroforstsystemen zu schaffen.

Erste Ergebnisse des Ackerstandortes zeigen einen guten Anwuchs der Bäume mit hohen Überlebensraten und Baumhöhen bis 5,5 m nach Abschluss der 3. Vegetationsperiode. Die Aspen liegen gegenüber den Pappeln mit 1,5 m in ihrem Höhenwachstum zurück, welches zu erwarten war. Schwieriger gestaltete sich die Etablierung der Weidenklone auf dem Grünland. Diese wurden nach Behandlung mit Totalherbizid ohne Umbruch als Steckhölzer auf dem Grünland etabliert. Die Konkurrenz der Begleitvegetation war jedoch deutlich größer als erwartet, zudem traten Wildschäden auf, sodass die Weiden in ihren Überlebensraten und Höhenwachstum deutlich eingeschränkt waren. Um die weiteren Auswirkungen unterschiedlicher Etablierungsverfahren auf das Wuchsverhalten zu untersuchen, wurde ein Baumstreifen 2009 nach Umbruch mit bewurzeltm Pflanzmaterial angelegt.

Dem Versuchsplan entsprechend sollen die Versuche auf beiden Standorten fortgeführt werden, um Daten zur weiteren Entwicklung der Ertragsleistung bei den Gehölzen sowie zur Diversität von Flora und Fauna, Resistenz gegenüber Schädlingsbefall und weiterer Faktoren zu erhalten.

Stichworte: Agroforstsysteme, Acker- und Grünlandstandorte, Weiden, Balsampappelhybriden, Hybridaspens, *Alley-Cropping-System*

Korrespondierende Autorin:

Karin Pfennig

Johann Heinrich von Thünen–Institut, Institut für Forstgenetik

Sieker Landstraße 2

22927 Großhansdorf

E-Mail: karin.pfennig@vti.bund.de

URL: www.vti.bund.de

Selektion trockentoleranter Robinien (*Robinia pseudoacacia* L.) für die Biomasseerzeugung – Untersuchungen an Sämlingen internationaler Herkunft

Thomas Guse und Georg von Wüblisch

Die Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) gilt als trockentolerante Baumart mit geringen Standortansprüchen. Auf landwirtschaftlichen Grenzertragsstandorten und Kipp- rohböden erreicht die Robinie im Vergleich zu den anspruchsvolleren Pappel- und Weidensorten einen deutlich höheren Biomasseertrag (GRÜNEWALD et al. 2009).

Als Folge prognostizierte Klimaänderungen, insbesondere für ostdeutsche Standorte werden längere Dürreperioden und geringere Niederschlagsmengen während der Vegetationsperiode vorausgesagt (GERSTENGARBE et al. 2003). Dies führt zu Ertrageinbrüchen konventioneller Energiepflanzen und als Alternative kann die Robinie an Bedeutung gewinnen. Zudem ist ihr Holz aufgrund seiner hohen Dichte und Dauerhaftigkeit wertvoll und hat einen hohen Heizwert. In Deutschland ist die Robinie bisher jedoch kaum züchterisch bearbeitet worden (SCHNECK 2010).

Im Rahmen von INKA-BB wurde mit einem umfangreichen Vergleich der Absaaten von über 50 Herkünften aus verschiedenen Ländern (Deutschland, Rumänien, Ungarn, Italien, Griechenland, Slowakei, Bulgarien, Indien, USA) begonnen. Ziel ist die Selektion von an Trockenheit angepassten Genotypen bei gleichzeitiger Steigerung des Biomasseertrags.

Erste Ergebnisse weisen auf eine hohe potenzielle Ertragssteigerung, die bereits durch einfache Selektion erreicht werden kann. Unter günstigen Wuchsbedingungen im Gewächshaus betrug die durchschnittliche Holzbiomasse der besten Herkunft 197 % vom Gesamtmittelwert, dem Erwartungswert bei einer zufälligen Auswahl des Pflanzmaterials. Unter natürlichen Bedingungen im Freiland lag die Biomasse der besten Herkunft fast 4fach über dem Mittelwert (373 %). Durch eine gezielte Auswahl geeigneter Genotypen und anschließender Verklo- nung kann von einer deutlich höheren Ertragssteigerung ausgegangen werden. So betrug der Holzbiomasseertrag des besten Einzelbaumes im Gewächshaus 360 % vom Gesamtmittelwert, im Freiland erreichte der beste Einzelbaum sogar 1565 % der Biomasse vom Mittelwert.

Untersuchungen der Trockentoleranz wurden mittels Chlorophyll-fluoreszenz- messungen an Sämlingen während einer kontrollierten Dehydrierungsphase durch- geführt. Dabei zeigte sich ebenfalls eine größere Variation bei den Einzelpflanzen

als zwischen den untersuchten Herkünften. Nur wenige Einzelpflanzen weisen jedoch eine hohe Trockentoleranz bei gleichzeitig hoher Wuchsleistung auf.

Die Ergebnisse lassen Züchtungsfortschritte der Robinie für den Einsatz als Energiepflanze auf trocknen Standorten erwarten. Die im Gewächshaus und in der Baumschule selektierten Genotypen müssen auf ihre Eignung unter Praxisbedingungen im Freiland jedoch über mehrere Jahre geprüft werden, bevor sie als Klone vegetativ vermehrt und als solche entweder direkt genutzt oder zur Saatgutproduktion in Samenplantagen gepflanzt werden können.

Stichworte: Chlorophyllfluoreszenz, Trockentoleranz, Selektionszüchtung

Literatur

- GERSTENGARBE, F.; BADECK, F.; HATTERMANN, F.; KRYSANOVA, V.; LAHMER, W.; LASCH, P. 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. PIK report no. 83, Potsdam Institute for Climate Impact Research
- GRÜNEWALD, H.; BÖHM, C.; QUINKENSTEIN, A.; GRUNDMANN, P.; EBERTS, J.; VON WÜHLISCH, G. V (2009): Robinia pseudoacacia L.: A lesser known tree species for biomass production. Bioenergy Res. 2,123-133
- GUSE, T.; SCHNECK, V.; LIESEBACH, M., VON WUEHLISCH, G. (2011): Improving growth performance and drought tolerance of Robinia pseudoacacia L. – Analysis of seedlings of European progenies. Indian J. Ecol. 38 (special issue), 95-98
- SCHNECK, V. (2010): Robinie - Züchtungsansätze und Begründungsverfahren [online]. In: DEUTSCHLAND / BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (HRSG.): Beiträge - Agrarholz 2010: Symposium am 18. und 19. Mai 2010 in Berlin. Bonn: BMELF, pp 1-8
http://www.fnrserver.de/cms35/fileadmin/allgemein/pdf/veranstaltungen/Agrarholz2010/11_2_Beitag_Schneck.pdf [zitiert am 11.08.2011]

Korrespondierender Autor:

Thomas Guse

Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Forstgenetik

Eberswalder Chaussee 3a

15377 Waldsiedersdorf

E-Mail: thomas.guse@vti.bund.de

URL: www.vti.bund.de

Klonidentifizierung bei Zuchtmaterial der Robinie (*Robinia pseudoacacia* L.) mit nuklearen Mikrosatellitenmarkern

Heike Liesebach und Gisela Naujoks

Die Robinie wurde vor rund 400 Jahren aus Amerika zuerst als Zierbaum in Europa eingeführt. Später wurde sie z. B. in Weinbaugebieten, aber auch in anderen Regionen als Alleebaum und zur Kippen- und Böschungsbefestigung angepflanzt. Das sehr witterungsbeständige Holz ließ sich gut für Rebpfähle und als Grubenholz verwenden. In jüngerer Zeit kamen weitere Verwendungsmöglichkeiten, unter anderem für Parkett, Gartenmöbel und Spielplatzausrüstungen, hinzu. Robinienbestände in Deutschland wurden früher forstlich kaum bewirtschaftet und haben sich lange Zeit spontan durch vegetative und generative Ausbreitung entwickelt. Sie weisen häufig eine schlechte Stammform, d. h. krummen Wuchs, tief ansetzende Beastung und manchmal strauchförmigen Habitus auf.

Besonders in den 50er und 80er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden Robinien mit geradschaftigem Wuchs in verschiedenen Beständen selektiert und später vegetativ vermehrt, um Klonprüfungen und Samenplantagen anzulegen. Da Robinienholz einen hohen Heizwert hat, ergab sich bei der Suche nach alternativen Energiequellen im letzten Jahrzehnt ein neues Zuchtziel: die Selektion und Vermehrung von Robinien, die sich zum Anbau im Kurzumtrieb für die Energieholzproduktion eignen.

Wegen der vegetativen Ausbreitung der Robinie besteht die Möglichkeit, bei der Auswahl mehrerer Individuen aus einem Bestand evtl. mehrfach denselben Klon zu erfassen. Die früher eingesetzte Methode zur genetischen Charakterisierung mit Isoenzymmarkern konnte diese Fälle wegen der geringen Variabilität jedoch nur teilweise entdecken. Zur Klonidentifizierung stehen heute DNA-Fingerprint-Methoden zur Verfügung, die für die Baumart Robinie mit 14 hochvariablen nuklearen Mikrosatellitenmarkern am vTI - Institut für Forstgenetik etabliert wurden. Die Variation an den untersuchten Genloci ist so groß, dass evtl. vorhandene Klone auch unter Vollgeschwistern sicher identifiziert werden können.

