

Amerikanische Balsampappel – Erbgut vollständig entschlüsselt

Von Matthias Fladung, Großhansdorf

Im September 2004 wurde von einem internationalen Konsortium unter Beteiligung von Wissenschaftlern aus Schweden, Belgien, Frankreich und Nordamerika bekannt gegeben, dass ein weiteres Pflanzenerbgut (Genom) in der Abfolge der Erb-Buchstaben bekannt, also vollständig sequenziert wurde. Sie brauchten über zwei Jahre, um die Reihenfolge der etwa 520 Mio Basenpaare zu bestimmen, die sich auf 19 Chromosomen verteilen.

Nach der Entschlüsselung des Genoms des unscheinbaren Ackerschmalkrauts (*Arabidopsis thaliana*) und des wirtschaftlich so bedeutenden Reises (*Oryza sativa* L.) ist die Amerikanische Balsampappel (*Populus trichocarpa*) damit die dritte Pflanzen- und erste Baumart, deren Genom nun bekannt ist [1].

Die Wissenschaft hatte einst in dem Vorhaben, Pflanzengenome zu entschlüsseln, deshalb mit dem wirtschaftlich unbedeutenden Unkraut Ackerschmalkraut begonnen, weil dieses über ein außerordentlich kleines Erbgut verfügt. Ausgedrückt in die Anzahl der zu analysierenden Bausteine ist das Genom des Ackerschmalkrautes etwa $0,13 \times 10^9$ Basenpaare groß. Ähnliche Motive haben bei der Auswahl der Balsampappel als eine verholzende Art eine Rolle gespielt, da deren Erbgut nur um etwa vier- bis fünfmal größer als das des Ackerschmalkrautes ist. Dagegen beträgt die Genomgröße bei Fichte und vielen anderen Nadelbäumen, die eine größere wirtschaftliche und ökologische Bedeutung als die Pappel haben, etwa 35×10^9 Basenpaare.

Mit der Pappel ist nun das Genom einer mehrjährigen und verholzenden Art, eines Baums, entschlüsselt (durchsequenziert) worden. Dieses ist wissenschaftlich außerordentlich bedeutsam, da Bäume im Vergleich zu krautigen Nutzpflanzen durch die beiden wesentlichen Eigenschaften Langlebigkeit und Holzbildung charakterisiert sind. Beide Merkmale stehen zweifellos unter genetischer Kontrolle, wobei zu erwarten ist, dass mehrere Gene an den Prozessen zur Ausprägung dieser Merkmale beteiligt sind. Eine grundlegende molekulare Analyse der beteiligten Gene ist zwar prinzipiell auch an krautigen Pflanzen möglich, jedoch können diese Eigenschaften in ihrer Vollständigkeit und in ihrer Verknüpfung zu ande-

ren Entwicklungsprozessen nur an Bäumen selber studiert werden.

Die Bedeutung von Bäumen als Versorger mit reiner Luft und Energie oder als Rohmaterial für Möbel, Baumaterial und andere Werkzeuge kann gar nicht überbewertet werden. Wälder bedecken etwa 30 Prozent der Landgebiete der Erde, sie beheimaten zwei Drittel des Lebens auf der Erde und machen 90 % der Biomasse auf dem Land aus. Viele Eigenschaften der Bäume kommen in anderen Pflanzen nicht vor, wie die Fähigkeiten, große Mengen an Holz zu produzieren, das Wachstum nach den Jahreszeiten auszurichten und sich an geänderte Umweltbedingungen anzupassen. Bäume verfügen über diese Eigenschaften, weil sie viele Jahre am selben Ort überleben müssen.

Die Pappel hat in Deutschland eine kleine Anbaufläche, bei ihr wird aber die Verwendung von gezüchtetem Material noch am ehesten akzeptiert. Ihre Bedeutung für den Anbau auf landwirtschaftlich nicht genutzten Flächen könnte in Zukunft steigen. Außerdem ist zahlreiches Züchtungsmaterial (Eltern und Nachkommen) vorhanden. Dennoch ist in Deutschland die Holzgewinnung zum Beispiel in Pappelplantagen noch sehr gering, auch wenn in den nächsten Jahren ein verstärkter Pappelanbau zu erwarten ist. Dagegen wird in Nordamerika und Asien bereits in großem Umfang Holz aus Plantagen (Pappel, tropische Baumarten) geerntet.

