

Bleibende Utopie oder bald Wirklichkeit?

Domestikation von Bäumen

Von Matthias Fladung, Grosshansdorf

Der Forstwirtschaft werden zukünftig enorme Veränderungen bevorstehen, wenn der Holzbedarf weiter so steigt wie bisher. Diese betreffen sicher weniger die bestehenden Waldökosysteme, sondern formulieren einen neuen Zweig der Forstwirtschaft, die agrarisch-basierte Plantagenkultur mit Forstgehölzen. Die Forstpflanzenzüchtung der Zukunft steht daher vor großen Herausforderungen, da die heute verfügbaren Sorten und Genotypen von Forstgehölzen für einen Plantagenbau nicht optimiert sind. Im Vergleich zu den domestizierten Züchtungsprodukten aus landwirtschaftlicher Züchtung kann man nur erahnen, welcher immense Zugewinn an Ertrag und Qualität möglich ist, wenn eine Domestikation von Bäumen ähnlich wie die Domestikation unserer Nahrungs- und Nutzpflanzen vollzogen wird.

Das Ziel jeglicher Forstwirtschaft ist eine auf den Bedarf abgestimmte, ökonomisch sinnvolle und ökologisch nachhaltige Produktion von Holz. Allerdings ist bereits heute in vielen Ländern der Erde der Holzbedarf größer als die eigene Holzproduktion. Als Folge wird Holz aus Drittländern importiert, die dieses entweder aus nachhaltiger Forstwirtschaft, Plantagenbau oder aus Urwäldern gewinnen. Jedoch führt insbesondere Letzteres zu dem seit über 30 Jahren bekannten und immer wieder kritisierten Rückgang des Bestandes an Urwäldern. Aber auch zukünftig wird der Bedarf an Holz und Holzprodukten weiter ansteigen, sodass abzusehen ist, dass eine ausschließlich auf Nachhaltigkeit agierende Forstwirtschaft diesen steigenden Holzbedarf nicht zu decken vermag [4].

Um den Druck von den Primärwäldern der Erde zu nehmen und dennoch genügend Holz zu produzieren, ist zusätzlich zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Wäldern eine intensive Forstwirtschaft in

Form von Plantagenkulturen anzuraten. Holz kann auf Plantagenkulturen kostengünstig und effizient produziert werden. Allerdings müssen geeignete Sorten bzw. Genotypen für diese spezielle Anbauform zur Verfügung stehen, die zusätzlich auch an die jeweiligen Plantagenstandorte angepasst sein müssen.

Im Gegensatz zur Begründung von Wäldern, für die zur Anbausicherung hinsichtlich der Wahl einer geeigneten Baumart bzw. Herkunft seit etwa 100 Jahren intensiv Provenienzforschung betrieben wird [15], sind in einer nach forstlichen Wertvorstellungen ausgerichtete Forstpflanzenzüchtung für Plantagenkulturen bisher noch keine relevanten Sorten bzw. Genotypen hervorgebracht worden.

Ziele und Probleme der Forstpflanzenzüchtung

Im Mittelpunkt der Forstpflanzenzüchtung steht die Verbesserung der Leistungsfähigkeit, Qualität und Widerstandsfähigkeit von Gehölzen. Besonders wichtig sind hierbei die Auslese von Individuen und Populationen sowie die Neukombination von Merkmalen durch Kreuzung selektierter Individuen. Die Züchtung von Forstgehölzen hat in Deutschland eine lange Tradition [10, 11, 15]. Allerdings ist wegen der langen Nutzungs- und Reproduktionszeiträume von Bäumen eine nennenswerte züchterische Selektion hinsichtlich forstwirtschaftlich bedeutender Merkmale nur sehr begrenzt möglich [6].

Bei der Züchtung von Obstgehölzen ist von Vorteil, dass bei vielen Arten eine vegetative Vermehrung relativ leicht möglich ist. Ähnlich stellt sich die Situation bei Pappeln, Weiden und Erlen dar, dagegen ist aber bei Kiefer, Buche und Eiche und mit Einschränkungen bei Fichte eine vegetative Vermehrung schwierig. Des Weiteren ist es bei Obstgehölzen mit kulturtechnischen Methoden gelungen, die teilweise sehr langen vegetativen Phasen entscheidend zu verkürzen. Untersuchungen haben ergeben, dass z.B. der Apfel zwischen dem 70. und 120. Nodium von der vegetativen in die generative Phase wechselt [5]. Daher behandelt man junge Apfelpflanzen, die für eine Kreuzung vorgesehen sind, während des vegetativen Wachstums mit Dauerlicht, sodass diese bereits nach einem Jahr zur Blüte gelangen.