Im Rahmen der Robinienzüchtung und für Untersuchungen in den durch die FNR geförderten Projekten FastWOOD und „Tetraploide“ werden im vTI – Institut für Forstgenetik aktuell 61 Klone erhalten und vegetativ vermehrt, die aus eigenen Selektionen stammen oder von anderen Institutionen zur Verfügung gestellt wurden. Teilweise befinden sie sich bereits auf Versuchsflächen oder wurden in Samenplantagen einbezogen. Die genetische Charakterisierung mit Mikrosatellitenmarkern ergab, dass die Anzahl verschiedener Klone mit nur 27

geringer ist als früher angenommen. Dies wird die Datenauswertung von Versuchsf lächen beeinflussen, da nun weniger Prüfglieder, dafür aber mehr Parzellen mit den jeweiligen Klonen vorhanden sind.

Stichworte: *Robinia pseudoacacia* L., Klonidentifizierung, nukleare Mikrosatellitenmarker, Selektion, Züchtung

Korrespondierende Autorin:

Dr. Heike Liesebach

vTI – Institut für Forstgenetik

Sieker Landstraße 2

22927 Großhansdorf

E-Mail: heike.liesebach@vti.bund.de

URL: <http://www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html>

Streufall und Streuumsatz in Böden von Kurzumtriebsplantagen

Nicole Heyn, Christine Wachendorf und Rainer Georg Jörgensen

Im Rahmen des Verbundvorhabens zur Erfassung von Standort/Klon Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten wurden an ausgewählten Standorten der Streufall und der Streuabbau von einem Pappelklon (Max1) im zweiten Jahr der ersten Rotation ermittelt. Aufgrund unterschiedlicher Biomassedaten und Standortbedingungen variiert der Streufall an 18 Standorten zwischen 0,1 und 8,3 t Trockenmasse je Hektar und Jahr. Im Mittel verbleiben mit den Blättern 2,5 t Trockenmasse je Hektar und Jahr am Standort. Das C/N Verhältnis der Streu variiert zwischen 22 und 63. Dabei zeigt sich die Tendenz von hohen C/N Verhältnissen bei Standorten mit hohem Streufall.

Neben dem Streufall wurde die Abbaurate von Pappelstreu über den Gewichtsverlust in Streubeuteln einer Maschenweite 2 x 3 mm im 2. Jahr der ersten Rotation erfasst. Um die unterschiedlichen Abbaubedingungen der verschiedenen Standorte zu charakterisieren, wurde der Streuabbau an Streu gleicher Qualität, die von einem Standort stammte, ermittelt.

Nach 9 Monaten Expositionszeit auf der Bodenoberfläche unterschiedlich entwickelter Pappelbestände variierten die Massenverluste von 44 bis 99 %. Die aus den Streufall- und Streuabbaudaten geschätzten Umsatzraten betragen 0,1 bis 6,6 t Trockenmasse je Hektar und Jahr. Im Mittel betragen sie 70 % des Streufalls. Dies deutet auf eine Ausbildung einer Streuschicht in Kurzumtriebsplantagen auf den ehemals landwirtschaftlichen Standorten hin.

Stichworte: ProLoc, Kurzumtriebsplantage, Streufall, Streuabbau, Streuumsatzrate

Korrespondierende Autorin:

Nicole Heyn

Fachgebiet Bodenbiologie und Pflanzenernährung

Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften

Universität Kassel

Nordbahnhofstr. 1A

37213 Witzenhausen

E-Mail: nicole.heyn@uni-kassel.de

URL: <http://www.proloc-energieholz.de/>; <http://www.uni-kassel.de/agrar/bbp>

Aspekte zum N-Kreislauf in Kurzumtriebsplantagen

Norbert Lamersdorf und Paul Schmidt-Walter

Kurzumtriebsplantagen (KUP) mit Pappeln und Weiden können als extensive Form der landwirtschaftlichen Nutzung betrachtet werden. Im Vergleich zum konventionellen Ackerbau ist der Netto-Stickstoffbedarf (Entzug mit dem Erntematerial, ohne Blätter) mit 10-15 kg N pro ha als gering einzuschätzen. Er liegt damit in viele Regionen Deutschlands in der Größenordnung des Eintrages aus der atmosphärischen Deposition. Demgegenüber steht der Gesamtvorrat an organisch gebundenem Stickstoff (N_{org}) im Boden mit oftmals mehreren Tonnen pro ha, allein in den ersten 30 cm Bodentiefe. Der über die Blattmasse umlaufende N-Vorrat und die im Boden mineralisierte Menge an N_{org} liegen nach den bisherigen Kenntnissen in der Größenordnung von 50-100 kg pro ha und Jahr. Oftmals entscheiden für die somit hergeleiteten N-Bilanzen von KUP ist der Austrag von Nitrat mit dem Sickerwasser. Neben einer ersten N-Bilanzabschätzung für KUP werden Daten zum Nitrataustrag an unterschiedlich behandelten KUP im Trinkwassereinzugsgebiet "Fuhrberger Feld" bei Hannover präsentiert. Es zeigt sich, dass insbesondere die initiale Flächenvorbereitung einen deutlichen Einfluss auf die anfängliche N-Freisetzung haben kann. Langfristig bieten KUP jedoch die Option, den Nitrataustrag zu reduzieren und damit die N-Bilanz ehemals intensiv genutzter landwirtschaftlicher Flächen positiv zu beeinflussen. KUP können somit eindeutig zur Verbesserung der Landschaftsfunktionen (u. a. Trinkwassergewinnung) beitragen.

Stichworte: Kurzumtriebsplantagen, Pappel, Weide, N-Bedarf, N-Bilanz, Nitrataustrag

Korrespondierender Autor:

Prof. Dr. Norbert Lamersdorf
Georg-August-Universität Göttingen
Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie
Abt. Ökopedologie der gemäßigten Zonen
Büsgenweg 2
37077 Göttingen
E-Mail: nlamers@gwdg.de
URL: www.uni-goettingen.de/de/67067.html

Verwendung des Pappelklons Matrix 49 zur Herstellung von leichten Spanplatten

Annika Reichelt, Jan Gustav Franke, Mario Heimbrodt, Marcello Schröder und Lars Kloeser

Innerhalb der vorgestellten Untersuchungen wurden einschichtige Spanplatten aus zuvor gewonnenen Spänen des Pappelklones Matrix 49 hergestellt. Bei diesem Pappelklon handelt es sich um Nachkommen einer Kreuzung aus *Populus maximowiczii* mit *Populus trichocarpa*. Dabei wurden sowohl entrindete als auch unentrindete Stämme zur Spanerzeugung verwendet. Die hergestellten Spanplatten wurden auf eine Zielrohddichte von 500 kg je m³ (gewöhnlich ca. 650 kg je m³) eingestellt, um zu überprüfen, ob sich Werkstoffe mit deutlich geringerem Flächengewicht herstellen lassen. Die Spanplatten sollten die normativen Vorgaben an Möbelspanplatten trotz niedriger Rohdichte erfüllen. Als Referenz dienten Spanplatten, welche aus heute üblicherweise verwendetem Industriespangemisch hergestellt wurden.

Stichworte: Spanplatte, Matrix 49, Leichte Werkstoffe

1 Material und Methoden

Insgesamt wurden von einer 6-jährigen Versuchsfläche in Nordhessen 7 Stämme mit einem BHD von 8-12 cm geerntet. Die Stämme wurden in Abschnitte unterteilt und schließlich zu Hackschnitzel und Spänen zerkleinert. Die Späne wurden nach Trocknung auf eine Zielfeuchte von < 5 % mit einem handelsüblichen Harnstoff-Formaldehyd Kleber vom Typ K350 der Basf AG (Ludwigshafen) verklebt. Der Beleimungsgrad lag bei 8 % (Feststoff Klebstoff bezogen auf atro Holzmasse). Zur Härtungsbeschleunigung wurden 2 % (bezogen auf Feststoff Klebstoff) einer 33 %igen Ammoniumsulfat-Lösung [(NH₄)₂SO₄] zur Klebstoffflotte hinzugegeben. Nach manueller Streuung und mechanischer Vorverdichtung wurden die Spanmatten für 9 s je mm bei 200 °C zu 16 mm starken Spanplatten verpresst. Nach 1-tägiger Reifelagerung, Besäumung, Schleifen, Zuschneiden und 14-tägiger Klimatisierung wurden die hergestellten Proben in einer Universalprüfmaschine auf die mechanischen Eigenschaften Biegefestigkeit (3-Punkt; EN 310) und Querkzugfestigkeit (Zugfestigkeit senkrecht zur Plattenebene; EN 319) getestet. Die sorptiven Eigenschaften wurden durch Lagerung im Wasser für 24 Std. (EN 317) getestet. Die statistische Auswertung einschließlich einfaktorieller ANOVA wurde mit SPSS Statistics 17.0 durchgeführt.