Durch den Vergleich des Pappelgenoms mit dem des Ackerschmalkrautes erhoffen sich die Wissenschaftler, so genannte „baumspezifische“ Gene zu identifizieren. Anhand der erhaltenen Daten haben die Wissenschaftler errechnet, dass die Pappel etwa 40.000 bis 50.000 Gene hat. Weiter rechnen sie damit, dass etwa 5.000 bis 10.000 von ihnen beim Ackerschmalkraut nicht vorhanden sind und dass diese deshalb „baumspezifisch“ sind.

Mit der Kenntnis des Pappelgenoms haben sich aber auch neue wissenschaft-

liche Herausforderungen in der Genomforschung ergeben. Das Erbgut der Pappel kann nun zwar gelesen werden, aber den Buchstaben muss noch ein Sinn zugeordnet werden, es müssen quasi Wörter geformt und danach ganze Sätze gebildet werden. Somit wird der nächste wichtige Schritt sein, die Lage der Gene im Pappelerbgut sowie deren Funktion zu erkunden [2]. Diese Forschungen werden spezielle Informationen über die Funktionsweise von Bäumen wie auch über universale biologische Fragen liefern. Viele der Reaktionen und Funktionen von Pflanzen gelten auch für Tiere und Menschen. Aber die Erkenntnisse können sich auch auf die Ökologie auswirken.

Doch die weite Öffentlichkeit sowie die mit der Genomforschung befasste Wissenschaft verkennt geradezu diesen wissenschaftlichen Durchbruch. Möglicherweise haben deshalb nur so wenige davon Notiz genommen, weil die Pappel weder gefährlich noch bedrohend wirkt. Ein Grund für die Nichtbeachtung dieses bedeutenden Meilensteins mag aber sein, dass Bäume nicht in die Welt der landwirtschaftlich ausgerichteten Berichterstattung über die Genforschung passen. Bäume wachsen (normalerweise) außerhalb der Agrarlandschaft und werden zur allgemeinen „Natur“ gerechnet und somit als „wilde“, genetisch uneinheitliche Organismen eingestuft.

Jedoch irrt nicht nur der unbekümmerte deutsche Wissenschaftler, sondern auch viele in der Administration tätige Beamte, wenn es um die internationale und nationale Bedeutung der Baumforschung geht. Anhand der neuen Daten soll die Funktion der Gene erkundet werden. Das genetische Wissen, das mit der Totalsequenzierung des Pappelgenoms angehäuft wird, ermöglicht den Forschern in naher Zukunft, das bereits jetzt schon fleißig betriebene „Herumspielen“ mit dem Pappelgenom sogar noch eifriger zu betreiben.

Bisher sind in den USA und Europa 79 behördlich zugestimmte Freisetzungsvorhaben mit gentechnisch veränderten (transgenen) Bäumen durchgeführt worden [3]. Die Mehrzahl dieser Versuche wurde mit Pappeln durchgeführt. Die bisher modifizierten Merkmale betreffen kommerziell wichtige Merkmale wie veränderte Holzqualität durch geringere Ligningehalte sowie Resistenzen gegen Schädlinge und Pflanzenkrankheiten bis

PD Dr. M. Fladung arbeitet am Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft.

hin zu einer verstärkten Metallaufnahme. Einige Versuche sind in der wissenschaftlichen Grundlagenforschung anzusehen.