Eine ähnliche Behandlung bei Forstgehölzen hat bisher noch keine frühzeitige Blüte induziert. Bei den meisten Forstbaumarten ist daher nach einer initiierten Kreuzung (ersten Filialgeneration oder F1) die Erzeugung einer zweiten oder dritten Filialgeneration praktisch ausgeschlossen. So hat man in der Forstpflanzenzüchtung den Begriff der „Auslesezüchtung“ kreiert und meint damit die Bewertung einer F1-Kreuzungsnachkommenschaft zweier Elite- oder „Plus“-bäume hinsichtlich forstlich relevanter Merkmale („Hybridzüchtung“; [11, 15]).

Erfolge der deutschen Forstpflanzenzüchtung werden in der Hybridzüchtung der Pappel, der Auslese von phänotypisch herausragenden Bäumen und mikrovegetative Vermehrung von Vogel-Kirschenklonen, die Erzeugung frostharter Douglasien durch Kreuzung zwischen zwei Douglasienvarietäten sowie die Verbesserung von Eigenschaften bei gleichzeitiger genetischer Stabilität mithilfe der „Kreuzungszüchtung“ bei der Japanischen und Europäischen Lärche, Stiel- und Traubeneiche, Gemeinen Kiefer oder Schwarz-Erle gesehen [15]. Ein Blick nach China (Pappelzüchtung), Finnland (Birkenzüchtung), Australien und Neuseeland (Züchtung Monterey-Kiefer, *Pinus radiata*) sowie Australien und Frankreich (Züchtung Seestrand-Kiefer, *Pinus pinaster*) offenbart jedoch, dass im internationalen Vergleich

PD Dr. M. Fladung ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Forstgenetik des J. H. v. Thünen-Instituts, Bundesforschungsinstitut für ländliche Räume, Wald und Fischerei.



Matthias Fladung
mfladung@uni-hamburg.de

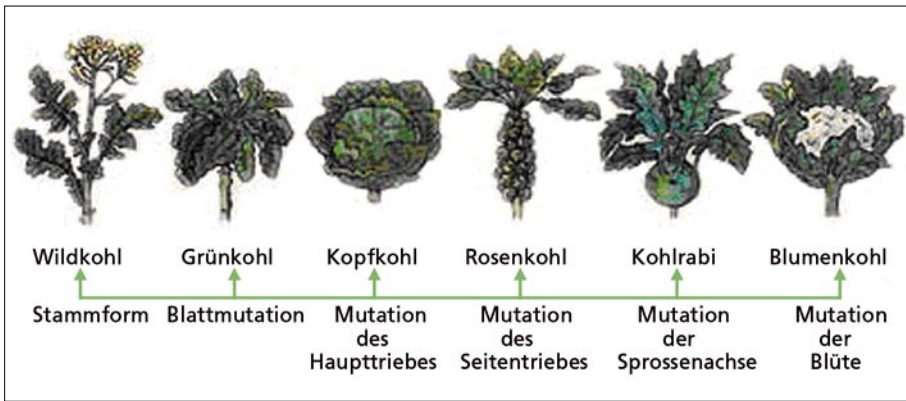


Abb. 1: Der Wildkohl (links) und was aus ihm durch Mutationen und Selektion geworden ist (aus: *Wissenspeicher Biologie, Berlin 1979*)

diese „Erfolge“ eher als gering einzuschätzen sind.

Am Beispiel der Pappelzüchtung in China kann die rasante internationale Entwicklung der Forstpflanzenzüchtung abgelesen werden. Neben Wuchsleistung, Stammform und Resistenzen stehen besonders Holzmerkmale (Holzdichte) sowie Eigenschaften der Holzfasern für Zellstoffgewinnung im Vordergrund von Züchtungsprogrammen [13]. Instrumente der Forstpflanzenzüchtung in diesen Ländern sind neben einfacher morphologischer Evaluierung auch der Einsatz molekularer Marker, die zur frühzeitigen Selektion von Holzeigenschaften und anderen Merkmalen eingesetzt werden können und die Basis der so genannten „Marker-gestützten Selektion“ darstellen [6, 7]. Heute stehen in China Pappelklone zur Verfügung, die unsere deutschen an Ertragsleistung, Resistenzen und Holzqualität bei weitem übertreffen. Zudem wurde die Bedeutung von Pappelplantagen als Möglichkeit der Produktion biogener Energie erkannt.