2 Ergebnisse

Die ermittelten mechanisch-technologischen Ergebnisse der Pappelspanplatten als auch der Referenzspanplatten sind in Tabelle 1 aufgetragen.

Tabelle 1: Ermittelte mechanisch-technologische Eigenschaften der hergestellten Leichtspanplatten

Serie	Querzugfestigkeit (N je mm ²)	Biegefestigkeit (N je mm ²)	E-Modul (N je mm ²)	Dickenquellung (%)
„ohne Rinde“	0,52 (0,07) _{n=29}	10,68 (1,68) _{n=16}	1799 (266) _{n=16}	24,39 (3,73) _{n=18}
„mit Rinde“	0,47 (0,08) _{n=32}	10,95 (1,73) _{n=15}	1845 (256) _{n=15}	24,67 (2,60) _{n=32}
„Industriespan“	0,39 (0,12) _{n=28}	5,69 (1,35) _{n=15}	1272 (204) _{n=15}	22,22 (2,78) _{n=32}
Mindestwert nach EN 312 Typ 2 (Möbel)	0,35	13	1600	Keine Anforderung

Anhand der ermittelten Ergebnisse wird deutlich, dass leichte Spanplatten aus Spänen des Klons Matrix 49 hergestellt werden können. Die Ergebnisse übertreffen signifikant in fast allen Eigenschaften die Ergebnisse der Referenzplatten aus Industriespan deutlich. Keine statistisch signifikanten Unterschiede konnten zwischen entrindetem und unentrindetem Material festgestellt werden. Die insgesamt niedrigen Biegefestigkeiten lassen sich durch den 1-schichtigen Aufbau der Laborplatten erklären.

Korrespondierender Autor:

Dr. Lars Kloeser
Georg-August-Universität Göttingen
Abteilung Holztechnologie & Holzwerkstoffe
Büsenweg 4
37077 Göttingen
E-Mail: lkloese@gwdg.de
URL: www.holz.uni-goettingen.de

TREEFORJOULES – Verbesserung der Holzeigenschaften von Eukalyptus und Pappel für die Bioenergiegewinnung

Birte Pakull, Hilke Schröder und Matthias Fladung

Das KBBE-Projekt „TREEFORJOULES – Improving eucalypt and poplar wood properties for bioenergy“, ein Kooperationsprojekt mit je vier Partnern aus Frankreich und Spanien, drei Partnern aus Portugal und mit FI Biopos e.V. (Teltow-Seehof) sowie des Johann-Heinrich von Thünen-Instituts (vTI) aus Deutschland, hat das Ziel, neue Wege zur Bildung optimierten Holzes für die Produktion von hocheffizienten Biokraftstoffen aus Lignocellulose zu finden.

Dazu sollen regulatorische Prozesse bei der Zellwandbildung, der Lignin- bzw. Cellulose-Synthese in Pappel sowie Eukalyptus aufgedeckt werden. Regulatorische Kandidatengene (Transkriptionsfaktoren, microRNAs) für Holzeigenschaften sollen identifiziert und charakterisiert sowie hocheffiziente Methoden zur Phänotypisierung von Holzeigenschaften entwickelt werden. Bestehende genetische Karten sollen ausgebaut, aneinander angeglichen und zur Identifikation genomischer Regionen mit holzbeeinflussenden Eigenschaften genutzt werden.

Das vTI-Institut für Forstgenetik beteiligt sich in diesem Projekt u. a. durch die Erstellung eines Transkriptom von frühem Xylem (Holz) der Pappel, der Charakterisierung von Holzeigenschaften beeinflussenden Kandidatengenen durch die Analyse von RNAi- oder Überexpressions-Linien sowie mit dem Ausbau einer bestehenden Genkarte von *P. tremula* x *P. tremuloides*.

Die vTI-Institute für Holzbiologie und Holztechnologie werden einen wichtigen Beitrag zur Phänotypisierung von Holzeigenschaften erbringen.

Stichworte: Pappel, Eukalyptus, Biokraftstoffe, Holzeigenschaften

Korrespondierende Autorin:

Dr. Birte Pakull

Johann Heinrich von Thünen Institut (vTI), Institut für Forstgenetik

Sieker Landstr. 2

22927 Großhansdorf

E-Mail: birte.pakull@vti.bund.de

URL: <http://www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html>

Erhöhung des Biomasseertrags schnellwachsender Gehölze für geringwertige Standorte durch den Einsatz arbusculärer Mykorrhiza-Pilze

Hardy Dembny

Für die breite Nutzung geringwertiger Rest-, Sonder- und Ausgleichsflächen in Mischpopulationen verschiedener Laubgehölze wurden Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit *in vitro* vermehrter Vogelkirschen und Aspen bei Einsatz *in vitro* vermehrter arbusculärer Mykorrhiza-Pilze (AMP) durchgeführt. Mit Hilfe von AMP-Sporen in unterschiedlichen Formulierungen wurden Grad und Wirkung einer Mykorrhizierung während verschiedener technologischer Kulturschritte in der Anzucht *in vitro* vermehrter Vogelkirschen und Aspen untersucht. An 4 Standorten in Nordwestthüringen mit Ackerwertzahl zwischen 30 und 50 wurden Pflanzungen mit so vorbehandelten Gehölzen angelegt. Diese werden seit 2 Jahren beobachtet und bewertet.

In nahezu allen Varianten und über alle Klone konnte eine Förderung der Biomassezunahme (Längen- und Dickenwachstum) zwischen 5 und 20 % gegenüber der unbehandelten Kontrolle ermittelt werden. Voraussetzung dafür ist eine frühzeitige Inokulation der Pflanzen mit den AMP-Sporen. Bedingt durch die relativ lange Entwicklungszeit einer Mykorrhiza (10-15 Wochen) und die völlig unterschiedlichen Entwicklungsbedingungen *in vitro* von Pilz und Pflanze konnte eine Mykorrhizierung *in vitro* nicht erreicht werden. Aus diesem Grund fiel der Effekt einer Mykorrhizierung in einzelnen Kulturphasen (*in vitro* -> Überführung in Erde, Containeranzucht) sowie Kulturbedingungen (z. B. optimale Nährstoffversorgung) geringer aus und konnte in Bezug auf die Senkung der Ausfallrate während der Jungpflanzenanzucht nur unstetig beobachtet werden.

Die Erzeugung von AMP-Sporen *in vitro* erlaubt durch neuartige Formulierungen (z. B. Sporensuspension) die einfache und kostengünstige Mykorrhizierung während der Überführungsphase *in vitro* vermehrter Gehölze in Erdsubstrate und damit die frühzeitige Förderung des Wachstums bereits in der 1. Vegetationsperiode.

Die Arbeiten werden durch die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) finanziell unterstützt.

Stichworte: Mykorrhiza, *Prunus avium* L., *Populus tremula* L., *In vitro*-Vermehrung

Korrespondierender Autor:

Dr. Hardy Dembny
Baumschulen Oberdorla GmbH
Burgstr. 57
99986 Oberdorla

Der Baum aus der Pille – Untersuchungen zur Pillierung von Aspen-Saatgut¹

Gisela Naujoks und Ute-Katrin Krakau

Im Rahmen eines von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe geförderten Projekts werden seit Juli 2010 Untersuchungen zur Pillierung von Aspen-Saatgut durchgeführt. Während des Pillierungsprozesses wird das Saatgut mit Hüllmaterial bis zum gewünschten Kaliber ummantelt und anschließend im Luftstrom getrocknet. Dabei ist die Applikation von wuchsfördernden und schützenden Wirkstoffen möglich, jedoch kann die Einwirkung von Feuchtigkeit, Wärme und mechanischen Kräften während der Pillierung die Qualität der Samen auch negativ beeinflussen. Bei den beiden bisher erfolgreichsten Pillierungsvarianten reduzierte sich die Keimfähigkeit der Aspensamen von 91 auf 86 bzw. 81 %. Bei einer Hybridpappel-Probe, die mit den gleichen Varianten pilliert wurde, keimten noch 17 bzw. 33 % im Vergleich zu 68 % vor der Behandlung. Erste Ergebnisse eines Lagerungsversuchs mit pilliertem und unpilliertem Aspen-Saatgut bei vier verschiedenen Temperaturen zeigten, dass bei allen Temperaturvarianten in den pillierten Samen eine höhere Keimfähigkeit erhalten blieb als in den unpillierten.

Stichworte: *Populus tremula*, Zitterpappel, Keimfähigkeit, Aussaat, Saatgutlagerung

1 Einleitung

Besonders auf nährstoffarmen und trockenen Böden ist die Aspe (*Populus tremula* L.) besser geeignet für den Anbau als nachwachsender Rohstoff als andere Pappeln und Weiden. Im Gegensatz zu leicht bewurzelbaren Pappel-Arten lassen sich Aspen nicht kostengünstig vegetativ über Steckhölzer vermehren. Die vegetative Vermehrung von Aspen-Klonen über Grünstecklinge, Wurzelschnittlinge oder Gewebekultur ist möglich, jedoch relativ aufwändig. Eine Alternative könnte die Verwendung von hochwertigem Saatgut sein. Aspensamen sind sehr empfindlich; unter natürlichen Bedingungen bleiben sie nur wenige Wochen lebensfähig (SIMAK 1980, WORREL et al. 1999) und ihre geringe Samengröße macht die Aussaat schwierig und arbeitsaufwändig.

