

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).

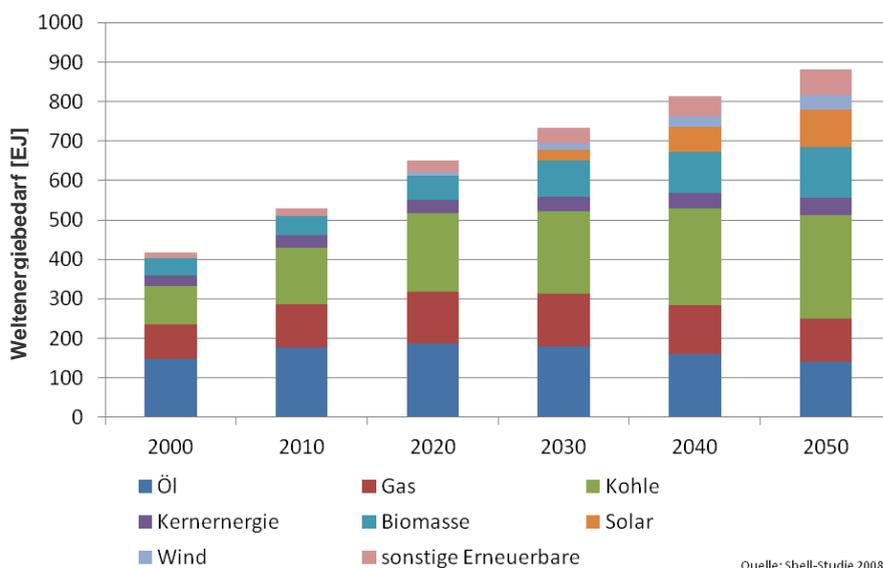


Abbildung 1: Weltenergiebedarf (Primärenergie in EJ) nach einer Shell-Studie (ANONYMUS 2008)

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).

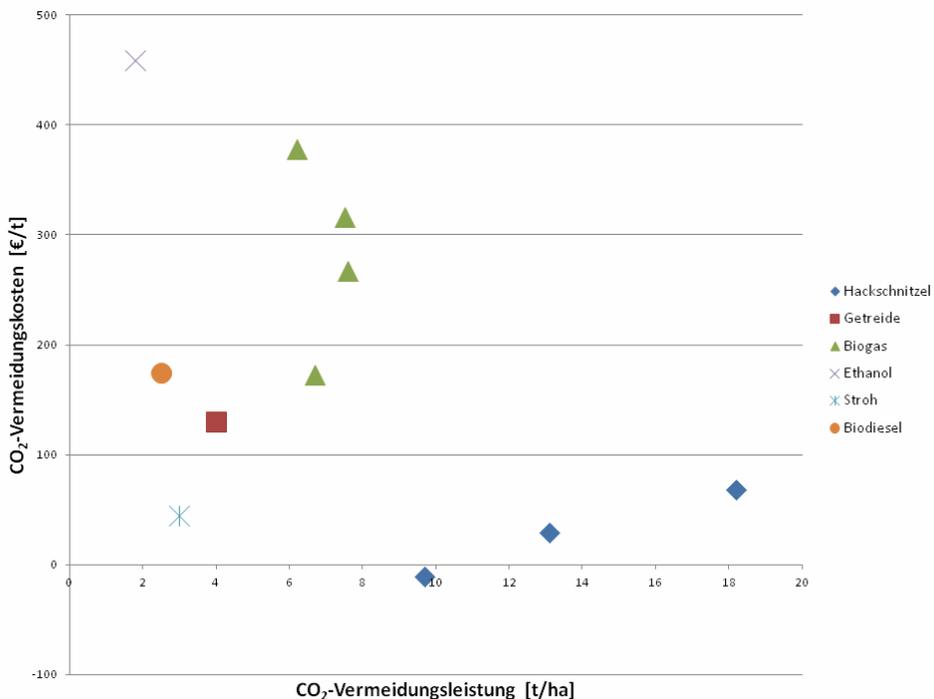


Abbildung 2: Vergleich der CO₂-Vermeidungsleistung mit den CO₂-Vermeidungskosten verschiedener Biomassepfade (nach: ANONYMUS 2007)

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 Versuchsflächen 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 Versuchsflächen 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 Keimschlauch 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>	<i>1985-1993</i>	<i>1985-1993</i>	<i>2008</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2015/2016</i>
Anzahl	ca. 50	50/ca. 5.000	80	80	29/11	
<i>Jahr</i>	<i>2007</i>	<i>2007</i>	<i>2009</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2016/2017</i>
Anzahl	35	20/20.000	452	70	21/4	
<i>Jahr</i>	<i>2008</i>	<i>2008</i>	<i>2010</i>	<i>2011</i>	<i>2013</i>	<i>2018/2019</i>
Anzahl	71	18/5.000	150	15		
<i>Jahr</i>	<i>2009</i>	<i>2009</i>	<i>2011</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2018/2019</i>
Anzahl	86	40/10.000	303			
<i>Jahr</i>	<i>2010</i>	<i>2010</i>	<i>2012</i>	<i>2013</i>	<i>2015</i>	<i>2020/2021</i>
Anzahl	54	32/2.500				
<i>Jahr</i>	<i>2011</i>	<i>2011</i>	<i>2013</i>	<i>2014</i>	<i>2015</i>	<i>2020/2021</i>
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.).