Zum Vergleich: in Deutschland ist im Zuge von Haushaltseinsparungen und politischem Willen die Pappelzüchtung seit Beginn der Neunzigerjahre des letzten Jahrhunderts praktisch auf Null heruntergefahren worden. Die Pappel bietet jedoch als genügsame, arbeitsexensive Kultur nicht nur eine klimaneutrale, sondern auch eine ökologisch sinnvolle Alternative zur Erzeugung von Bioenergie. Diese Chance zu nutzen haben andere Länder erkannt, was sich über politische Vorgaben auf Programme der Forschungsförderung niedergeschlagen hat.

Domestikation von Nutzpflanzen

Der Begriff der Domestizierung oder Domestikation ist primär im Zusammenhang mit Wildtieren und -pflanzen gebräuchlich

und meint die menschliche Auslese und Selektion von Individuen mit gewünschten Eigenschaften¹⁾. Zweck der Domestikation ist die Verwendung als Nutz- oder Heimtier bzw. als Nutzpflanze. Die Domestikation von Nutzpflanzen wie Mais, Gerste, Tomaten und viele andere zur Sicherung der Nahrungsgrundlage, die auch als „Grüne Revolution“ bezeichnet wird, ist eine der größten Leistungen der menschlichen Kulturgeschichte. Abhängig von der Pflanzenart hat die Domestikation unserer Kulturpflanzen aus wilden Vorfahren bereits vor 5 000 bis 10 000 Jahren begonnen, und wird noch heute in umfangreichen Züchtungsprogrammen fortgeführt. Nur wenige wissen, wie verschieden heutige domestizierte Kulturpflanzen von ihren wilden Verwandten sind (Abb. 1).

Im Unterschied zu undomestizierten Pflanzen, die im ständigen Existenzkampf ums Überleben hinsichtlich Licht, Wasser und Nährstoffe die Reproduktion, d.h. die Weitergabe ihrer genetischen Information an die Nachkommen, anstreben, sind Kulturpflanzen vom Menschen hinsichtlich ihrer späteren Verwendung als Nahrungs- oder Futtermittelpflanze optimiert worden. Die mittels Photosynthese eingefangene Energie sowie die über Dünger bereitgestellten Nährstoffe werden möglichst effizient in geeignete Strukturen wie Samen, Knollen oder Früchte importiert und dort gesammelt.

Simplifiziert heißt das, dass die Domestikation eine vom Menschen vorbestimmte und für den späteren Verbrauch abgezielte Optimierung hinsichtlich Ertrag und Qualität einer Pflanze bei gleichzeitiger Reduzierung der Fähigkeit, in einer natürlichen Umwelt zu überleben, darstellt.

Der Erfolg der Domestikation zum Beispiel bei Weizen und Reis hängt zu einem großen Teil mit der Erzeugung kurzwüchsiger („dwarf“) Formen zusammen, die wesentlich höhere Erträge produzierten als „normalwüchsige“ Formen. Eine gene-

tische Charakterisierung dieser dwarf-Formen offenbarte, dass an dieser Halmverkürzung nur wenige Gene beteiligt waren [14].

- Die Entwicklung unserer heutigen Vielfalt an verschiedenen **Kohlsorten** (z.B. Grün-, Kopf-, Rosen- und Blumenkohl, Brokkoli und Kohlrabi) aus einer einzigen Wildform, dem Wildkohl (*Brassica oleracea*), ist ein anderes Beispiel für die erstaunlichen genetischen Veränderungen im Zuge der Domestikation [8]. Nur durch einige wenige Spross- und Blütenstandmutationen sind aus dem Wildkohl alle heute bekannten Kohlsorten (Grünkohl, Wirsing-, Rot- und Weißkohl, Blumenkohl) entstanden.
- Ähnliches gilt für den **Mais**: entscheidend für die Domestikation des Mais aus der „Urform“ Teosinte war die Reduktion der Sprosse und die Ausbildung von kräftigen, mit vielen und großen Körnern behafteten Kolben. Auch hier haben Untersuchungen gezeigt, dass hauptsächlich Mutationen an nur fünf Genen (von etwa 50 000 Genen des Mais) zu diesen Veränderungen geführt haben [1, 3].

Vergleicht man nun die bisher durch die Forstpflanzenzüchtung hervorgebrachten Sorten mit denen der landwirtschaftlichen Pflanzenzüchtung [6], so ist eigentlich nur zu erahnen, welcher Zugewinn an Holztrag und -qualität durch eine an menschliche Bedürfnisse orientierte genetische Verbesserung, sprich Domestikation bei den eigentlich noch immer als „Wildpflanzen“ zu bezeichnenden Produkten aus forstlicher Züchtung möglich ist.

