

Das genetische Potenzial der Schwarz-Pappeln: eine Schatzsuche der Neuzeit

KARL GEBHARDT UND ALWIN JANßEN

Zusammenfassung

Raschwüchsige Pappeln der Sektion Aigeiros produzieren eine vielfältig nutzbare Biomasse und bieten zudem einen Ersatz für die immer teurer werdenden fossilen Brennstoffe. Das genetische Potenzial der Schwarz-Pappeln kann nach der vollständigen Sequenzierung des Genoms einer Balsampappel mit molekulargenetischen Methoden beschrieben werden. Die neu gewonnene Information über Genstrukturen und -funktionen ermöglicht gezielteres gentechnisches Arbeiten. Wenn die genetische Diversität der heimischen Schwarz-Pappel und die mögliche Heterosis von Arthybriden genutzt wird, können auch auf konventionellem Wege sehr leistungsfähige neue Sorten entstehen. In Populationen der heimischen Art wurde das Blühverhalten analysiert und mit Hilfe molekulargenetischer Methoden der Anteil von Klonen und Hybriden ermittelt. Es wurden allgemeine Empfehlungen erarbeitet zur Förderung der Naturverjüngung und zur Minimierung der möglichen Verluste genetischer Diversität.

Stichworte: Schwarz-Pappeln, Sektion Aigeiros, Züchtung, genetische Diversität

Abstract

Fast growing poplars of the section Aigeiros produce a variously usable biomass and could replace the ever more expensively becoming fossil fuels. The genetic potential of the black poplars can be described after the complete sequencing of the genome of a balsam poplar. The new information on gene structures and gene functions could be used in future for genetic engineering. If the genetic diversity of the indigenous black poplar and

the possible heterosis after species hybridization is used very efficient new varieties could be developed by conventional breeding. In populations of the indigenous black poplar the flowering behavior was analyzed and the portion of clones and hybrids was determined with the help of molecular-genetic methods. General recommendations are compiled regarding the promotion of the natural propagation as well as the minimization of the possible losses of genetic diversity.

Key words: black poplar, section Aigeiros, breeding, genetic diversity

1 Einleitung

In Zeiten, in denen fossile Brennstoffe sich drastisch verteuern und immer knapper werden, wächst der Wunsch nach erneuerbaren und nachhaltig produzierbaren Produkten auf pflanzlicher Basis. Weltweit gesehen ist der Beitrag, den Pappeln als Rohstoff für Papier und Holzprodukte aller Art liefern, keineswegs gering. Im Nord-westen der USA, in China, in Italien, Spanien, Ungarn, Belgien und Frankreich finden sich zahlreiche Beispiele ökonomisch bedeutender Pappelwirtschaft. Pappelholz hat gegenüber anderen Holzarten entscheidende Vorteile bezüglich der Fasereigenschaften, Gewicht, Holzfarbe und Ligningehalt. Es eignet sich zur Papierherstellung im APTMP-Verfahren [Alkaline Peroxide Thermo Mechanical Pulp]. Dieses Verfahren ist umweltschonender und energiesparender als die Herstellung von Sulfat-Zellstoff. Die Pappelfaser verleiht dem Endprodukt größere Weichheit, Porosität sowie eine geschlossene Oberfläche. Pappel ist also auch für die Herstellung hochwertiger sog. holz- bzw. ligninfreier Papiere bestens geeignet (BURKHARDT 1995).

Eine vom Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten (FSB Hann. Münden) im Rahmen eines vom BMVEL initiierten Forschungsvorhabens in Auftrag gegebene ökonomische Studie (VON SCHEHLIA 2002) zeigt, dass bei ausreichender Verfügbarkeit Pappelholz für die Herstellung von Span- und MDF-Platten von Holzhandel und Industrie gegenüber anderen Laub- und Nadelhölzern bevorzugt wird. Für das Jahr 2002 wurden in der o. g. Studie des Ökonomie-Instituts der Univ. Göttingen die folgenden Kapazitäten genannt: Spanplatten-Industrie: ca. 9 Mio. m³; MDF-Industrie: ca. 3.5 Mio. m³; Papierindustrie: 1.5 Mio. t, Sulfatzellstoff-Industrie: 0,3 Mio t. Neu gegründete Kompetenzzentren für nachwachsende Rohstoffe in Niedersachsen (www.ben-online.de) und

Danksagung:

Die Autoren danken Forstdirektor HANS-MARTIN RAU für kritische Durchsicht des Manuskripts.