Im Rahmen eines von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe geförderten Projekts werden seit Juli 2010 Untersuchungen zur Pillierung von Aspen-Saatgut durchgeführt. Ziel ist es, die Lagerfähigkeit und Ablageeigenschaften der

¹ Posterbeitrag wurde nachträglich ausgearbeitet.

Samen zu verbessern, um maschinelle Aussaatverfahren nutzen zu können und dadurch aufwendiges Pikieren und mehrfaches Umsetzen zu reduzieren.

Auch andere Arten der Gattung *Populus* werden in die Untersuchungen einbezogen. Hier könnte die Pillierung die Verwendung generativ erzeugten Vermehrungsguts fördern und damit die genetische Vielfalt der Arten erhöhen.

2 Material und Methoden

Die Methode der Saatgutpillierung diente ursprünglich der Vergrößerung und besseren Formgebung von Samen (LAMPRECHT 2008) und ist für einige landwirtschaftliche Saatgutarten seit langem üblich.

Für die ersten Pillierungsversuche im Rahmen des Projekts konnte Saatgut von reiner Aspe (*Populus tremula*, Ernte 1990, 2004 – beides von der Fa. Bunk, Elmsborn - und 2010 – Revier Waldsiefersdorf), Hybridpappel (*P. maximowiczii* × *P. nigra*, Ernte 2009 – Rev. Waldsiefersdorf) sowie Schwarzpappel und Weißpappel (*P. nigra* und *P. alba*, beides Ernte 2010 – Fa. Semillas Montaraz, Spanien) genutzt werden.

Im Frühjahr 2011 wurde die Ernte reiner Aspe und Hybridaspe (*P. tremula* × *P. tremuloides*) durch die Saatguternte-Firma BaumZeit, Eberswalde durchgeführt. Die Samenaufbereitung erfolgte im institutseigenen Gewächshaus und Labor. Die Fruchtstände wurden bis zum Aufbrechen der Kapseln warm und trocken gelagert, die Samen im Luftstrom vom Flaum getrennt, gereinigt und für die Tiefkühl-Einlagerung auf 6-8 % Feuchtigkeit getrocknet.

Die Pillierung der Samen übernahm das Versuchslabor der Firma SUET GmbH in Eschwege, wo man über langjährige Erfahrung mit landwirtschaftlichem und gärtnerischem Saatgut verfügt. Die Samen werden dabei in einem Rotations-Pilliersystem mit Hüllmaterial bis zum gewünschten Kaliber ummantelt und anschließend im Luftstrom getrocknet. Während dieses Prozesses sind die Samen der Einwirkung von Feuchtigkeit, Wärme und mechanischen Kräften ausgesetzt, was sich negativ auf ihre Keimfähigkeit auswirken kann. Andererseits ist die Applikation von wuchsfördernden und schützenden Wirkstoffen während der Pillierung möglich. Zwei verschiedene Pillierungsvarianten wurden getestet. Variante 7 (Standardpillierung) entspricht der nach den Erfahrungen der Firma SUET für Samen dieser Größe am besten geeigneten Hüllmassenzusammensetzung. Bei Variante 8 wurde der Anteil des Bindemittels im Hüllmaterial erhöht, um mehr Stabilität zu erreichen.

Ein erster Lagerungsversuch von beiden Pillierungsvarianten sowie unpilliertem Aspen-Saatgut der Ernte 2010 wurde bei Raumtemperatur (RT, 21 +/-2 °C), im Kühlschrank (6 +/-3 °C), im Tiefkühlschrank (FKT, -11 +/-3 °C) und in der Gefriertruhe (TKT, -20 +/-1°C) angelegt. Dazu wurde je eine kleine Menge des Samens in Polyethylenbeutel eingeschweißt. Die Kontrolle der Keimfähigkeit

erfolgte bei Raumtemperatur 14-tägig, bei Kühlschranktemperatur vierwöchentlich und bei den Tiefkühlvarianten nach mehreren Monaten.

Die Keimtests wurden in Anlehnung an die ISTA-Vorschrift durchgeführt (ISTA 2009). Es wurden 4 x 100 Samen auf feuchtem Filterpapier ausgelegt und bei 21 +/- 2 °C unter Weißlichtbedingungen kultiviert. Bei der Sämlingsbeurteilung nach 7 und 14 Tagen wurde besonderes Augenmerk auf die Größe des Keimlings, gestrecktes Hypokotyl, gut ausgebildete Keimblätter und das Vorhandensein der Hauptwurzel mit Hypokotyl-Haarkranz gelegt. Die Bestimmung des Tausendkorngewichts erfolgte ebenfalls nach ISTA-Vorschrift an 8 x 100 Samen. Länge und Breite wurde an 100 Sameneinheiten am Stereo-Zoom-Mikroskop mit Hilfe der Cell^B-Bildverarbeitungssoftware von Olympus ermittelt.

3 Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 1 gibt für die wichtigsten Versuche einen Überblick über das Gewicht, die Größe und die Keimfähigkeit der pillierten Samen im Vergleich mit den unpillierten. Auf die nähere Darstellung der Ergebnisse für die spanische Schwarz- und Weißpappelprobe soll hier verzichtet werden. Beide wiesen bereits unbehandelt eine niedrige Keimfähigkeit von 6 bzw. 27 % auf, was jedoch vor der Pillierung nicht bekannt war. Die Verringerung der Keimfähigkeit um 5 bzw. 6 % auf 1 bzw. 21 % erscheint zwar nicht dramatisch, jedoch ist die Pillierung für eine so geringe Saatgutqualität eigentlich nicht zu empfehlen. Abbildung 1 zeigt unpillierten und pillierten Aspensamen im Größenvergleich.



Abbildung 1: Samen von Aspe (*Populus tremula* L.) vor und nach der Pillierung

Tabelle 1: Kenngrößen von unpillierten und pillierten Samen (Var. 7: Standardpillierung der Fa. SUET GmbH; Var. 8: Pillierung mit höherem Bindemittel-Anteil; TKM: Tausend-kornmasse)

Samen	Behandlung	Kaliber [mm]	TKM [mg]	Länge [µm]	Breite [µm]	Keimfähigkeit [%] 21 +/-2°C
Aspe 2010	unpilliert		113	1256	575	91
	Var. 7	1-1,25	987	1870	1210	88
	Var. 8	1-1,25	1115	1934	1213	82
	Var. 7	2-2,5	5826	2576	2180	2
	Var. 8	2-2,5	5920	2595	2164	5
Pappel 2009	unpilliert		182	1406	646	68
	Var. 7	1-1,25	1204	1970	1220	17
	Var. 8	1-1,25	1166	1972	1207	33
Aspe 2011	unpilliert		122	1128	582	73
	Var. 8	1-1,25	700	1679	1052	62
Hybrid- Aspe 2011	unpilliert		115	968	566	85
	Var. 8	1-1,25	665	1634	1099	65
Aspe Bialystok 90	unpilliert		124	1179	584	56
	Var. 8	1-1,25	748	1737	1051	47

Bei den beiden bisher erfolgreichsten Pillierungsvarianten – Aspe 2010 Variante 7 und 8 mit dem Kaliber 1-1,25 mm - erhöhte sich das Gewicht der Aspensamen auf das 9-10-fache, die Länge und Breite auf das 1,5- bzw. 2-fache. Die Keimfähigkeit wurde dabei nur geringfügig reduziert, von 91 auf 88 bzw. 82 %. Der bisher einzige in der Literatur gefundene Versuch einer Aspensamen-Pillierung gibt bei einer Ausgangskeimfähigkeit von 76 % einen Rückgang nach der Pillierung auf 16 % Keimfähigkeit an (HEINDRICHS 1992).

Bei der Pillierung von Hybridpappel-Samen mit den gleichen Varianten sank die Keimfähigkeit stärker, von 68 % vor der Behandlung auf 17 bzw. 33 %. Hier wäre zu prüfen, ob sich generell Samen dieser Pappelart weniger gut zur Pillierung eignen oder ob das Samenalter (2-jährige Tiefkühlagerung) hier ausschlaggebend war. Die Keimtestergebnisse für die Pillierungen von Aspe und Hybrid-Aspe 2011

sowie Aspe Bialystok 90 sind etwas niedriger als bei Aspe 2010, liegen aber durchaus noch in einem akzeptablen Bereich.

Der Versuch mit einer dickeren Pillierung (Aspe 2010, Kaliber 2-2,5 mm) zeigt mit Keimfähigkeiten von 2 und 5 % die Grenzen der Umhüllbarkeit des Lichtkeimers Aspe.

Erste Aussaatversuche in Containern mit Vermehrungserde im Gewächshaus haben die Labor-Ergebnisse für die Keimfähigkeit bestätigt. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich dabei auf bis zu 8 Wochen, um die Sämlingsqualität besser einschätzen zu können.

