

Eine Herausforderung für die Gentechnik:

Stadtbäume als Ergänzung des Biomasseaufkommens?

Maximilian von Knoop und Matthias Fladung

Aufgrund der steigenden Bedeutung der Ressource Holz und der damit einhergehenden Knappheit wird der Bedarf in Zukunft vermutlich nicht mehr nur durch vorhandene Wälder und Plantagen gedeckt werden können [5, 6], zumal wenn die restlichen Primärwälder dieser Erde strenger unter Schutz gestellt werden. Deshalb ist es sinnvoll darüber nachzudenken, den auch im urbanen Bereich stetig verfügbaren Holzvorrat einer industriellen Nutzung zuzuführen und ihn nicht auf Kompostanlagen verrotten zu lassen. Hierzu sollte auch die Verwendung gentechnisch veränderter Bäume in Betracht gezogen werden, da eine Optimierung von qualitativen und quantitativen Biomassertragsparametern mit Hilfe konventioneller Züchtungsmethoden unter den schwierigen Lebensumständen in der Stadt schwer zu realisieren ist.

Bäume im urbanen Bereich

Bäume erfüllen im urbanen Bereich un-
gemein wichtige Aufgaben für die in der
Stadt lebenden Menschen und Tiere als

- elementares Gestaltungselement,
- Schall- und Sichtschutz,
- Windbremse und Schattenspendender,
- Sauerstoffproduzent und Luftfilter [11].

Der urbane Bereich ist für einen Baum
aber kein optimaler Wuchsort. Bodenver-
siegelung, Leitungen und Rohre begrenzen
den Wurzelraum und reduzieren die
Wasser- und Nährstoffversorgung. Sie
sollen zwar so fest verwurzelt sein, dass
sie nicht beim nächsten Sturm umfallen,
gleichzeitig sollen sie aber auch kein so
starkes Wurzelwerk entwickeln, als das sie
Leitungen und Rohre beschädigen. Auch
mit höheren Temperaturen und kürzeren
Wintern [1] müssen die Bäume in der Stadt
umgehen können.

*M. v. Knoop ist Student an der Hochschule für
angewandte Wissenschaft und Kunst (HAWK)
in Göttingen und hat seine Bachelorarbeit über
„Transgene Bäume
im Forst, der
Landwirtschaft und
dem urbanen Raum“
geschrieben. Dir. und
Prof. Dr. M. Fladung ist
stellv. Leiter des Instituts
für Forstgenetik des vTI
in Großhansdorf.*



Maximilian von Knoop
max.von.knoop@googlemail.com

Für den urbanen Bereich eignen sich
deshalb fremdländische Baumarten bes-
ser als heimische, an Wälder angepasste
Baumarten. In den gemäßigten Breiten
müssen Stadtbäume zusätzlich relativ ho-
he Salzgehalte durch die winterliche Streu-
ung vertragen, da die Chloride für zusätz-
lichen Stress sorgen. Die hohen Belastun-
gen durch Schadstoffe und Feinstaub und
Schwermetalle stellen die Bäume unter
eine zusätzliche Belastungsprobe. Zudem
sollen Bäume in der Stadt wenig Schmutz
verursachen, rasch ihr Laub verlieren, wel-
ches sich dann schnell zersetzen muss,
und möglichst keinen Pollen produzieren.
Anforderungen, die mit Hilfe konventio-
neller Züchtungsmethoden schwer zu rea-
lisieren sind, aber mit Hilfe gentechnischer
Methoden erreichbar wären.

Verbreitung gentechnisch veränderter Pflanzen und Bäume

In der Landwirtschaft werden gentech-
nisch veränderte Pflanzen bereits seit 15
Jahren großflächig angebaut [10]. Auch
für Bäume existieren bereits seit fast 15
Jahren verschiedene Methoden, fremde
Gene in das Erbgut (Genom) zu überfüh-
ren [8]. Gentechnik stellt aber per se kein
„Pflanzenverbesserungswerkzeug“ dar,
sondern soll im Rahmen der Pflanzenzüch-
tung als eine zusätzliche Methode Anwen-
dung finden.