Dr. KARL GEBHARDT und Dr. ALWIN JANßEN
 Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt,
 Hann. Münden
 Abt. C, Waldgenressourcen
 Prof. Oelkers-Str. 6, D-34346 Hann. Münden
 E-Mail: Karl.Gebhardt@nw-fva.de und
Alwin.Janssen@nw-fva.de

Hessen (www.nawaro.hessen.de) verfolgen das Ziel, die Nachfrage nach Pflanzgut und Rohstoffen zu steigern. Eine Rohstoffbörse ist im Internet eröffnet.

Die energetische Nutzung von unbelastetem Holz wird sich mit den zahlreichen neu gegründeten, vorwiegend kommunalen Blockheizkraftwerken exponentiell verstärken. In allen Bundesländern liegen erhebliche landwirtschaftliche Flächen brach, die sich zur Produktion von Pappelholz im Kurzumtrieb eignen würden. Das Konzept des Kurzumtriebes wird in Deutschland schon seit 1976 erprobt und jahrzehntelang propagiert. Die älteste Kurzumtriebsfläche befindet sich bei Hann. Münden. Wesentliche Ergebnisse sind in der Schriftenreihe des FSB, in Merkblättern und Publikationen beschrieben (WEISGERBER 1989; Schriften des Forschungsinstitutes für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden, Bd. 1–12).

Neue Möglichkeiten ergeben sich nach Umsetzung der Biomasse zu flüssigem Kraftstoff (Sunfuel oder Ethanol). In Deutschland ist die Bedeutung des Pappelbaus als Rohstoffbasis bisher noch immer als sehr gering einzustufen. In anderen Ländern der Europäischen Union und in den USA entfalten Pappelzüchter jedoch beachtliche Aktivitäten.

2 Sequenzierung des Pappelgenoms

Im September 2004 wurde von einem internationalen Konsortium bekanntgegeben, dass nun auch das Genom einer Pappel, nämlich das der nordamerikanischen Balsampappel, *P. trichocarpa*, vollständig sequenziert ist. In mehrjähriger Arbeit ist es gelungen, die Reihenfolge der 520 Mio. Basenpaare zu bestimmen, die sich auf 19 Chromosomen verteilen. Mit weiteren Forschungsprogrammen soll es gelingen, die gesamte Organisation des Genoms, Genstrukturen und -funktionen aufzuklären. Damit werden u. a. immer bessere Voraussetzungen für eine effiziente gentechnische Modifikation des Genoms verschiedenster Baumarten geschaffen (FLADUNG 2005).

3 Züchtungsaktivitäten

Erfolgreiche Züchtungsarbeit kann auch nach dem Prinzip „zurück zur Natur“ funktionieren, wenn die gegebene genetische Diversität und die mögliche Heterosis von Art-Hybriden genutzt wird. Hybriden der heimischen Schwarz-Pappel mit *P. maximowiczii* erreichen auf landwirtschaftlichen Flächen nach 13 Kulturjahren einen Bestandesvorrat von ca. 400 m³ pro Hektar (HOFMANN 2005).

Für Züchtungsaktivitäten wurden in der Vergangenheit immer wieder Klone aus den in europäischen Ländern verfügbaren Genbanken von Schwarz-Pappel genutzt. Neuere Untersuchungen zeigen allerdings, dass unter den Accessionen der europäischen Genbanken eine größere Zahl von Hybriden und eine noch viel höhere Zahl von Duplikaten zu finden ist (STORME et al. 2005). Bei über 1000 Klonen in europäischen Genbanken wurden auch die wichtigsten Blattmerkmale erfasst (Europop, Final Consolidated Report 2005). Es zeigte sich, dass innerhalb der Art tatsächlich eine große Variation der Blattgröße und damit auch der Leistungsfähigkeit vorhanden ist.