Zur Pillierung von sehr feinem Saatgut mit dem Ziel der Verbesserung der Aussaattechnologie und der Keimergebnisse liegen bisher kaum Erkenntnisse vor. SCHOCKERT et al. (2008) haben an Saatgut von Petersilie und Kümmel die Wirksamkeit der Pillierung – auch unter Einbeziehung eines Fungizids und eines pflanzenstärkenden Bakterienpräparats - untersucht und stellten eine deutlich verringerte Keimschnelligkeit und z. T. geringere Frischmassen der Keimlinge aus pillierten Samen fest. Die Keimfähigkeit insgesamt war in diesen Fällen allerdings nicht signifikant schlechter als die der unbehandelten Samen. Es konnte keine deutliche Wirkung der Pillierungszusätze zur Hemmung der problematischen Auflaufschadpilze bzw. zur Stärkung der Pflanzenqualität berichtet werden. Versuchsansätze in dieser Richtung müssen für Aspen- oder anderes Pappel-Saatgut erst noch geprüft werden.

Die bisherigen Ergebnisse der Lagerungsversuche mit pillierten und unpillierten Aspensamen sind in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt.

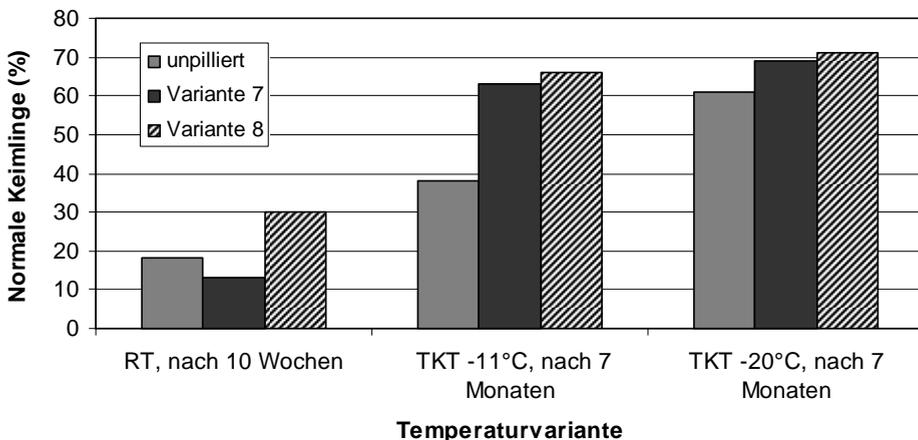


Abbildung 2: Ergebnisse des 1. Lagerungsversuchs (Aspe 2010) bei Raum- und Tiefkühltemperatur (RT und TKT) (Anteil normaler Keimlinge[%])

Entsprechend den Literaturaussagen verloren die Aspensamen bei Lagerung unter natürlichen Bedingungen schnell ihre Keimfähigkeit. Nach 14 Wochen wurde der

Versuch mit Keimfähigkeiten von nur noch 1 bis 6 % abgebrochen. In Abbildung 2 sind exemplarisch die Verhältnisse nach 10 Wochen sowie für die Tiefkühlagerungen nach 7 Monaten dargestellt. Bei beiden Tiefkühltemperaturen zeigen die pillierten Varianten nach 7 Monaten Lagerung höhere Keimfähigkeiten als die unpillierten Samen. Die Variante 8 mit höherem Bindemittelanteil in der Hüllmasse ist sowohl bei Tiefkühl- als auch bei Raumtemperatur überlegen. Bei der Kühlschrantlagerung zeigt sich die Überlegenheit der Variante 8 nach der 24. Woche noch deutlicher (s. Abb. 3).

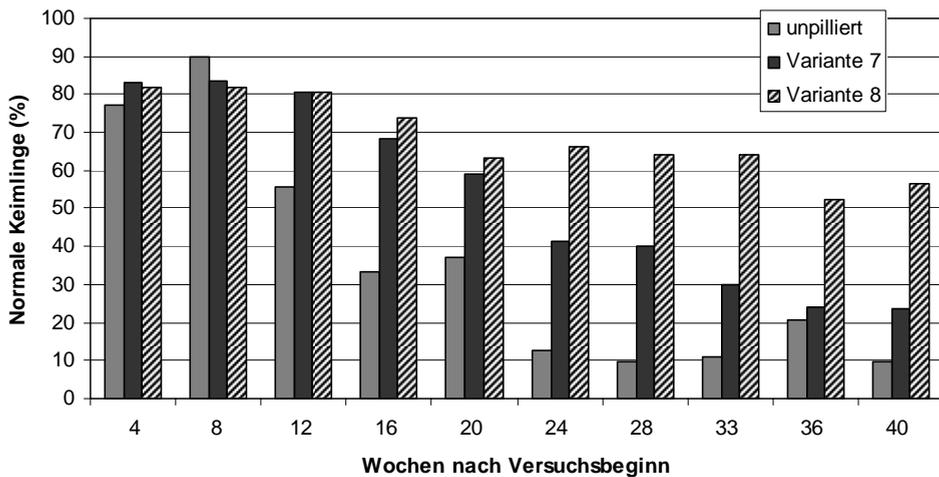


Abbildung 3: Ergebnisse des 1. Lagerungsversuchs bei Kühlschrantemperatur über 40 Wochen (Anteil normaler Keimlinge [%])

4 Resümee und Ausblick

Bei den Pillierungsversuchen mit Saatgut von Aspe und Hybrid-Aspe konnten nach der Pillierung noch gute bzw. zufrieden stellende Keimfähigkeiten erhalten werden. Für die Hybridpappel muss in nachfolgenden Versuchen mit anderem bzw. frischerem Samenmaterial die Eignung dieser Art für die Pillierung geprüft werden.

In den Lagerungsversuchen zeigte die Pillierungsvariante 8 mit höherem Bindemittelanteil in der Hüllmasse einen deutlich positiven Effekt auf die Erhaltung der Keimfähigkeit. Weitere Varianten mit anderer Zusammensetzung der Hüllmasse sollten getestet werden. Dabei soll auch die Applikation von wuchsfördernden und schützenden Wirkstoffen wie Fungiziden und Mikroorganismen untersucht werden.

Bei einer Befragung von Baumschulen, die sich mit der Anzucht von Aspen-sämlingen befassen, stieß das Projekt auf Interesse und die Bereitschaft zur Unterstützung bei künftigen Praxisversuchen.

Literatur

- HEINDRICH, T. (1992): Aspensaat auf Sturmwurfflächen Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- INTERNATIONAL SEED TEST ORGANISATION (ISTA) (2009): Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut
- LAMPRECHT, H. (2008): Pillierung von Saatgut. In: KRUSE, M. (Hrsg): Handbuch der Saatgutaufbereitung. Agrimedia Verlag, 195-201
- SCHOCKERT, K.; BLUM, H. u. NEGA, E. (2008): Möglichkeiten der Saatgutpillierung von Arznei- und Gewürzpflanzen für den ökologischen Anbau am Beispiel von Petersilie und Kümmel (Ergebnisbericht zur Projektverlängerung). http://orgprints.org/15695/2/15695-03OE127_1-dlr-schockert-2008-saatgutpillierung.pdf
- SIMAK, M. (1980): Germination and storage of *Salix caprea* L. and *Populus tremula* L. seeds. International Symposium of Forest Tree and Seed Storage, Proceedings, 1980 Sept. 23-27; Chalk River, ON. Ottawa: Canadian Forestry Service
- WORRELL, R.; GORDON, A.G. LEE, R.S. u. MCINROY, A. (1999): Flowering and seed production of aspen in Scotland during a heavy seed year. *Forestry*, Vol. 72, No. 1, 27-34

Korrespondierende Autorin:

Gisela Naujoks
Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI)
Institut für Forstgenetik
Eberswalder Chaussee 3A
15377 Waldsiedersdorf
E-Mail: gisela.naujoks@vti.bund.de
URL: <http://www.vti.bund.de/de/startseite/institute/fg.html>

Kleine Bakterien – Große Wirkung? Endophytische Bakterien fördern das Wachstum von Bäumen

Kristina Ulrich, Regina Becker, Hannelore Enkisch, Christian Scherling, Wolfram Weckwerth und Dietrich Ewald

Wachstumsfördernde Effekte endophytischer Bakterien gehen auf unterschiedlichste Mechanismen zurück wie die Produktion antibiotischer Verbindungen, die Induktion von Resistenzen, die Synthese von Enzymen oder Phytohormonen oder die Fixierung von Luftstickstoff.

Um die Wirkung einzelner Endophyten auf das Pflanzenwachstum gezielt untersuchen und den Einfluss anderer Endophyten weitgehend auszuschließen zu können, wurden *in vitro*-Pappelklone durch Isolation von Meristemen und anschließende Regeneration von Sprossen aus dem meristematischen Gewebe bakterienfrei gemacht und vermehrt. Durch Beimpfung dieser Pflanzen mit verschiedenen Endophyten konnte eine signifikante Steigerung des Wurzel- und Sprosswachstums im *in vitro*-Test nachgewiesen werden.