Abb. 1: Geästete Stadtbäume am Göttinger
Wall

Der entscheidende Vorteil der Gentech-
nik ist die Möglichkeit, die teilweise sehr
langen Züchtungszeiten entscheidend zu
verkürzen. Schon heute ist abzusehen, dass
die Bedeutung der Gentechnik auch für
Bäume nicht nur zur Beantwortung von
Fragen der Grundlagenforschung hoch ist,
sondern dass auch wirtschaftlich relevante
Gene, die zum Beispiel den Lignin- oder
Zellulosegehalt beeinflussen, Holzträge
steigern oder Wuchseigenschaften verän-
dern, zur Anwendung kommen.

Gab es anfangs noch eine zögerliche
Umstellung von konventionell gezüchte-
ten auf gentechnisch veränderte Sorten,
so wachsen heute transgene Pflanzen be-
reits auf mehr als einem Zehntel der welt-
weiten Ackerfläche. Verglichen mit dem
Jahr 2009 hat die weltweite Anbaufläche
von gentechnisch veränderten Pflanzen
um 10 % (14 Mio ha) zugenommen (Abb.
2). In 59 Ländern sind gentechnisch verän-
derte Pflanzen entweder zum Anbau oder
als Lebens- bzw. Futtermittel zugelassen.
In Europa allerdings ist die Anbaufläche
sehr gering. Nur in acht Ländern wird
insektenresistenter Bt-Mais oder die In-
dustriestärke-Kartoffel Amflora mit einer
Gesamtfläche von unter 100 000 ha ange-
baut.

Allerdings ist neben den Anstrengun-
gen zur Evaluierung des Nutzens gen-
technisch veränderter (GV-) Bäume auch
gleichzeitig eine intensive Bewertung

eines möglichen Risikos unabdingbar. Zwar wird objektbedingt eine umfassende Risikoanalyse gentechnisch modifizierter Bäume in der forstlichen Praxis immer „lückenhaft“ bleiben, doch sind weltweit intensive Anstrengungen festzustellen, sich der Thematik der Biosicherheitsforschung bei Bäumen zu stellen. Die Bewertung der Biosicherheit hinsichtlich Invasivität und Umweltverträglichkeit darf sich allerdings nicht nur auf gentechnisch modifizierte Bäume beschränken, sondern muss auch auf nach Deutschland eingeführte fremdländische Baumarten und auf konventionell gezüchtete Sorten, z.B. wenn Erbgut fremdländischer Baumarten eingekreuzt wurde, ausgeweitet werden.

Zur Zeit wird intensiv an der Übertragung von Genen gearbeitet, die z.B. eine Resistenz gegen Insektenfraß verleihen, eine Veränderung des relativen Ligningehaltes im Holz induzieren, das Wachstum steigern oder Blüheigenschaften von Bäumen verändern. Eine kommerzielle Nutzung von GV-Bäumen findet aber nur in China statt (siehe Kasten).

Techniken zur Erzeugung gentechnisch veränderter Bäume

Eine wichtige Voraussetzung für die Erzeugung gentechnisch veränderter Pflanzen ist die Möglichkeit, aus isolierten Geweben oder sogar Einzelzellen vollständige Pflanzen zu regenerieren. Hierfür sind in den letzten dreißig Jahren für viele Pflanzenarten im Rahmen der „Gewebe-“ oder „In-vitro-Kultur“ eine Reihe von Verfahren entwickelt worden. Häufig werden Teile von Blättern (Blattexplantate) unter sterilen, aseptischen Bedingungen auf künstliche Nährmedien aufgelegt und unter kontrollierten Bedingungen kultiviert. Nach einigen Wochen entwickeln sich an den Schnittstellen der Blattstücke Sprosse (Abb. 3), die abgenommen, auf anderen Medien bewurzelt und schließlich zu kleinen Bäumchen herangezogen werden können.

Des Weiteren müssen Gene zur Verfügung stehen, die in das Erbgut (Genom) der Empfängerpflanzen transferiert werden sollen. Gene sind die funktionalen Bestandteile des Genoms, sie tragen die Information zur Herstellung eines Eiweißes (Proteins). Um nun die Gene in das Genom der Empfängerpflanzen zu übertragen, stehen mehrere Methoden zur Auswahl.

- Die wichtigste Methode ahmt die natürliche Fähigkeit eines Bodenbakteriums mit dem Namen *Agrobacterium tumefaciens* nach. Dieses Bakterium enthält neben seiner eigentlichen Erbsubstanz (Chromosom) ein ringförmiges Molekül (Plasmid), das die zu übertragenden Gene beinhaltet.