Diese Leistungsfähigkeit läßt sich nochmals durch interspezifische Kreuzung steigern.

Euramericana-Hybriden [*P. x euramericana* (Dode) Guinier] zeigen einen echten Hybrideffekt, da die F1-Hybriden den Eltern in der Wuchsleistung und meistens auch in den Formeigenschaften deutlich überlegen sind. Am besten untersucht ist der Hybrid-effekt dank der Arbeiten von STETTLER und CEULEMANS bei den Interamericana-Hybriden (STETTLER et al. 1988; CEULEMANS 1990). Einige Arbeitsgruppen haben schon begonnen, quantitative Merkmale (QTL's) mit ihrer Position im Genom zu kartieren (BRADSHAW 1996; TAYLOR et al. 2001; CERVERA et al. 2001).

Die hohe Produktivität verdanken Hybriden neben der Blattfläche z. B. der Entwicklung sylleptischer Zweige, die innerhalb einer einzigen Wuchsperiode gebildet werden. Dazu kommen eine hohe Photosynthese- und Respiationsleistung, eine angepasste Stomataaktivität (ökonomisches Wassermanagement), erectophile Blätter und Zweige, die sich nach dem Lichteinfall ausrichten, eine schmale Kronenarchitektur mit entsprechender Feinästigkeit, eine Phänologie die dem Klima angepasst ist und nicht zuletzt ein hochverzweigtes Wurzelsystem.

Die eindrucksvollen Wuchsleistungen der Euramericana-Hybriden haben dazu geführt, dass man sich in der Nachkriegszeit von der Pappelwirtschaft mit Hybrid-sorten eine Linderung der Holznot versprach. In den 70er Jahren waren 25 Pappelsorten im Handel. Heute ist die Verfügbarkeit dieser Sorten äußerst eingeschränkt. Es gibt kaum noch Forstbaumschulen, die diese Sorten vermehren. Bei einer so schmalen klonalen Basis besteht die Gefahr der Übervermehrung einzelner Sorten. Besonders problematisch war die Übervermehrung der Sorte Robusta in den 50er Jahren. Der Pilz *Dothichiza populea* hat damals große Opfer gefordert, nicht nur in den Pappelkulturen sondern auch in Züchtungsstationen.

Bis auf 30 Überlebende mußten sämtliche in der belgischen Züchtungsstation vorhandenen Euramericana- und Schwarz-Pappel-Klone damals verbrannt werden. *Populus deltoides*, *P. trichocarpa* und deren Hybriden überlebten ohne größere Schwierigkeiten (STEENACKERS, 1998). Auch an ihren natürlichen Standorten in Nordamerika überleben diese Arten seit Jahrhunderten. Offensichtlich existiert da ein Gleichgewicht zwischen Erregerpopulationen und der genetischen Diversität dieser Baumarten. Dies kann bei der europäischen Schwarz-Pappel schon deshalb nicht mehr existieren weil sich nur ganz wenige Bestände natürlich verjüngen.

Schwarz-Pappel gilt als sehr resistent gegenüber dem Pappelkrebs (*Xanthomonas*) und vererbt diese Eigenschaft auch an seine Hybriden. Innerhalb der Sektion Aigeiros existieren interspezifische Kreuzungsbarrieren. So sind Kreuzungen von *P. nigra* und *P. deltoides* nur dann möglich wenn *P. deltoides* als weiblicher Kreuzungspartner fungiert (CAGELLI & LEFÈVRE 1995).

Lange Zeit wurden Pappeln aus der Sektion Tacamahaca, speziell *P. trichocarpa* und *P. maximowiczii*, als schnellwüchsiger und gegenüber der Sektion Aigeiros als überlegen angesehen. Es war jedoch schon immer bekannt, dass Balsampappeln für windexponierte Lagen nicht geeignet sind. In jüngerer Zeit hat sich zudem eine besonders aggressive Rasse des Pappelblattrostes (*Melampsora larici-populina*) verbreitet und einen wirt-

schaftlichen Anbau der vielen hochgelobten Hybriden von *P. trichocarpa* und *P. deltoides* (Beaupre, Unal, Raspalje, Barn und Donk) unmöglich gemacht (STEENACKERS 1998).

