

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 artemigenen 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.

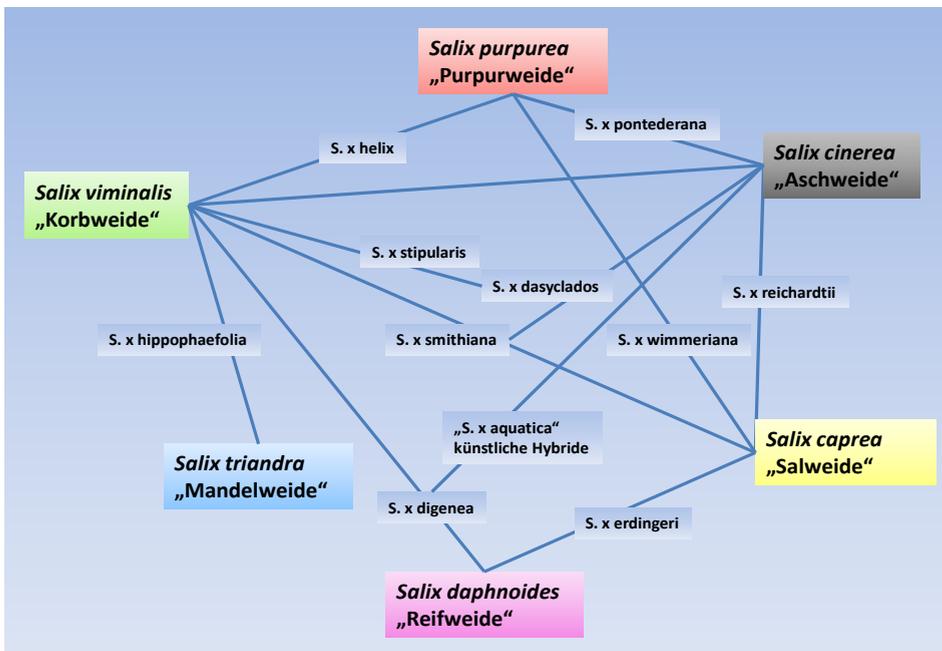


Abbildung 1: Kreuzungsschema des Jahres 2010, siehe FEHRENZ u. GEBHARDT (Posterbeitrag, in diesem Band S. 381)

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 pontederana	38_69	S_399	caprea	S_399
10_116	38_69	x pontederana	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:

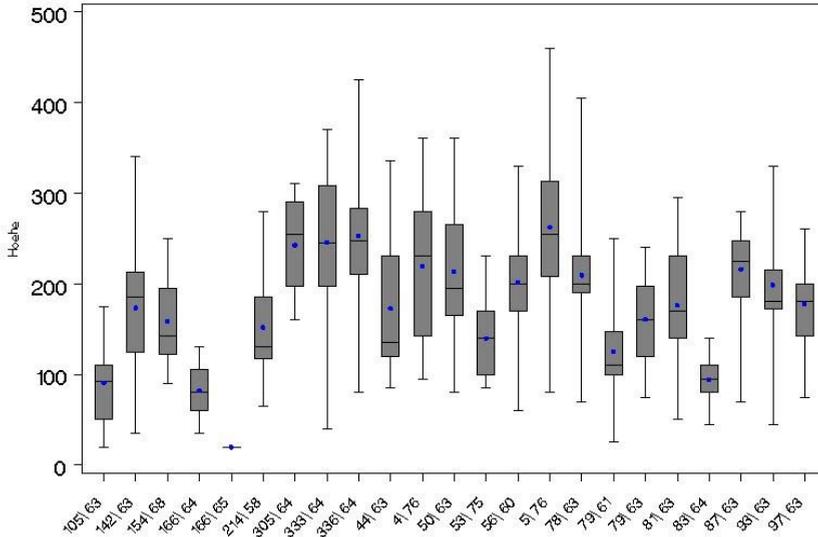


Abbildung 2: Variation des Höhenwachstums [cm] von „Alba-naben“ Klonen des Sortenversuches auf der Fläche „Ballertasche“ bei Hann. Münden nach 2 Vegetationsperioden

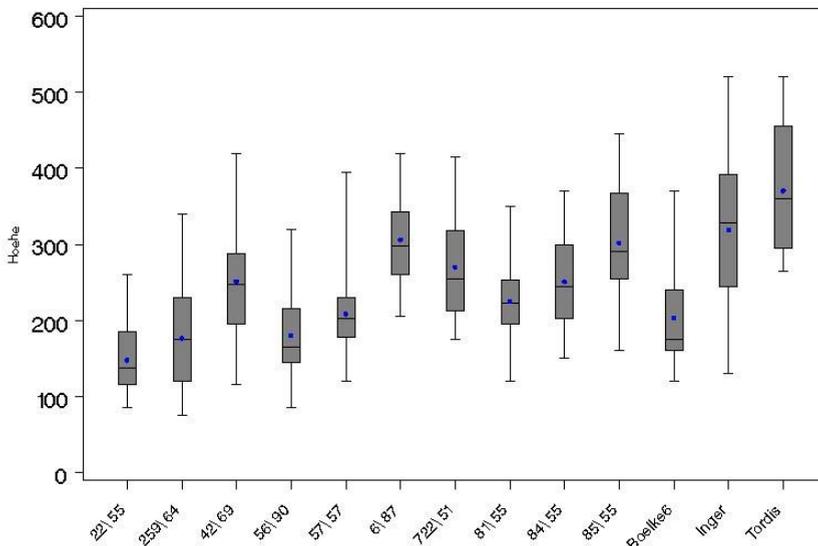


Abbildung 3: Variation des Höhenwachstums [cm] von „Viminalis-naben“ Klonen des Sortenversuches auf der Fläche „Ballertasche“ bei Hann. Münden nach 2 Vegetationsperioden

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.

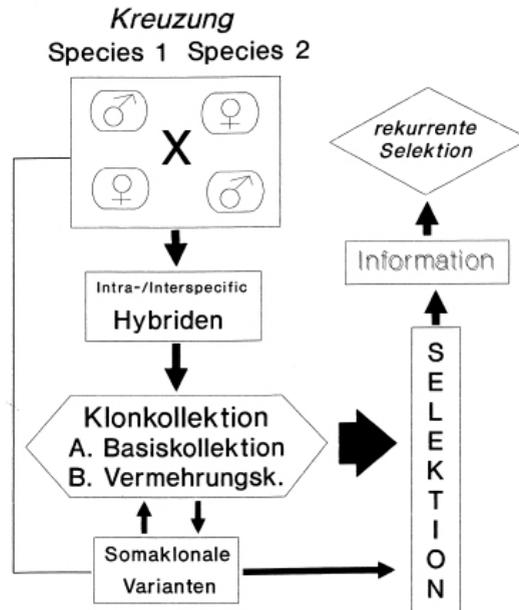


Abbildung 4: Züchtungswege zur Verbesserung der Eigenschaften von Weiden (GEBHARDT 1992)

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 Veredlungsprodukte 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