- Die zweite wichtige Methode bedient sich der Partikelkanone („particle gun“), wobei die DNA mit Hilfe von Gold- oder Wolfram-Kügelchen in die Pflanzenzellen hineingeschossen werden.

Ansätze gentechnischer Veränderungen

Die Forschung an GV-Bäumen kann in zwei Kategorien gegliedert werden.

- **Die erste Kategorie** berührt Aspekte der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes. Beispiele hierfür sind die Einführung völlig neuer Eigenschaften wie Dürre-, Kälte- und Stresstoleranz sowie Insektenresistenz. Aber auch Bäume, die veränderte Holzmerkmale aufweisen, etwa einen reduzierten Ligningehalt, fallen in diese Kategorie.
- **Die zweite Kategorie** von GV-Bäumen umfasst Aktivitäten für eine effizientere, ökologisch nachhaltige und umweltverträgliche Produktion von nachwachsenden Rohstoffen und Biotreibstoffen. Bäume für den urbanen Bereich müssten bevorzugt mit Merkmalen der ersten Kategorie versehen werden.

Stress (Wasser, Trockenheit, Salz)

Die Etablierung von Merkmalen wie Toleranzen gegen Kälte, Dürre oder salzige Böden ist züchterisch schwer „fassbar“ und besonders für Bäume nicht leicht zu realisieren. Eine Verwendung trocken- oder salztoleranter transgener Bäume wäre ge-

Bt-Pappeln in China

Nachdem jahrzehntelange Abholzungen der chinesischen Hauptstadt Peking ein massives Luftverschmutzungsproblem beschert hat, beschloss die chinesische Regierung vor 20 Jahren ein gigantisches Wiederaufforstungsprogramm. Die Monokulturen förderten die Entwicklung spezifischer Insekten, deren Larven große Schäden bis hin zur fast völligen Entlaubung anrichteten.

Die Entwicklung insektenresistenter GV-Bäume gelang nach dem Vorbild von gentechnisch verändertem Bt-Mais. Das Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* (Bt) wird auch im Ökolandbau als Insektengift verwendet. Ähnlich wie beim Mais wurden die für die Herstellung des Gifts notwendigen Gene in die Pappel übertragen, so dass die Bäume fortan resistent gegen die blattfressenden Insekten sind. Insektenlarven, die an Blättern von Bt-Pappeln fressen, sterben bereits in den ersten Lebenstagen ab.

Zwei transgene Bt-Pappellinien sind derzeit in China zur kommerziellen Nutzung zugelassen: „Poplar-12“ und „Poplar-741“. In China wurden nun seit 2003 knapp 1,5 Millionen Bt-Pappeln auf einer Fläche von 300 bis 500 ha angepflanzt [14]. Die GV-Pappeln sind inzwischen etabliert und widerstanden bis jetzt erfolgreich dem Insektenbefall. Es wurde auch bisher kein Schaden für die Umwelt berichtet.

Abb. 2: Entwicklung der globalen Anbaufläche für gentechnisch veränderte Pflanzen von 1996 bis 2010 (in Mio ha) [aus 10]