Domestikation bei Bäumen

Bäume unterscheiden sich von annualen Nutzpflanzen in einer Reihe von Merkmalen. Sie sind durch ausgedehnte vegetative Phasen charakterisiert und können je nach Art ein Lebensalter von 100 bis 1 000 Jahre erreichen. Bei der forstwirtschaftlichen Nutzung von Bäumen sind die teilweise extrem langen Umtriebszeiten zu beachten, die im Extremfall zwischen Pflanzung und Ernte bis zu 300 Jahre betragen. Im Gegensatz zu Kulturpflanzen, die einen hohen Domestikationsgrad aufweisen, sind Bäume „Wildpflanzen“, die durch eine hohe genetische Diversität gekennzeichnet sind.

BRADSHAW und STRAUSS [2] haben bereits über mögliche zukünftige Züchtungsstrategien in Zusammenhang mit der Domestikation der Pappel nachgedacht. Sie haben auf die simple Frage „Warum produzieren Bäume Holz?“ die Antwort „weil sie hoch wachsen können“ gegeben. Und Bäume erreichen eine beträchtliche Höhe, damit sie in der Konkurrenz mit anderen Pflanzen um das Sonnenlicht Nährstoff-Ressourcen anlegen können, die für die spätere Samenbildung benötigt wird. Nicht-do-

¹⁾ <http://de.wikipedia.org/wiki/Domestizierung>

mestizierte Bäume müssen also nur so viel Holz wie notwendig ausbilden, um ihre reproductiven Ziele zu erreichen.

Eine Domestikation von Bäumen könnte konkret die folgenden Attribute betreffen [2]:

1. Eine Zunahme des Ertrags bedeutet, dass domestizierte Bäume mehr Holz pro Flächeneinheit während einer möglichst kurzen Zeitperiode produzieren. Dieses wäre möglich, wenn gebildete Photoassimilate hauptsächlich in den Prozess der Spross- und Holzbildung einfließen und andere, energieintensive Prozesse wie zum Beispiel die sexuelle Reproduktion auf ein Minimum reduziert werden. Domestizierte Bäume müssten möglichst unverzweigt sein und eine Krone mit einer Mindestanzahl von Blättern ausbilden, die für eine optimierte Photosynthese notwendig sind. Die Länge des Sprosses sollte möglichst kurz sein, sodass domestizierte Bäume ein größeres Verhältnis des Stammdurchmessers zur Höhe als nicht-domestizierte Bäume aufweisen (Abb. 2). Das Holz dieser dickeren Stämme ist von höherer Qualität (also weniger Reaktionsholz) und es fällt weniger Abfall in den Sägereien an. Das Wurzelsystem sollte nur so groß sein, um ausreichend Nährstoffe und Wasser aufzunehmen.

2. Besonders bei den schnellwachsenden Baumarten im Plantagenbau sind Veränderungen von Holzeigenschaften denkbar. In Abhängigkeit zur weiteren Nutzung des Holzes kann eine Reduktion des Lignins (für eine weitere Verwendung des Holzes als Zellstofflieferant) oder eine Veränderung der Ligninbestandteile (energetische Nutzung) angestrebt werden. Bereits Hu et al. [9] wiesen nach,

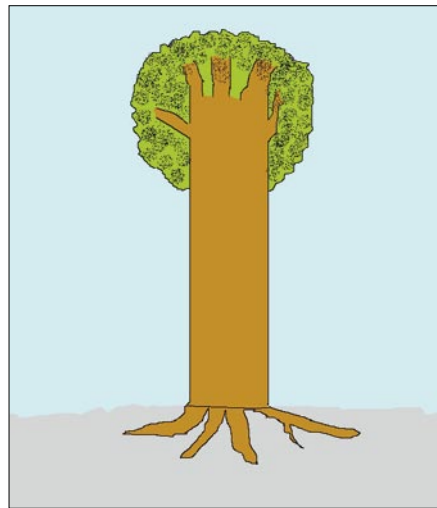


Abb. 2: Der domestizierte Baum nach Maß: kurz und kräftig, mit wenig Seitenzweigen und optimierter Krone

dass im Zuge einer Reduktion von Lignin im Holz gleichzeitig mehr Zellulose produziert wird und höhere Wachstumsraten zu verzeichnen sind. Überraschenderweise konnten PILATE et al. [12] zeigen, dass ligninreduzierte Bäume keinen Fitnessnachteil im Vergleich mit nicht-ligninreduzierten Bäumen haben. Im Gegenteil, die im Zuge der Orkane „Lothar“ im Dezember 1999 und „Kyrill“ im Januar 2007 beobachteten Sturmschäden in den Wäldern, als Spitzen von über drei Meter hohen Bäume fast beliebig abgebrochen wurden, wären bei ligninreduzierten Bäumen aufgrund einer höheren Biegsamkeit der Stämme nicht aufgetreten.