Intensive Züchtungsarbeit betreibt derzeit die Alasia Vivai Gruppo Biomassa Europa. (m. Mittlg., FRANCO ALASIO 2003) in Norditalien. Elektrizitätswerke fördern dort zusätzlich zur Stilllegungsprämie den Anbau von Pappeln im Kurzumtrieb, 2- bis 4jährig. Es gibt in Norditalien 100 000 ha Pappelanbau. Die Gruppo Biomassa Europa hatte 2003 rund 100 Personen im Anbau und 50 Personen im Vertrieb einschließlich Züchtung beschäftigt. Man züchtet mit 140 Familien der Schwarz-Pappel (*P. nigra* L.) aus ganz Europa und mit importierten Klonen von *P. deltoides* und *P. trichocarpa*. Es entstehen zwei- und dreifach Hybriden. Das Züchtungsprinzip ist zunächst auf die Verbesserung der weiblichen Linie ausgerichtet. Die Einkreuzung unbekannter Mütter wird vermieden. Es werden immer wieder andere Kombinationen hergestellt. Es muß ein Resistenz-Screening erfolgen. Klone werden in Lizenz vermehrt. Es wird ein europaweit gültiger Sortenschutz beantragt. Die Prüfdauer für neue Sorten ist dem Verwendungszweck angepaßt. Die Sorten werden in Lizenz vermehrt. Der Ertrag der Lizenzen wird zu weiterer Züchtung verwandt.

4 Erfassung und Erhaltung der heimischen Schwarz-Pappel

Die heimische Schwarz-Pappel (*P. nigra* L.) als typische Art europäischer Flusslandschaften und Auwälder zeichnet sich durch eine besonders hohe Überflutungstoleranz und Widerstandskraft gegenüber Erosion und Deposition aus. Seit dem 18. Jahrhundert wurden durch Kreuzungen mit der großblättrigen, nordamerikanischen Schwarz-Pappel *P. deltoides* die o. g. Euramerica-Hybriden erzeugt, die in Europa aufgrund schnelleren Wachstums und besserer Stammform verbreitet angepflanzt und auch in Plantagen kultiviert werden. Schon seit dem Mittelalter werden zudem Klone der Schwarz-Pappel mit säulenförmigem Wuchs (*P. nigra* cv. ‚Italica‘) durch Stecklinge vermehrt und als landschaftsgestaltendes Element genutzt. Die heimische Schwarz-Pappel ist hingegen im Bestand stark gefährdet. Neben dem vielfältigen Verlust ihres Lebensraumes wurde vermutet, dass die Pollen- und Samenproduktion der Hybriden und Säulenformen zu einer Vermischung des Erbgutes der europäischen Schwarz-Pappel führt und somit Nachkommen entstehen, die nicht mehr angepasst oder schlechter anpassungsfähig sind.

Im Rahmen eines von der EU geförderten Projektes wurden an elf europäischen Flüssen von den Projektpartnern in neun Ländern je zwei Populationen ausgewählt. In jeder Population wurden mindestens 30 Altbäume und 30 jüngere Schwarz-Pappeln beprobt und molekulargenetisch analysiert. Zusätzlich wurden mindestens 60 Individuen aus den ländereigenen Genbanken untersucht. Als Vergleichsmaterial dienten darüber hinaus Klone einer europäischen Schwarz-Pappelsammlung (European Core Collection) sowie Sorten und Art-Hybriden aus Züchtungsinstituten.