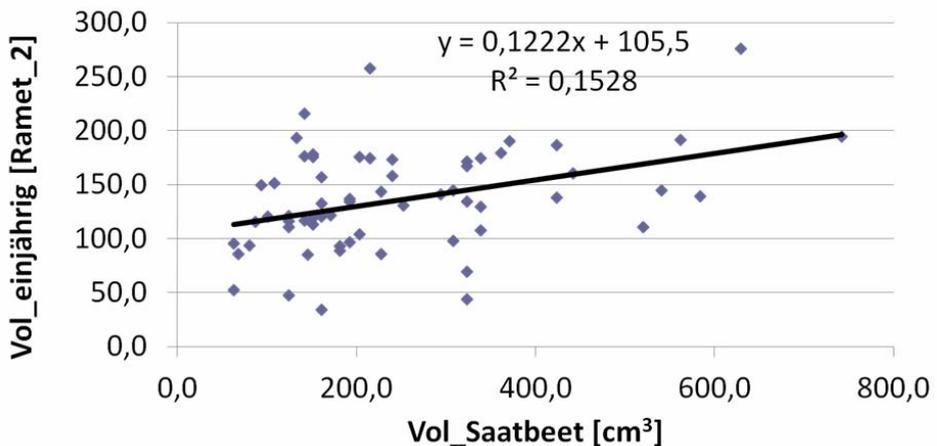


Abbildung 4: Zusammenhang des Volumens von Sämlingen und Steckhölzern (BRIEBACH et al., Posterbeitrag, in diesem Band S. 364)

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.

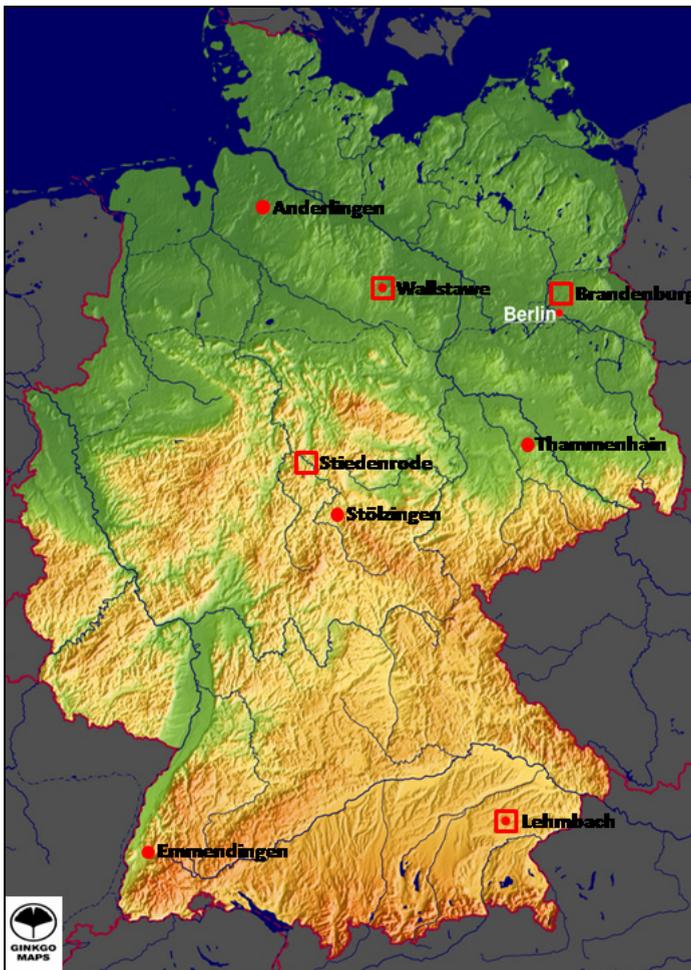


Abbildung 5: Geographische Lage der 2010 [Kreis] und 2011 [Quadrat] durch das Teilprojekt 1 mit Schwarz- und Balsampappeln angelegten Versuchsflächen

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).