Anhand von Metabolitenanalysen wurden erste Untersuchungen zum Einfluss eines endophytischen *Paenibacillus*-Stammes auf den Stoffwechsel von Pappel-pflanzen durchgeführt. Ein starker Anstieg stickstoffhaltiger Metabolite wie Asparagin und Harnstoff und eine deutliche Beeinflussung des Citratcyclus bei der beimpften Variante zeigt, dass die Bakterien ein spezifisches Stoffwechsellmuster induzieren, das dem der Leguminosensymbiose sehr ähnlich ist. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Bakterien Stickstoff aus der Luft binden und an die Pflanze abgeben.

Auch erste Untersuchungen zur Inokulation von Pappelstecklingen mit endophytischen Bakterien im Gewächshaus ergaben eine deutliche Erhöhung des Wurzelwachstums und werden derzeit im Rahmen eines FNR-Projektes im größeren Maßstab angelegt.

Stichworte: Endophytische Bakterien, Pappel, *Paenibacillus*, Stickstoff

Korrespondierende Autorin:

Dr. Kristina Ulrich
Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Forstgenetik
Eberswalder Chaussee 3a
15377 Waldsiedersdorf
E-Mail: kristina.ulrich@vti.bund.de

Phylogenetische Analysen in den Pappel-Sektionen Aigeiros und Tacamahaca

Steffen Fehrenz und Serge Havel

Im Rahmen der laufenden Arbeiten zur Genotypisierung von Pappeln für die Feldprüfung im Energieholzanbau des Züchtungsprojekts FastWood der NW-FVA konnte ein Datensatz von 29 Mikrosatelliten-Genorten und bisher 55 verschiedenen Klonen der Sektionen Aigeiros und Tacamahaca sowie der Sektion Leucoides als Außengruppe für eine phylogenetische Analyse herangezogen werden.

Zur Berechnung der genetischen Abstände zwischen den einzelnen Taxa wurde das Distanzmaß „F-st“ gewählt und mit der Software „Genepop“ berechnet. Die Prozessierung innerhalb eines Dendrogramms erfolgte über „R“ mit der Cluster-Methode „Complete“. Anschließend wurden die genetischen Distanzen für die Darstellung in einer Hauptkoordinaten-Analyse genutzt und über „R“ berechnet.

Die entstandenen taxonomischen Gruppierungen folgen generell dem bisherigen Stand der Forschung (u. A. CERVERA et al. 2005, HAMZEH u. DAYANANDAN 2004 und LIESEBACH et al. 2009). Dennoch wurden in unserer Untersuchung bisher wenig diskutierte Aspekte der geographischen Evolution sichtbar. Neben der typischen Gruppierung der genannten Sektionen, die auf einer morphologischen Zuordnung beruht, konnte unter dem Aspekt „Wright’s Model of Isolation by Distance“ eine noch tiefgreifendere Differenzierung der beiden Sektionen in ihre geographischen Refugien dargestellt werden. Die glaziale Trennung der im Tertiär verbundenen Kontinente Amerika und Eurasien ergibt eine Zuordnung in die bisher noch nicht bestehenden Sektionen Aigeiros Amerika, Aigeiros Europa, Tacamahaca Amerika und Tacamahaca Asien. In der Hauptkoordinaten-Analyse wird sichtbar, dass die Sektionen Tacamahaca Asien und Aigeiros Europa innerhalb Eurasiens länger als die Sektionen Tacamahaca und Aigeiros Amerika unter reproduktivem Kontakt standen. Alle intra- und intersektionellen Bastarde nehmen eine den morphologischen und geographischen Sektionen zuordenbare intermediäre Stellung im Hybridschwarm ein.

Stichworte: Pappel, SSR, Mikrosatelliten, Phylogenie, Hybriden, Sektion Aigeiros, Sektion Tacamahaca

Literatur

- CERVERA, M.T.; STORME, V.; SOTO, A.; IVENS, B.; VAN MONTAGU, M.; RAJORA, O. P. u. BOERJAN, W. (2004): Intraspecific and interspecific genetic and phylogenetic relationships in the genus *Populus* based on AFLP markers. *Theor Appl Genet* (2005) 111, 1440-1456
- HAMZEH, M. u. DAYANANDAN, S. (2004): Phylogeny of *Populus* (Salicaceae) based on nucleotide sequences of chloroplast TRNT-TRNF region and nuclear RDNA. *American Journal of Botany* 91(9), 1398-1408
- LIESEBACH, H.; SCHNECK, V. u. EWALD, E. (2009): Clonal fingerprinting in the genus *Populus* L. by nuclear microsatellite loci regarding differences between sections, species and hybrids. *Tree Genetics & Genomes*: DOI 10.1007/s11295-009-0246-5

Korrespondierender Autor:

Steffen Fehrenz

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung Waldgenressourcen

Prof. Oelkers Str. 6

34346 Hann. Münden

E-Mail: steffen.fehrenz@nw-fva.de

Stickstoffumsatz in einer Kurzumtriebsplantage in Nordost-Deutschland

Jürgen Kern, Antje Balasus und Volkhard Scholz

Im Rahmen eines von der FNR geförderten Projekts „Einfluss der mineralischen N-Düngung auf den Biomassertrag von Pappel und Weide und Ermittlung relevanter Umweltwirkungen“ werden auf einem brandenburger Sandstandort die Stickstoffflüsse in einer Kurzumtriebsplantage untersucht. Das Ziel des Projekts ist die Optimierung der Stickstoffdüngung. Das bedeutet höchstmögliche Erträge bei gleichzeitig geringster Umweltbelastung (Nitratauswaschung, N₂O-Emissionen) zu erzielen.

Die untersuchten Kurzumtriebsgehölze sind Pappel (*Populus maximoviczii* × *P. nigra* Klon Max 4) und Weide (*Salix viminalis* Klon Inger), die im April 2008 als Stecklinge gesetzt wurden und nach zwei Jahren ein erstes Mal geerntet wurden. In Anlehnung an das ProLoc-Versuchsdesign werden die Feldversuche in einer randomisierten Blockanlage durchgeführt. Zusätzlich wird die Wirkung von mineralischem Stickstoff, der in vier Stickstoffdüngungsstufen (0,25, 50 und 75 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr) appliziert wird, untersucht. Bodenbürtige Emissionen des Treibhausgases N₂O werden gaschromatographisch nach Anreicherung in geschlossenen Hauben gemessen. Die Auswaschung der sehr mobilen Nitratfraktion wird mit Hilfe der Harzboxentechnik in halbjährigem Abstand erfasst.

Nach der ersten Ernte zeigte sich, dass der Trockenmasse-Ertrag der Gehölze mit der Stickstoffdüngungsrate nicht korreliert. Mit zunehmender Intensität der Stickstoffdüngung wurde allerdings vermehrt Nitrat-Stickstoff ausgewaschen und N₂O freigesetzt. Auf den mit 75 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr gedüngten Flächen wurden bis zu 53 % des applizierten Stickstoffs aus der Hauptwurzelzone von Pappel in 1 m Tiefe ausgewaschen. Bei der Weide lag dieser Anteil bei 32 %. Ein weiterer bedeutender Stickstoffverlust erfolgt durch Mineralisationsprozesse im Boden mit N₂ als gasförmiges Endprodukt. Darüber hinaus spielt die Freisetzung von N₂O eine besondere Rolle wegen seines hohen Treibhausgaspotenzials. Der durchschnittliche Emissionsfaktor für N₂O lag im Pappelbestand bei 0,12 % und im Weidenbestand bei 0,41 %. Diese Werte liegen deutlich unter dem Wert von 1 %, der vom Weltklimarat (IPCC) für landwirtschaftliche Flächen in gemäßigten Klimazonen noch als vertretbar angesehen wird.

Negative Begleiterscheinungen der Stickstoffdüngung sind während der Etablierungsphase von Pappel und Weide als mäßig einzustufen. Da düngungsbedingte Ertragssteigerungen sowohl bei Pappel als auch bei Weide zum gegenwärtigen Zeitpunkt am Potsdamer Versuchsstandort nicht erkennbar sind, bedarf es der

Untersuchung von ein bis zwei weiteren Erntephasen, um die mögliche Verzichtbarkeit des Einsatzes von Stickstoffdünger sicher zu belegen.

Stichworte: Pappel, Weide, Stickstoffdüngung, Ertrag, Auswaschung, Treibhausgase

Korrespondierender Autor:

Dr. Jürgen Kern

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)

Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam

E-Mail: jkern@atb-potsdam.de

URL: <http://www.atb-potsdam.de/>

Dienstleistungen und Auftragsforschungen zur Beurteilung der photosynthetischen Leistungsfähigkeit von Nutzpflanzen und Forstpflanzen

Daniel Weber

Daniel-Weber-Biomonitoring ist ein neu gegründetes innovatives Serviceunternehmen im Bereich pflanzliches Biomonitoring.