Alle Methoden zur Ermittlung des Blühverhaltens, der morphologischen Unterschiede und der genetischen Di-

versität wurden standardisiert, um später einheitliche Datensätze erstellen zu können. Nach einer Entwicklungsphase kamen ausgewählte biochemisch-genetische Methoden (cp-DNA-, Isoenzym-, AFLP- und Mikrosatelliten-Marker) zum Einsatz (STORME et al. 2005). Dank der Vorarbeiten von RAJORA (1989), MÜLLER-STARCK (1992) LEGIONNET & LEFEVRE (1996) und JANSSEN (1997) war die Unterscheidung von *P.x euramericana* und *P. nigra* mit Hilfe der Isoenzymtechnik sofort möglich und konnte auch für die Unterscheidung von F2-Hybriden (JANSSEN 1998) und unbekanntem Hybriden genutzt werden. Die Artunterscheidung mit Hilfe der DNA-basierten Techniken zeigten eine komplette Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Isoenzym-Technik (HOLDEREGGER et al. 2005).

5 Erkenntnisse aus Untersuchungen zur gen. (?) Diversität:

Aus den bisherigen Erkenntnissen der im Rahmen von Europop durchgeführten genetischen Untersuchungen können zu den folgenden Leitfragen die folgenden Feststellungen getroffen und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, siehe auch (LEFÈVRE et al. 2002):

Welche Vorkommen müssen erhalten werden?

Feststellungen:

- die Schwarz-Pappel-Populationen der verschiedenen Flußsysteme in den europäischen Ländern unterscheiden sich signifikant. Eine Häufung von Haplotypen (Individuen mit den gleichen Eigenschaften der chloroplastischen DNA, die nur mütterlicherseits vererbt wird) im spanischen und italienischen Raum weist auf dort gegebene eiszeitliche Rückzugsgebiete;
- auch entlang einzelner Flußsysteme unterscheiden sich die Schwarz-Pappel-Vorkommen in Anzahl und Häufigkeit der untersuchten Allele (Gene unterschiedlicher Ausprägung);
- es gibt keine flußabwärts gerichtete Häufung der Diversität;
- es finden sich insbesondere in den älteren Beständen eine hohe Anzahl (10–30 %) von Individuen, die über vegetative Vermehrung entstanden sind;
- die in den ländereigenen Genbanken enthaltenen Klone aus verschiedenen Populationen sind genetisch nicht diverser als die Individuen aus Naturverjüngungen größerer Populationen;
- die in Naturverjüngungen größerer Populationen, wie z. B. am Kühkopf in Hessen vorhandene Vielfalt von Genotypen und seltenen Allelen rechtfertigt besondere Schutz- und Erhaltungsmaßnahmen;

Empfehlungen:

Zur Erhaltung der Variabilität der gesamten Art müssen ggf. länderübergreifende Aktivitäten einsetzen, die neuen und/oder verbesserten Lebensraum für die Art schaffen. Bei der Wiederbesiedlung von Flächen sollte die regionale Variabilität aufgrund nacheiszeitlicher Rückwanderung und Differenzierung in Populationen und Subpopulationen berücksichtigt werden. Den unterschiedlichen Standortansprüchen von Hybridpappeln und heimischen Schwarz-Pappeln muß Rechnung getragen werden.

Die ökologische Wertigkeit (BARSIG 2004) von Hybridpappeln sollte bei Erhaltungsmaßnahmen der heimischen Schwarz-Pappel mitberücksichtigt werden.

Wie beeinflussen Sorten gezüchteter und fremdländischer Pappeln die heimische Schwarz-Pappel?

Feststellungen:

- in Naturverjüngungen reiner Schwarz-Pappel wurden Anteile von weniger als 2 % Hybriden ermittelt
- die Euramericana-Hybriden und die am häufigsten vorkommende Säulenform *P. nigra* cv. ‚Italica‘ blühen entlang des Rheins deutlich früher als die einheimische Schwarz-Pappel (GEBHARDT 2004), so dass davon ausgegangen werden kann, dass es nördlich des Mains in natürlichen Beständen kaum zur Introgression kommt.
- die Säulenform *P. nigra* cv. ‚Thevestina‘ kann insbesondere in Südeuropa mit den heimischen Schwarz-Pappeln hybridisieren. Dort sollten Pappelplantagen räumlich getrennt von natürlichen Beständen bleiben.
- mit Hilfe der DNA-Analytik (Mikrosatelliten) war es exemplarisch möglich, eine Vaterschaftsanalyse durchzuführen

Empfehlungen:

1. In heimischen, forstlich genutzten Beständen mit Einmischung von Kultursorten besteht keine Notwendigkeit der Eliminierung der Hybriden, wenn unterschiedliche Blühzeiten gegeben sind.
2. In Generhaltungsbeständen der reinen Art sollte das Ausmaß der Introgression in der Generationenfolge kontrolliert werden.
3. Im Regelfall genügt es, Hybriden erst bei Erreichen der Hiebsreife zu eliminieren.