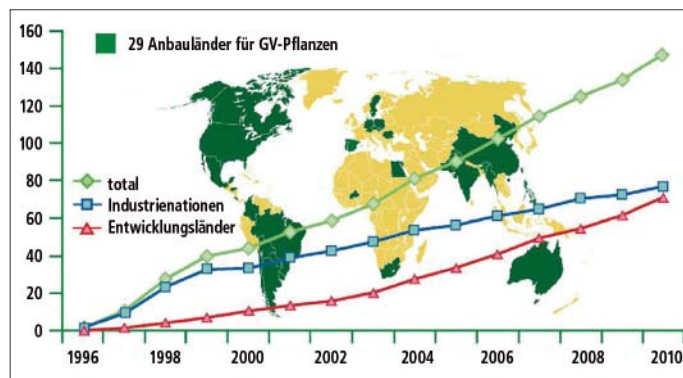


Abb. 3: Regeneration eines Pappelsprosses aus einem Blatt

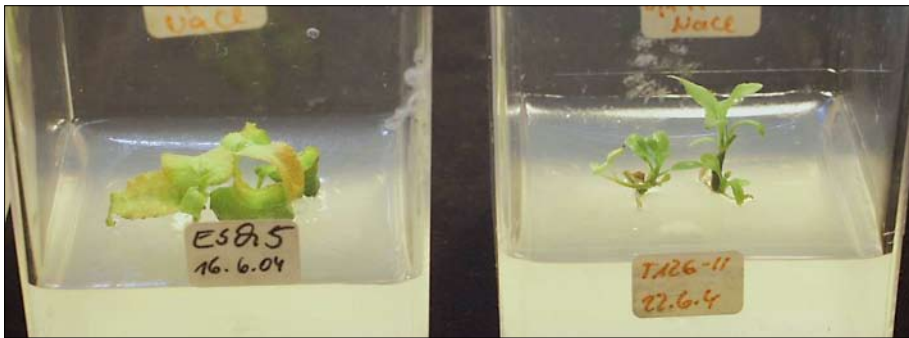


Abb. 4: *Esch5*-Kontrollpflanzen und transgene, salztolerante Pappel auf 0,1 M Salzmedium

rade für Städte, in denen im Winter der Einsatz von Streusalz nicht zu vermeiden ist oder die Bäume teilweise langen Trockenperioden ausgesetzt sind, besonders interessant. Hierfür ist es zwar möglich, natürliche Variationen der Stresstoleranz von verschiedenen Pappelarten für züchterische Anwendungen zu nutzen, allerdings ist nur mit Hilfe der Gentechnik die Erzeugung einer stresstoleranten Pappelsorte in einem angemessenen Zeitrahmen von 10 bis 15 Jahren möglich.

Für verschiedene niedere Pflanzengruppen wie Farne, Flechten und Moose ist bekannt, dass sie extrem austrocknungstolerant sind. Auch verschiedene höhere Pflanzenarten, wie z.B. die „Wiederaufstepflanze“ (*Craterostigma plantagineum*) können extreme Trockenperioden unbeschadet überdauern. *Craterostigma*, die im südlichen und östlichen Afrika, in Nord-Jemen und Indien beheimatet ist, kann nahezu vollständig austrocknen und sich nach Bewässerung wieder erholen. An dieser Pflanzenart wurden die molekularen Aspekte der Austrocknung intensiv untersucht [3]. Gene wurden identifiziert, die homolog zu Genen sind, die man in austrocknungsfähigen Embryonen von heranreifenden Samen findet. Die gentechnische Übertragung dieser Gene in die Pappel hat gezeigt, dass tatsächlich erhöhte Toleranzen gegen abiotische Stressoren (Austrocknung, Salz, Schwermetalle) zu beobachten waren (Abb. 4).

Schwermetalle und organische Schadstoffe

Der Schadstoffausstoß in der Stadt ist höher als in ländlichen Regionen, daher haben Bäume teilweise sehr unter organischen Substanzen und unter Schwermetallbelastung zu leiden. Feinstäube und Staubbiederschlag können Schwermetalle wie Blei, Cadmium und Zink enthalten. Pappeln verfügen bereits über die Fähigkeit, bis zu einer bestimmten Menge Schwermetalle aus dem Boden aufzunehmen und in ihren Blättern zu speichern. Allerdings wäre es wünschenswert, wenn diese Eigenschaft

noch gesteigert werden könnte und damit die Bäume quasi als „Entgifter“ fungieren würden. Damit könnten gentechnisch veränderte Bäume im urbanen Bereich für eine ökologisch nachhaltige Schadstoffreduzierung eingesetzt werden.

Bis jetzt wurden gentechnisch veränderte Bäume für die Nutzung als pflanzenbasierte Entgiftung von Schwermetall- oder mit organischen Substanzen verseuchten Böden (Phytoremediation) diskutiert. Bisher wird eine Altlastensanierung von kontaminiertem Boden häufig über Bodenaushub und einer aufwendigen physikalisch/chemischen Reinigung betrieben. Mit gentechnisch veränderten Bäumen, die resistent gegen Schwermetalle sind und diese sogar z.B. im Stamm akkumulieren, ließe sich eine Dekontamination kontaminierter Böden sowie einer Rückgewinnung und fachgerechten Entsorgung der Schwermetalle ressourcenschonend und verhältnismäßig kostengünstig realisieren.