Der Schwerpunkt des Unternehmens liegt bei Dienstleistungen und Auftragsforschungen zur zuverlässigen Beurteilung der photosynthetischen Leistungsfähigkeit von Nutzpflanzen und Forstpflanzen. Die Verwendung schneller, nicht invasiver biophysikalischer Methoden, ermöglicht es innerhalb kürzester Zeit auch größere Pflanzenbestände zu erfassen, ohne dabei die Pflanzen zu schädigen. Die für den Aufbau von Biomasse essentielle photosynthetische Performance wird dabei anhand reproduzierbarer Leistungsparameter ermittelt. Diese erlauben Vorhersagen über den zu erwartenden Biomassezuwachs, bereits in einem frühen Entwicklungsstadium der Pflanze. Der Zusammenhang zwischen den die Leistung indizierenden Performace-Parametern und der tatsächlichen Wuchsleistung wurde in Zusammenarbeit mit der NW-FVA bei *Salix* und *Populus* erfolgreich und statistisch signifikant bestätigt (FEHRENZ u. WEBER, Posterbeitrag, in diesem Band S. 425).

Durch die verwendete Methodik können hochperformante Sorten schnell von schlechten differenziert werden. Damit wird es möglich potentielle Leistungsträger auszuloben. Die Kenntnis der Leistungsfähigkeit und eine gleichzeitige Messung des Wirkungsgrades der Photosynthesekette, ermöglicht es den Einsatz von kostenintensiven Düngemitteln auf ein Minimum zu reduzieren.

Auf die Pflanze einwirkende Stressfaktoren (wie z. B. Wassermangel oder Nährstoffmangel) sind identifizierbar und quantifizierbar. Eventuelle Schädigungen der Pflanzen können dabei frühzeitig erkannt werden, mögliche ökonomische Verluste sind dadurch vermeidbar.

Für belaubte Pflanzen sind Zustandsbewertungen und Transportkontrollen möglich. Eventuelle Schäden, die während des Transport entstanden sind, können direkt nach Wareneingang festgestellt werden. Genauso können für den Transport vorgesehene Pflanzen bewertet und der Vitalitätszustand dokumentiert und bescheinigt werden. Eventuellen Regressansprüchen kann dadurch wirksam vorgebeugt werden.

Stichworte: Biomonitoring, Wuchsleistung, Nutzpflanzen, Forstpflanzen *Salix*, *Populus*, Nährstoffmangel, Leistungsparameter

Korrespondierender Autor:

Daniel Weber

Daniel-Weber-Biomonitoring

Heinrich-Hoffmann-Str. 5

60528 Frankfurt am Main

E-Mail: info@dw-biomonitoring.com

URL: <http://www.dw-biomonitoring.com>

Photosyntheseeffizienz und Blattfläche: Steigerung des Ertrags und der Züchtungseffizienz durch frühe Diagnose von Leistungsparametern bei Pappeln und Weiden

Steffen Fehrenz und Daniel Weber

Die aus gezielten Kreuzungen selektierten Neuzüchtungen zeigen ihre Qualitäten erst nach mehrjährigen Feldprüfungen. In diesem Zusammenhang durchgeführte Korrelationsanalysen der NW-FVA (siehe Posterbeitrag BRIEBACH et al., in diesem Band S. 364) zeigen bei Pappeln nur einen geringen Zusammenhang in der Volumenleistung der verholzten Aufwüchse (ohne Blätter) zwischen zweijährigen Sämlingen (Ortet) und den aus diesen Pflanzen hervorgegangenen, in der Vorselektion über Steckhölzer vermehrten zweijährigen Klone (Ramet).

Schon länger wird in Züchtungsprogrammen angestrebt, ein Mittel zu finden, welches ein Kriterium zur frühen Selektion von Genotypen, deren physiologische Merkmale mit der Biomasseausbeute korrelieren, bietet. Ein offensichtlicher Zusammenhang zwischen der Wuchsleistung und der für das Einfangen von Licht zuständigen Blattfläche wurde durch TAYLOR et al. (2003) für ausgewählte Weidenklone dargestellt. Die jährliche Investition der sommergrünen Breitlaubgehölze in die Blattmasse ist immer auch eine Frage der spezifischen Ressourcenverteilung der jeweiligen Pflanze. Die Größe eines Blattes ist ein Produkt der Bilanz zwischen Transpiration, Lichtangebot und photosynthetischer Effizienz und somit den spezifischen ökologischen Bedingungen des natürlichen Verbreitungsgebietes der jeweiligen Art angepasst. Demzufolge liegt ein Kontinuum zwischen kleinen effizienten und großen ineffizienten Blättern. Für die Züchtung von höchstem Interesse sind aber photosynthetisch sehr effiziente Blätter mit gleichzeitig großen Blattflächen. Das physiologische Potenzial eines Blattes lässt sich anhand von Effizienzuntersuchungen der Photosynthese-Systeme durch die Messung der Chlorophyllfluoreszenz schon für einjährige Pflanzen ermitteln. Die hierfür zur Verfügung stehende Messung des Performance Index $PI_{(TOI)}$ (STRASSER et al. 2010, siehe auch Posterbeitrag WEBER u. FEHRENZ, in diesem Band S. 372) ist ein geeignetes Werkzeug zur Detektion der Effektivität mit der die jeweilige Pflanze die angebotene Sonnenenergie einfängt und dem Stoffwechsel zur Verfügung stellt.

In einer Weiden- und einer Pappel-Prüffläche wurden für 34 Weiden- und 12 Pappelklone die relativen Blattflächen ermittelt. Hierbei wurden je Prüfglied in einem determinierten Abschnitt des oberen Drittels der Pflanze drei Blätter durch ihre Länge x Breite („Blattflächenindex“) typisiert und die Anzahl der Blätter im

selben Abschnitt auf einer Länge von 15 cm (Weide) und 40 cm (Pappel) ermittelt. Aus der Multiplikation des durchschnittlichen Blattflächenindex mit der Blattzahl je Trieblänge wurde die „Relative Blattfläche“ je Pflanze projiziert. Es wurde weiterhin wenigstens eine Messung zur Chlorophyllfluoreszenz je Prüfling im selben Sprossbereich durchgeführt. Als Bezugsgröße für eine Korrelationsanalyse wurde bei den Weiden die Höhe und bei den Pappeln der Wurzelhalsdurchmesser an derselben Pflanze ermittelt. Es wurde zum einen der $CF-PI_{(TOT)}$ und in einer zweiten Variante der $CF-PI_{(TOT)}$ mit der „Relativen Blattfläche“ multipliziert und den Wachstumsparametern gegenübergestellt.

Es konnte bei Weiden und Pappeln jeweils in beiden Varianten eine mittlere positive Korrelation festgestellt werden. Die Umrechnung der $CF-PI_{(TOT)}$ mit der Blattfläche ergab aber einen noch stabileren Wert. Durch diese Ergebnisse konnte eindeutig ein Zusammenhang zwischen der Effektivität der Photosysteme in Bezug auf ihre Blattfläche gegenüber den Wachstumsparametern Höhe bei Weiden und Wurzelhalsdurchmesser bei Pappeln festgestellt werden.

Stichworte: Weide, Pappel, Blattfläche, Chlorophyllfluoreszenz, Leistungsparameter, Frühselektion

Literatur

- STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; QIANG, S. u. GOLTSEV, V. (2010): Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. *Biochimica et Biophysica Acta* 1797, 1313-1326
- TAYLOR, G.; ROBINSON, K. u. KARP, A. (2003): Identifying physiological traits for yield in biomass willow. University of Southampton: FES B/W6/00599/REP/2 DTI/Pub URN 03/1301

Korrespondierender Autor:

Steffen Fehrenz

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Genressourcen

Prof.-Oelkers-Str. 6

34346 Hann. Münden

E-Mail: steffen.fehrenz@nw-fva.de

Untersuchungen zur natürlichen genetischen Variabilität der Pappel im Rahmen des BMBF Verbundprojektes „ISOWOOD-BREEDING“

Katrin Linke, Matthias Meyer, Frank Hortig, Gerhard Helle und Doris Krabel

Eine Grundvoraussetzung zur Etablierung großflächiger Pappel-Kurzumtriebsplantagen ist die Bereitstellung von „geeignetem Pflanzenmaterial“, welches auch auf Marginal Standorten und unter den Bedingungen des vorhergesagten Klimawandels einen wirtschaftlich konkurrenzfähigen Biomasse Ertrag bietet. Besonders während der juvenilen Phase wirkt sich eine unzureichende Wasserversorgung negativ auf das Wachstumsverhalten der Bäume aus. Von züchterischem Interesse sind daher vor allem die Merkmale Wassernutzungseffizienz (WUE) und Biomasseproduktion.

Forschungsgegenstand des Projektes „ISOWOOD-BREEDING“ ist *Populus tremula* (L.), eine bezüglich der Wasserversorgung sowie der Nährkraft des Bodens eher anspruchslose Pappelart mit hoher allelischer Variabilität. Im Laufe der Evolution hat diese Art komplexe Mechanismen entwickelt, um an sehr heterogenen Standorten zu überleben und ein weites Verbreitungsgebiet besiedeln zu können. Bisherige Studien zeigen, dass sich die phänotypische Vielfalt dieser Art auf genetischer Ebene in Form einer hohen genetischen Variabilität widerspiegelt (INGVARSSON 2005).