Welche Populationsgrößen sind erforderlich?

Feststellungen:

Die Populationsgröße sollte so groß sein, dass die Effekte genetischer Drift (zufallsgesteuerter Verlust genetischer Varianten) gering bleiben bzw. vernachlässigt werden können. Um den Inzuchtanteil möglichst gering zu halten muß dafür gesorgt werden, dass männliche und weibliche Individuen möglichst zu gleichen Anteilen frei miteinander abblühen können. Die effektive Populationsgröße wird durch diese Zahl blühfähiger Individuen bestimmt. In kleinen (< 100 Altbäume) und isolierten Populationen können seltene Genotypen und Allele in der Generationenfolge verloren gehen.

Erkenntnisse:

- Für die Bestäubung einzelner weiblicher Individuen genügt trotz gegebener Protandrie (vorzeitiges Erreichen der Blüte männlicher Individuen) die Nachbarschaft weniger männlicher Partner.
- Die Verbreitung des Pollens und der Samen durch den Wind war die Hauptursache für den Genfluß innerhalb und zwischen Beständen.
- Hybriden in und am Rande von Reinbeständen der Schwarz-Pappel üben starken Schatten-/Seitendruck aus und mindern die Fitness der heimischen Art

- das Regenerationsvermögen von Wurzelausläufern erlaubt die schnelle Ausbreitung/Besiedlung von mineralischen Substraten bei ausreichender Wasserversorgung
- Kleine Gruppen der reinen Art können als Brücken zwischen größeren Populationen fungieren, wenn diese nicht weiter als ca. 5 km entfernt sind.
- als Gründerpopulation für die Wiederbesiedlung größerer Areale können Mehrklonsorten dienen, deren Glieder ein hohes Maß an genetischer Diversität bei hoher individueller Fitness erreichen.

Besonderes Augenmerk sollte den Praktiken gelten, die die effektive Populationsgröße beeinflussen. Dazu zählen nicht nur Durchforstungen sondern auch die Verbesserung der Standortbedingungen für natürliche Regeneration (*in situ*) sowie Ex-situ-Maßnahmen und die Reetablierung von Populationen:

In-situ-Maßnahmen

- Freistellen blühfähiger Schwarz-Pappeln
- Elimination von Rückkreuzungen/Hybriden/Klonen
- Entfernung des humusreichen Oberbodens
- u.U. Bewässerung der Keimlinge
- Beachtung oder Veränderung der Überflutungs- und Strömungsverhältnisse (kontrollierte Überflutung, Kontrolle der Fließgeschwindigkeit bzw. Flußerosion)
- Berücksichtigung des Grundwasserregimes
- Verbißschutz

Ex-situ-Maßnahmen

- Anzucht pathogenfreier, genetisch diverser Individuen durch Nutzung von In-vitro-Techniken (GEBHARDT 1989)
- Sicherung der Diversität durch Aufbau und Pflege von Klonarchiven
- Ausweisung von Generhaltungsflächen

Reetablierung von Populationen und Erstaufforstung

- Standorterkundung, Wahl geeigneter Flächen
- Beseitigung der Unkrautkonkurrenz (z. B. Kleeensaat nach Flächenumbruch)
- Verwendung von einheimischem (autochthonem) Pflanzgut
- Verwendung von vegetativ vermehrten Pflanzen (pathogenfreie Pflanzen aus In-vitro- und/oder Stecklingsvermehrung, Setzstangen), Heisterpflanzung 2 x 2,5 m