Das Wissen um die Gene und deren Funktion kann nun dazu genutzt werden, wirtschaftlich wichtige Pappelgene leichter zu isolieren und gentechnischen Versuchen zugänglich zu machen. Damit könnten bessere Holzqualitäten erreicht werden. Da Holz z.B. für die Papierproduktion elementar ist, können auch solche Gene gentechnisch übertragen werden, die entscheidend für die Formierung des Holzes sind sowie dessen Struktur und Zusammensetzung optimieren. Damit könnte die Papierproduktion effizienter, umwelt- und kostengünstiger gestaltet werden. Hierfür soll entweder der Ligningehalt im Holz reduziert oder das Lignin in seiner Struktur so verändert werden, dass es im Zuge der Zellstoffgewinnung leichter entfernt werden kann. Auch könnten Bäume zu besserer Luft- und Bodenreinigung gemacht werden, auch dass sie schneller wachsen und mehr Holz bilden.

Neben den genannten wirtschaftlichen und umweltrelevanten Vorteilen können gentechnisch veränderte Bäume auch zum Klimaschutz beitragen. Die globale Erwärmung unserer Erde ist heute unumstritten. Intakte Waldökosysteme stellen für viele Menschen eine Selbstverständlichkeit dar und (allerdings für das Maß der Lebensqualität nur bedingt erfassbar) werden aber gerne als ein herausragendes Siegel für eine gelungene Öko-Politik angesehen. Die Wälder stellen die Lungen der Erde dar. Trotzdem werden wir nicht müde in dem Bestreben, die Abholzung der Wälder voranzutreiben [4]. Allein zwischen 1995 und 2000 wurden in Afrika nach einer Studie der UN-Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation FAO rund 40.000 Quadratkilometer Wald zerstört – das entspricht in der Fläche der Niederlande.

Eine Möglichkeit, mit dem Klimagas Kohlendioxid (CO₂) umzugehen, ist, dieses über

Fortsetzung S. 252



Die Stora Enso Forest Central Europe GmbH sucht zur qualifizierten Unterstützung der Selbstwerbungs-/ Stockkaufaktivitäten im Außendienst baldmöglichst je eine/n fachlich versierte/n und repräsentative/n

Holzeinkäufer/in

- für das Einsatzgebiet Nord Baden-Württemberg/Nordbayern (Ufr.)
- für das Einsatzgebiet Rheinland-Pfalz/Saarland

Das Aufgabengebiet umfasst folgende Bereiche:

- Akquisition von geeigneten Hiebsflächen
- Angebotserstellung an den Waldbesitzer
- Organisation der Einschlags- und Rückarbeiten
- Organisation der Transportlogistik
- Erstellung von Vor- und Nachkalkulationen

Sie sollten in der Lage sein, die Einkaufsinteressen des Unternehmens zu formulieren und gegenüber den Geschäftspartnern überzeugend zu kommunizieren. Sie berichten für das Gebiet Nord Baden-Württemberg an den zuständigen Regionalleiter in München und für das Gebiet Rheinland-Pfalz an den zuständigen Regionalleiter in Düsseldorf.

Anforderungen:

- Forstliche Ausbildung (Dipl.-Forstwirt Uni/FH) oder vergleichbare Qualifikation
- nachweisbare Erfahrung im Bereich Holzeinkauf, idealerweise in der Selbstwerbung und/oder im Stockkauf
- Sprachkenntnisse: Deutsch, Englisch
- gute Kenntnisse in gängigen MS-Anwendungen (Word, Outlook, besonders Excel)
- Führerschein Klasse B

Wir stellen uns eine offene, aufgeschlossene und wirtschaftlich orientierte Persönlichkeit vor, die bereit für Innovationen und in der Lage ist, selbstständig und zielorientiert zu arbeiten.

Ihre aussagefähigen Bewerbungsunterlagen mit Angabe des bevorzugten Einsatzgebietes senden Sie bitte bis spätestens 22.03.2005 an:

Stora Enso Timber AG
Human Resources · Herrn Franz Puchegger
3531 Brand 44 · Österreich · Tel. 0043 / 2826 7001 2254
franz.puchegger@storaenso.com

Stora Enso zählt zu den weltweit führenden Forstindustriekonzernen. Die Hauptproduktbereiche des Unternehmens sind Zeitschriftenpapiere, Zeitungsdruckpapiere, Feinpapiere, Verpackungskarton und Holzprodukte. In diesen Produktbereichen hält Stora Enso eine weltweit führende Position. Stora Enso erwirtschaftet mit rund 43 000 Mitarbeitern in mehr als 40 Ländern und einer Produktionskapazität von rund 15 Millionen Tonnen Papier und Karton einen Jahresumsatz von 12,2 Milliarden Euro. Die Stora Enso-Aktien werden an den Wertpapierbörsen von Helsinki, New York und Stockholm notiert.