3. Auch kann über die Synthese neuer Produkte und die Verwendung von entsprechend gezüchteten Bäumen für ökologische Anwendungen, wie die Phytoremediation, nachgedacht werden. Eine steuerbare und gezielte Produktion zum

Beispiel von Zellulase könnte für Bäume in Energieplantagen interessant sein. Die Produktion von Xylanase wäre in Bäumen denkbar, dessen Holz später für die Papierherstellung genutzt werden soll.

Folgerung

Eine genetische Verbesserung von Bäumen ist mithilfe klassischer Züchtungsmethoden aufgrund der speziellen Eigenschaften von Bäumen wie Langlebigkeit und lange Reproduktionsräume nur eingeschränkt möglich. Es müssen neue Methoden in die Forstpflanzenzüchtung integriert werden. Dieses können nur gentechnische Methoden sein, wobei aber die gentechnische Veränderung in den domestizierten Bäumen nicht nachweisbar sein darf.

Literaturhinweise:

- [1] BEADLE, G. W. (1972): The mystery of maize. *Field Mus Natl Hist Bull* 43, 2-11. [2] BRADSHAW, H. D. JR, STRAUSS, S. H. (2001): Breeding strategies for the 21st century: domestication of poplar. In: *Poplar culture in North America*. Part B, Chapter 14. Edited by Dickmann DI, Isebrands JG, Eckenwalder JH, Richardson J. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON K1A 0R6 Canada, Seiten 383-394. [3] DOEBLY, J.; STEC, A. (1991): Genetic analysis of the morphological differences between maize and teosinte. *Genetics* 129, 285-295. [4] FENNING, T. M.; GERSHENZON, J. (2002): Where will the wood come from? Plantation forests and the role of biotechnology. *Trends in Biotechnology* 20, 291-296. [5] FLACHOWSKY, pers. Mitteilung. [6] FLADUNG, M. (1998): Die Bedeutung bio- und gentechnologischer Verfahren für die Forstpflanzenzüchtung. *Vortr. Pflanzenzüchtg.* 43: 124-133. [7] FLADUNG, M.; MUHS, H. J. (2001): Einsatzpotenzial der Gentechnologie in der Forstwirtschaft. In: *Tagungsband Holz Innovativ*, Rosenheim, 7. und 8.3.2001, Kapitel 9, 4 Seiten. [8] FRÄNZ, D. (1988): Ein Beitrag zur Züchtung des Kohls. *Der Palmengarten* 3/88, 187-198. [9] HU, W. J.; HARDING, S. A.; LUNG, J.; POPKO, J. L.; RALPH, J.; STOKKE, D. D.; TSAI, C. J.; CHIANG, V. L. (1999): Repression of lignin biosynthesis promotes cellulose accumulation and growth in transgenic trees. *Nature Biotechnology* 17, 808-812. [10] LANGNER, W. (1957/58): Einführung in die Forstpflanzenzüchtung. 1.-16. Allgem. Forstz, 48 bis 16 = Arbeitsbericht der Bundesforschungsanst. Forst- Holzwirtschaft. Nr. 22. [11] LOCHOW, P. von (1929): Etwas über Forstpflanzenzüchtung. *Der Züchter* 1, 73-79. [12] PILATE, G.; GUINEY, E.; HOLT, K.; PETTICONIL, M.; LAPIERRE, C.; LEPLÉ, J. C.; POLLET, B.; MILA, I.; WEBSTER, E. A.; MARSTORP, H. G.; HOPKINS, D. W.; JOUANIN, L.; BOERJAN, W.; SCHUCH, W.; CORNU, D.; HALPIN, C. (2002): Field and pulping performances of transgenic trees with altered lignification. *Nature Biotech* 20, 607-612. [13] POWELL, M. B.; MCRAE, T. A.; WU, H. X.; DUTKOWSKI, G. W.; PILBEAM, D. J. (2004): Breeding Strategy for *Pinus radiata* in Australia. IUFRO Joint Conference of Division 2 Forest Genetics and Tree Breeding in the Age of Genomics: Progress and Future. Charleston, South Carolina, USA – 1-5 November 2004. [14] SALAMINI, F. (2003): Hormones and the green revolution. *Science* 302, 71-72. [15] WOLF, H. (2006): Forstpflanzenzüchtung in Deutschland. *AFZ-DerWald* 8/2006.