6 Literatur

- BARSIG, M. (2004): Literaturstudie: „Vergleichende Untersuchungen zur ökologischen Wertigkeit von Hybrid- und Schwarzpappeln“ <http://www.tu-berlin.de/zek/ku-bus/Button> Publikationen, 31 S.
- BURKHARDT, H. (1995): Pappelholz als Rohstoff für die Papierindustrie in Westeuropa. *Statusseminar der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.* (Projektträger des BML), Kassel 23.–24. 10. 1995, Vortragsmanuskript, 40 S.
- BRADSHAW, H. D. (1996): Molecular genetics of Populus. In: Stettler RF, Bradshaw HD, Heilmann PE, Hickley TM. Eds. *Biology of Populus and its implications for mana-*

- gement and conservation. Ottawa: NRC Research Press, 183–199
- CAGELLI, L. & LEFÈVRE, F. (1995): The conservation of *Populus nigra* L. and gene flow with cultivated poplars in Europe. *Forest Genetics* 2(3):135–144
- CERVERA, M.-T., STORME, V., IVENS, B., GUSMAO, J., LIU, B.H., HOSTYN, V. VAN SLYCKEN, J., VAN MONTAGU, M., BOERJAN, W. (2001): Dense genetic linkage maps of three *Populus* species (*P. deltoides*, *P. nigra*, and *P. trichocarpa*) based on AFLP® and microsatellite markers. *Genetics* 158: 787–809.
- COTTRELL, J. E., TABBENER, H. E., MILNER, A., CONNOLLY, T., SING, L., LEFÈVRE, F., ACHARD, P. BORDÁCS, S., GEBHARDT, K., VORNAM, B., SMULDERS R., VANDEN BROECK, A. H., STORME, V., BOERJAN, W., CASTIGLIONE, S., FOSSATI, T., ALBA, N., AGÚNDEZ, D., FLUCH, S., KRYSSTUFEK, V., BURG, K., BOVENSCHEN, J. & VAN DAM, B. (2005): Post glacial migration of *Populus nigra* L: lessons learnt from chloroplast DNA. *Forest Ecol Manag*, 206: 71–90
- CEULEMANS R. (1990): Genetic variation in functional and structural productivity determinants in poplars. Thesis Publishers Amsterdam ISBN 90-5170-044-X
- EUROPOP- FINAL CONSOLIDATED REPORT (2004): <http://www.genres.de/fgfgrdeu/report-black-poplar>
- FLADUNG, M. (2005): Amerikanische Balsampappel – Erbgut vollständig entschlüsselt. *AFZ/Der Wald* 5/2005, S. 248–252
- GEBHARDT, K. (1989): Application of tissue culture in mass propagation and improvement of poplars. In: *Proceedings of the IUFRO working party* S 2.02.10, Hann. Münden, p.125–134
- GEBHARDT, K., POHL, A., VORNAM, B. (2002): Genetic inventory of Black Poplar populations in the Upper Rhine floodplains: conclusions for conservation of an endangered plant species. In: 'Genetic diversity in river populations of European Black Poplar'. Proceedings of an Int. Symposium, Szekszárd, Hungary, May 2001. Eds. B.C. van Dam & S. Bordács, printed by C. Nyomda Ltd. Budapest, Hungary p. 145–156
- GEBHARDT, K. (2004): Blühbeobachtungen bei Schwarzpappeln und Arthybriden. In: *Jahresberichte 2002/2003 HESSEN-FORST-FIV*, ISSN 1611-0366, S. 42–46
- GEBHARDT, K. (2005): Ex-situ-Erhaltung genetischer Diversität der Schwarzpappel (*Populus nigra* L.). In: *Proceed. Forum Genetik-Wald-Forstwirtschaft* 20.–22. 9. 04, Teisendorf, Ed. M. Konnert, p. 244–256
- HOFMANN, M. (2005): Pappeln als nachwachsende Rohstoffe auf Ackerstandorten – Kulturverfahren, Ökologie und Wachstum unter dem Aspekt der Sortenwahl. Diss. Univ. Göttingen