Wood Supply Continental Europe ist die Einkaufsorganisation von Stora Enso in Kontinentaleuropa und firmiert unter Stora Enso Forest Central Europe GmbH in Deutschland in einer regionalen Struktur mit zwei Büros in Düsseldorf und München. Das gesamte jährliche Einkaufsvolumen in Kontinentaleuropa beträgt ca. 7,5 Mio fm, davon ca. 2,5 Mio fm in Deutschland.

STORAENSO 

international groß angelegte Wiederaufforstungsmaßnahmen in Biomasse zu binden. Bäume könnten beispielsweise so modifiziert werden, dass sie CO₂ noch effektiver und in größeren Mengen aufnehmen. Schließlich könnten Bäume auch in Wüsten angepflanzt werden, um einer fortschreitenden Desertifikation entgegenzuwirken. Auch dafür könnten gentechnisch veränderte Bäume herangezogen werden.

Aber auch national könnten zukünftig entsprechende Aktivitäten entfaltet werden, wenn es im Zuge der Verlagerung der Nahrungsmittel-Primärproduktion nach Osteuropa oder Asien darum geht, stillgelegte landwirtschaftliche Flächen für den Anbau

Nachwachsender Rohstoffe zu nutzen. So könnte unter der Voraussetzung, dass entsprechende gesetzliche Regelungen geschaffen werden, die die Umwandlung von Ackerfläche in eine Baumplantage und wieder zurück ermöglichen, gleichzeitig ein Teil des zukünftigen Energiebedarfs nachhaltig gedeckt werden.

Zusammengefasst beinhaltet in der Konsequenz die Tatsache, dass nun das gesamte Erbgut der Pappel entschlüsselt vorliegt, dass in naher Zukunft völlig neuartige transgene Pappeln erschaffen werden und damit entgegen anders lautender Berichte [3] die Genforschung bei Bäumen boomen wird. Daher ist es außerordentlich wichtig, bereits heute „Biosicher-

heitsforschung“ bei Bäumen zu betreiben [5]. Anders als bei krautigen Pflanzen, bei denen die Biosicherheitsforschung ständig einer kommerziellen Anwendung hinterherhinkt, besteht bei Bäumen die einmalige Chance, wichtige Erkenntnisse zur Biosicherheit von transgenen Bäumen bereits vor der Einführung in die forstliche Praxis zu gewinnen und damit deren Verwendung zu beeinflussen.

Literaturhinweise:

[1] <http://genome.jgi-psf.org/Poptr1/Poptr1.home.html>. [2] KUNKAR, S.; FLADUNG, M. (2003): Forest Tree transgenesis and functional genomics: from fast forward to reverse genetics. *Silvae Genetica* 52, S. 229 -232. [3] <http://www.biosicherheit.de/gehoelze/54.doku.html>. [4] <http://www.fao.org/forestry/index.jsp>. [5] FLADUNG, M. (2002): Kann die Gentechnik im Forst Anwendung finden? *HolzKurier* 6/2002.

Taxonomische Untersuchungen an den Populationen der Weißpappel

Ist die Graupappel eine eigene Art?