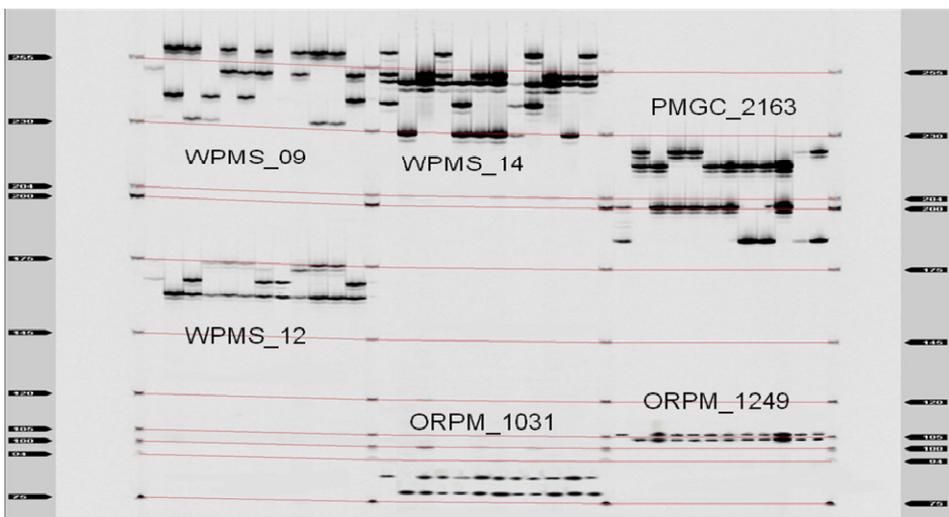


Abbildung 7: Gellauf von drei Multiplex-Primer-Sets der Wellenlänge 700 nm (aus FEHRENZ u. HAVEL 2010)

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 *Leucooides* (*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. deltooides* 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).

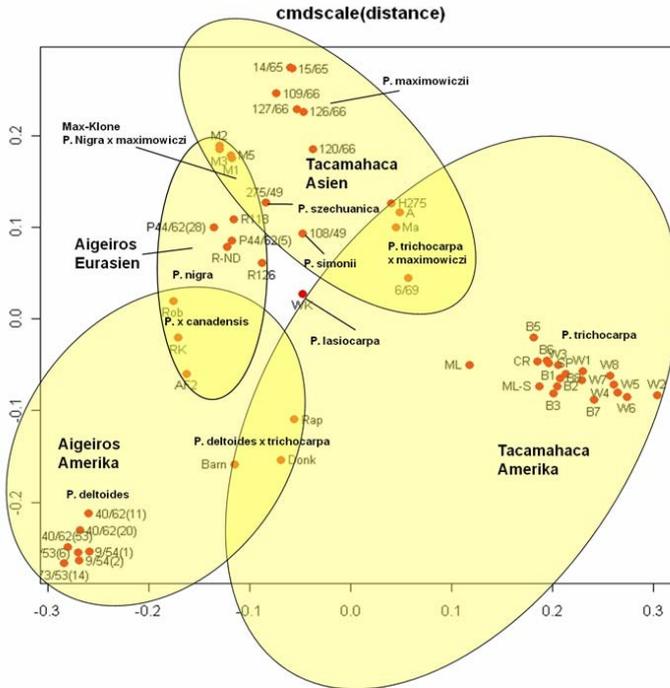


Abbildung 8: Genetische Differenzierung von Pappelklonen verschiedener Sektionen und Arten (aus FEHRENZ u. HAVEL, Posterbeitrag, in diesem Band S. 419)

4.6 Blattrostuntersuchungen

Blattschäden verursacht durch den Pilz *Melampsora larici-populina* führen zur Beeinträchtigung der Assimilationsleistung und damit zur Verminderung des Wachstums. Gerade bei kurzen Umtriebszeiten kann dieses zu einer erheblichen Leistungseinbuße führen. Außerdem besitzt dieser Pilz das Potenzial für eine Massenvermehrung. Daher sind Resistenzuntersuchungen von Pappelklonen gegen den Blattrostpilz unbedingt notwendig. Die dabei verwendeten Methoden und Verfahren entsprechen denen des Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek in Geraardsbergen in Belgien (INBO), die über langjährige Erfahrungen in der Resistenzprüfung und in der Rassenidentifikation von *Melampsora larici-populina* verfügen.

Im Jahr 2010 wurde auf jeder der sechs neu angelegten Versuchsflächen eine zweiteilige Blattrostbonitur durchgeführt. Drei der neu angelegten Versuchsflächen (Stölzlingen in Hessen; Anderlingen in Niedersachsen und Wallstawe in Sachsen Anhalt; s. Abb. 5) wurden vom Teilprojekt 1 bonitiert. Die Bonituren auf den Versuchsflächen in Sachsen, Bayern und Baden-Württemberg wurden nach Vorstellung des INBO-Boniturschemas durch die NW-FVA und intensivem

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 Bundesmatters für Naturschutz, Leipzig, 18 S.
(http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/erneuerbareenergien/bfn_energieholzanbau_landwirtschaftliche_flaechen.pdf)
- FEHRENZ, 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 hergestellt 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