- HOLDEREGGER, R., ANGELONE, S. BRODBECK, S., CSENSICS, D., GUGERLI, F., HOEBEE, S. E., FINKELDEY, R. 2005. Application of genetic markers to the discrimination of European Black Poplar (*Populus nigra*) from American Black Poplar (*P. deltoides*) and hybrid poplars (*P.xcanadensis*) in Switzerland. *Trees* 19: 742–747
- JANSSSEN, A. (1997): Unterscheidung der beiden Schwarzpappelarten *Populus nigra* L. und *P. deltoides* Marsh. sowie ihrer Arthybride *P. x euramericana* (Dode) Guinier mit Hilfe von Isoenzymmustern. *Die Holzzucht* 51: 17–23
- JANSSSEN, A. (1998): Artbestimmung von Schwarzpappeln (*Populus nigra* L.) mit Hilfe von Isoenzymmustern und Überprüfung der Methode an Altbäumen, Absaaten von kontrollierten Kreuzungen und freien Abblüten sowie Naturverjüngungen. In: *Die Schwarzpappel; Forschungsbericht der HLFWW*, H. WEISGERBER und A. JANß EN, Eds., Bd. 24: 32–43
- LEGIONNET, A.; LEFÈVRE, F. (1996): Genetic variation of the riparian pioneer tree species *Populus nigra* L. I. Study of population structure based on isozymes. *Heredity* 77: 629–637
- LEFÈVRE, F., BORDÁCS, S., COTTRELL, J.E., GEBHARDT, K., SMULDERS, M. J. M., VANDEN BROECK, A., VORNAM, B. & B. C. VAN DAM (2002): Recommendations for riparian ecosystem management based on the general frame defined in EUFORGEN and results from EUROPOP. In: *Proceedings of an Int. Symposium „Genetic diversity in river populations of European Black Poplar“* held 16.–20. Mai 2001 in Szekszárd, Ungarn; eds. B. C. van Dam and S. Bordács, printed by C. Nyomda Ltd. Budapest, Hungary, p. 157–161
- MÜLLER-STARCK, G. (1992): Genetic Control and Inheritance of Isozymes in Poplars of the *Tacamahaca* Section and Hybrids. *Silvae Genetica* 41, 87–95
- RAJORA, O. P. (1989): Genetic structure and identification of *Populus deltoides* clones based on allozymes. *Genome* 32: 440–448
- STEENACKERS, V. (1998): *Populus nigra* in the Belgium Poplar Breeding Program. In: *Die Schwarzpappel. Forschungsbericht der HLFWW*; H. WEISGERBER und A. JANß EN, Eds., Bd. 24, 112–120
- STETTLER, R. F., FENN, R. C., HEILMANN, P. E., STANTON, B. J. (1988): *Populus trichocarpa* x *Populus deltoides* hybrids for short rotation culture: variation patterns and 4-year field performance. *Can. J. For. Res.* 18, 745–753
- TAYLOR, G., BECKETT, K. P., ROBINSON, K. M., STILES, K., RAE, A. M. (2001): Identifying QTL for yield in UK biomass poplar. *Aspects of Applied Biology* 65: 173–182
- STORME, V., VANDEN BROECK A., IVENS B., HALFMAERTEN D., VAN SLYCKEN J., CASTIGLIONE S., GRASSI F., FOSSATI T., COTTRELL J. E., TABBENER H. E., LEFÈVRE F., SAINTAGNE C., FLUCH S., KRYSSTUFEK V., BURG K., BORDACS S., BOROVICS A., GEBHARDT K., VORNAM B., POHL A., ALBA N., AGUNDEZ D., MAESTRO C., NOTIVOL E., BOVENSCHEN J., VAN DAM B. C., VAN DER SCHOOT J., VOSMAN B., BOERJAN W., SMULDERS M. J. M. (2004): Ex-situ conservation of Black poplar in Europe: genetic diversity in nine gene bank collections and their value for nature development. *Theoretical & Applied Genetics* 108(6): 969–982
- VON SCHELIHA S.(2002): Marktanalyse für Pappel-Industrieholz. Studie des Instituts für Forstökonomie der Univ. Göttingen (Ltg.: Prof. DR. V. BERGEN) im Auftrag des Forschungsinstituts für schnellwachsende Baumarten, Hann. Münden.