Von Dénes Bartha, Sopron

Obwohl jeder anhand des botanischen Namens der Graupappel (*P. x canescens* SM.) erkennen kann, dass es sich um eine Kreuzung handelt, wird sie gerne als eine eigenständige Art betrachtet. Untersuchungen an Weiß- und Zitterpappel-Beständen in Ungarn haben ergeben, dass es keine eigenständigen Populationen der Graupappel gibt. Vielmehr ist es so, dass die Hybriden sich auch aufgrund von Rückkreuzung nicht gegenüber der Weißpappel durchsetzen können. Die Zitterpappel dagegen wurde vor allem durch die Bewirtschaftung zurückgedrängt.

statt einer genetisch und morphologisch homogenen Einheit als ein System aufgefasst werden, welches aus der Gesamtheit von heterogenen und variablen Populationen besteht. Nach diesem biologischen Begriff der Art – welcher auch unseren Zielsetzungen besser entspricht – kann die durch SMITH beschriebene Graupappel hybridischen Ursprunges nicht als selbstständige Art behandelt werden. Sie ist vielmehr bloß als ein Element der Weiß- bzw. Zitterpappelpopulationen zu sehen, da es keine eigenständigen Vorkommen gibt.

Zweifellos unterscheidet die Praxis zwischen den Graupappeln, die den Charakter der Zitterpappel aufweisen und denen, die die Eigenheiten der Weißpappel tragen. Das Problem wird jedoch auch dann nicht gelöst, wenn „unterschiedliche“ Graupappeln auf irgendwelchem systematischem Rang (z.B. Nothomorpha; nothos = griechisch für Bastard) behandelt werden.

Im Folgenden werden wir – in Anlehnung an den populationsbiologischen Artbegriff – bei Erwähnung der Weißpappel auch die „Graupappel“ als mitinbegriffen betrachten.

Numerisch-taxonomische Untersuchungen

Untersuchung autochthoner Populationen

Bei der Analyse von acht Eigenschaften der Populationen („in situ“) ergab sich ein Problem: die generativen Merkmale, die besonders genaue Messungen zum geeigneten Zeitpunkt erfordern, können nur

Tab. 1: Ergebnisse der Diversitätsuntersuchung bei je 100 Exemplaren von 21 Nachkommenschafts-Populationen aufgrund des Hybridenindex

Nr.	Population	Diversität	Äquitabilität
1	Rum	46,281	0,650
2	Mohács	2,000	0,985
3	Baja	0,000	1,000
4	Paks	9,995	0,970
5	Ásványráró	19,689	0,851
6	Szeged	7,195	0,946
7	Gyula	10,854	0,918
8	Szolnok	19,785	0,850
9	Eperjeske	47,243	0,643
10	Litke	16,640	0,874
11	Györszentiván	40,721	0,692
12	Vitnyéd	14,682	0,889
13	Tápiósáp	6,593	0,950
14	Tápióbcske	57,848	0,562
15	Dabas	47,016	0,644
16	Mikebuda	7,877	0,940
17	Iszák	53,770	0,593
18	Jánoshalma	62,117	0,530
19	Rusza	60,612	0,541
20	Nagydorog	14,194	0,893
21	Rinyaújlak	21,871	0,836
		$D_{\max} = 132,177$,	$D_{\min} = 0,000$

Widersprüchlicher Artbegriff

Die Weißpappel (*Populus alba* L.) und die Zitterpappel (*P. tremula* L.) wurden von LINNÉ [6], die Graupappel wurde von SMITH [10] aufgrund je eines Holotyps beschrieben und als eine Art bestimmt (der Holotyp ist das Exemplar einer Art, welches einer Erstbeschreibung zugrundeliegt). Beide gingen von einem Artbegriff aus, nach dem die Arten eine genetische und morphologische Einheit darstellen. In der Fachliteratur und Praxis wurden Weißpappel, Zitterpappel und Graupappel als gleichrangig und von gleich großer Bedeutsamkeit behandelt. Obwohl die hochgradige, vor allem morphologische Mannigfaltigkeit dieser Bäume, sowie der Umstand, dass die Graupappel eine Hybride ist, bereits seit den Arbeiten von GOMBOCZ [1, 2] als bekannte Tatsachen gelten können, konnte bis zum heutigen Tag die Auffassung nicht ausgemerzt werden, dass die Graupappel eine eigene Art sei.

Der erwähnte Artbegriff muss bereits seit der Stellungnahme von VAVILOV [11]

Prof. Dr. D. Bartha leitet das/arbeitet am Institut für Botanik der Forstlichen Fakultät an der Westungarischen Universität in Sopron.