Ein Ziel des Projektes ist es, mittels des „Kandidatengen Ansatzes“ adaptive genetische „Polymorphismen“ zu identifizieren und für eine „DNA Marker-gestützte“ Züchtungsstrategie nutzbar zu machen. Im Vordergrund stehen dabei Gene, die der phänotypischen Variation der Bäume bezüglich der Merkmale WUE, Stresstoleranz und Trockenheitsanpassungen der Holzanatomie zu Grunde liegen. Die Auswahl der Kandidatengene erfolgt über eine Literaturrecherche.

Autochthon erwachsene Bäume wurden entlang zweier Nord-Süd Gradienten an 11 Standorten innerhalb Deutschlands beprobt. Die DNA wurde aus Blättern oder Knospen extrahiert und mit der „Sanger-Sequenzier“ Methode analysiert. Bislang konnten in einer Teilpopulation von 93 Individuen 113 SNPs (single nucleotide polymorphism) mit einer durchschnittlichen Genotypisierungsrate von 89,5 % identifiziert werden (Genotypisierungsrate mindestens 80 %).

Gegenwärtig erhöhen wir die Anzahl der Individuen auf 25-30 pro Probenpunkt und planen 20 weitere Kandidatengene zu untersuchen. Dieser erweiterte SNP-Datensatz soll es uns ermöglichen, die Populationsstruktur von *P. tremula* innerhalb unseres Beprobungsgebietes zu charakterisieren und Positionen in den

Kandidatengen zu identifizieren, deren Allelfrequenzen auf das Wirken adaptiver Selektion hinweisen.

In einer klassischen Assoziationsstudie wollen wir die phänotypischen Merkmale unseres Wildkollektivs unter vergleichbaren Umweltbedingungen beschreiben und untersuchen, ob diese mit bestimmten Allelfrequenzen korrelieren. Hierfür wurden die o. g. 93 Bäume vermehrt und auf einer Versuchsfläche unter bewässerten und unbewässerten Bedingungen kultiviert.

Erste Ergebnisse bezüglich des Zuwachses im 1. Jahr werden für September 2011 erwartet. Eine Vergrößerung des „*P. tremula*-Wildkollektivs“ und weitere Phänotypisierungen sind für das 2. bzw. 3. Jahr in Hinblick auf ΔC^{13} -Werte, den Isoprengehalt sowie die Holzanatomie geplant.

Stichworte: *Populus tremula*, Selektion, DNA Marker-gestützte Züchtungsstrategie, Assoziationsstudien, Wassernutzungseffizienz

Literatur

INGVARSSON, P.K. (2005): Nucleotide polymorphism and linkage disequilibrium within and among natural populations of European aspen (*Populus tremula* L., Salicaceae). *Genetics* 169, 945-953

Korrespondierende Autorin:

Dr. Katrin Linke

Institut für Forstbotanik und Forstzoologie, TU-Dresden

Piener Str. 7

01735 Tharandt

E-Mail: Katrin.Kolbe@forst.tu-dresden.de

Ertragsschätzung in Kurzumtriebsbeständen aus Pappel und Weide

Heinz Röhle und Katja Skibbe

Kurzumtriebsplantagen konkurrieren mit den Deckungsbeiträgen, die traditionelle landwirtschaftliche Kulturen auf demselben Standort erzielen. Von besonderer Bedeutung sind deshalb Informationen zu Naturalerträgen geeigneter Baumarten auf Standorten unterschiedlicher Nährstoffausstattung und Wasserversorgung, auf deren Basis Kalkulationen der Renditeerwartungen erfolgen können.

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Hochwaldbeständen liegt eine Reihe geeigneter Instrumente vor, die Aussagen über Vorrat und Ertrag auf Festmeterbasis liefern. Im Gegensatz dazu gibt es für Kurzumtriebsbestände bisher kaum allgemeingültige Schätzhilfen. Weil das auf Kurzumtriebsplantagen produzierte Holz häufig der energetischen Verwertung dient, wird zur Ertragsbestimmung hier i. d. R. die Biomasse (oberirdische Biomasse im unbelaubten Zustand) herangezogen. Um Vergleiche zwischen verschiedenen Baumarten und Klonen zu ermöglichen, hat sich die Angabe der Biomasse in Tonnen Trockensubstanz (t_{atro}) bewährt. Als Leistungsgröße findet der durchschnittliche Gesamtwuchs an Biomasse in Tonnen Trockensubstanz pro Hektar und Jahr Verwendung ($dGZ_B [t_{\text{atro}} \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$).

Die standortbasierte Leistungsschätzung von Pappeln im Kurzumtrieb gelingt mit einem zweistufigen Modell: In einem ersten Schritt erfolgte die Schätzung der Bestandesoberhöhe (Höhe des Grundflächenmittelstammes der 100 stärksten Bäume/ha) mittels multipler linearer Regressionsanalyse in Abhängigkeit vom Bestandesalter und den Standortfaktoren „Mitteltemperatur Monate April bis Juli“, „Niederschlagssumme Monate Mai bis Juni“, „Ackerzahl“ und „nutzbare Feldkapazität (nFK) im effektiven Wurzelraum“. In einem zweiten Schritt wird der Biomassevorrat durch die Bestandesoberhöhe geschätzt. In Abhängigkeit der Bestandesdichten auf den Versuchsfeldern konnten bei einigen Klonen Schätzungen für einen weiten Dichtebereich (Stammzahlen von 1.150 – 13.000 Bäume/ha) vorgenommen werden.

Zur Ermittlung der Biomasse in Kurzumtriebsplantagen kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz, bei deren Anwendung Probematerial entnommen werden muss. Eines der Verfahren, die Regressionsmethode, wird zur Herleitung allgemeingültiger, nicht destruktiver Schätzhilfen genutzt. Für die Pappel existiert eine derartige Schätzhilfe bereits, für die Weide befindet sich ein entsprechender Ansatz in Entwicklung.

Stichworte: Kurzumtrieb, Ertrag, Pappel, Weide, Standort-Leistungs-Modellierung

Korrespondierender Autor:

Prof. Dr. Heinz Röhle
Technische Universität Dresden
Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik
Pienner Str. 8
01737 Tharandt
E-Mail: roehle@forst.tu-dresden.de

Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt

Band

- 1 (2007) **Clusterstudie Forst und Holz Niedersachsen.** Burkhard Rüther, Jan Hansen, Agatha Ludwig, Hermann Spellmann, Jürgen Nagel, Bernhard Möhring, Matthias Dieter. 92 S.
- 2 (2008) **Die Waldkiefer – Fachtagung zum Baum des Jahres 2007.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 98 S.
- 3 (2008) **Ergebnisse angewandter Forschung zur Buche.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 343 S.
- 4 (2008) **Ergebnisse des westdeutschen IUFRO-Küstentannen-Provenienzversuches im Alter 27.** Hans-Martin Rau, Armin König, Wolfhard Ruetz, Hendrik Rumpf, Egbert Schönfelder. 62 S.
- 5 (2010) **Fichtenherkunftsversuch von 1962 und IUFRO-Fichtenherkunftsversuch von 1972. Ergebnisse von mehr als 30-jähriger Beobachtung in Deutschland.** Mirko Liesebach, Hans-Martin Rau, Armin O. König. 467 S.
- 6 (2011) **Kohlenstoffstudie Forst und Holz Niedersachsen.** René Würdehoff, Hermann Spellmann, Jan Evers, Jürgen Nagel. 92 S.
- 7 (2012) **Das digitale Luftbild. Ein Praxisleitfaden für Anwender im Forst- und Umweltbereich.** Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten (Hrsg.). 84 S.
- 8 (2012) **Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Erkenntnisse aus drei Jahren Fast-Wood, ProLoc und Weidenzüchtung. Fachtagung vom 21. bis 22.09.2011 in Hann. Münden.** Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.). 430 S.

Alle Bände der „Beiträge aus der NW-FVA“ sind auch als freie Onlineversion über die Homepage der NW-FVA (www.nw-fva.de), des Verlages sowie über den OPAC der Niedersächsischen Staats- und Universitätsbibliothek (<http://www.sub.uni-goettingen.de>) erreichbar und dürfen gelesen, heruntergeladen sowie als Privatkopie ausgedruckt werden. Es gelten die Lizenzbestimmungen der Onlineversion. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

In diesem Tagungsband werden die Vorträge und Posterbeiträge des Symposiums „Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb“ veröffentlicht. Während des Symposiums wurden die wichtigsten Ergebnisse der beiden Verbundvorhaben „Züchtung schnellwachsender Baumarten für die Produktion nachwachsender Rohstoffe im Kurzumtrieb (FastWOOD)“ und „Erfassung von Klon-Standort-Wechselwirkungen bei Pappel und Weide auf landwirtschaftlichen Standorten in kurzen Umtriebszeiten (Pro-Loc)“ sowie des Einzelprojektes „Neuzüchtung und Erprobung bisher nicht registrierter Weidenklone und -sorten“ präsentiert. Insbesondere die Forschungsbereiche Ertrag und Leistung, Züchtung und Resistenz sowie Genetik und Ökologie werden näher ausgeführt. Der Band richtet sich an Wissenschaftler und Praktiker sowie an alle am Anbau schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb Interessierten.



GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT
GÖTTINGEN

ISBN: 978-3-86395-070-5

ISSN: 1865-6994

Universitätsdrucke Göttingen