Veränderung des Ligningehalts

Die bedeutendste Anwendung gentechnischer Methoden bei Bäumen ist die Reduzierung des Ligningehalts des Holzes. Das faserförmige Lignin wirkt als Klebstoff für den zweiten wichtigen Bestandteil des Holzes, die Zellulose, und verleiht den Bäumen somit ihre Standfestigkeit. Es bereitet aber der Zellstoff- und Papierindustrie große Probleme, da es mithilfe von Chemikalien unter hohem Energieaufwand aus dem Holz herausgelöst werden muss bevor aus der verbleibenden Cellulose Papier hergestellt werden kann.

Daher war bisher die Zielsetzung einer Ligninreduzierung hin zu einer umweltfreundlicheren und ökologisch verträglicheren Gewinnung von Zellulose für die Papierherstellung. Biologische Ansätze zur Reduzierung des Lignins bei Bäumen umfassen die Hemmung verschiedener Enzyme der Ligninbiosynthese. Dieser Stoffwechselweg ist zwar äußerst komplex, doch wurden bis heute die Gene vieler Enzyme bereits isoliert.

Berichte über die Hemmung verschiedener Enzyme der Ligninbiosynthese sind sehr eindrucksvoll [13].

Z.B. konnte nach Hemmung der Hydroxy-Cinnamat-CoA Ligase (4CL) im sich entwickelnden Xylem der Zitterpappel (*P. tremuloides*) im Holz der transgenen Bäume eine deutliche Reduzierung des Ligningehalts um bis zu 50 % sowie eine Zunahme der Zellulose um bis zu 40 % beobachtet werden. Ein anderer Bericht beschreibt die Hemmung des Enzyms Cinnamoyl-Coenzym A Reductase (CCR): das Holz der GV-Bäume enthielt weniger Lignin, weniger Hemizellulose, dafür aber mehr Zellulose.

Es bleibt zu prüfen, inwieweit diese ligninreduzierten Bäume für eine Kultivierung im urbanen Bereich vorteilhaft sind. Vermutlich ist das Holz dieser Bäume weniger starr, so dass die Bäume „biegsamer“ und somit bei Sturm weniger Holzbruchgefährdet sind, was auch das Risiko herabfallender Äste reduziert und damit ein geringeres Gefährdungspotential darstellen. Eine höhere Anfälligkeit dieser Bäume gegenüber Schaderregern konnte im Freiland bisher nicht bestätigt werden.

Auf der anderen Seite könnte auch über eine Erhöhung des Ligningehalts nachgedacht werden, wenn das geerntete Holz einer thermischen Verwertung zugeführt werden würde. Lignin hat einen Brennwert, der ungefähr dem des Heizöls entspricht.

Das Risiko der dauerhaften Ausbreitung

Gentechnisch veränderte Bäume können, wenn sie zur Blüte kommen, die ihnen eingeführten Gene auf kreuzungskompatible Bäume übertragen [9]. Eine unbeabsichtigte Vermehrung und Ausbreitung transgener Bäume ist daher nicht ausgeschlossen. Für heimische Baumarten muss eine freie Kreuzbarkeit zwischen gentechnisch veränderten und nicht gentechnisch veränderten Individuen angenommen werden. Daher ist eine Introgression der gentechnisch übertragenen Gene (Transgene) in den „Genpool“ der entsprechenden Arten zu erwarten („vertikaler Genfluss“), wenn nicht Maßnahmen entwickelt werden, die dieser freien Kreuzbarkeit entgegenwirken.

Des Weiteren können sich Pollen und Samen von Bäumen u.U. sehr weit ausbreiten. Wenn der Pollen je nach Wetterlage in hohe Luftschichten gerät, trägt der Wind ihn auch schon mal 100 km weit. Insbesondere Allergiker sind davon stark betroffen. Zudem können auch die Samen von verschiedenen Baumarten sowie mit Samen assoziierte Gewebe häufig als störend empfunden werden, wie zum Beispiel Birkensamen und Ahornsamen, Pappelwolle oder Kastanien, wenn sie bei Autos Blechschäden verursachen.

Beispiel Berlin

Berlin hat Anträge für den Bau eines neuen Kohlekraftwerks abgelehnt und möchte stattdessen bis 2019 mindestens zwei neue Biomassekraftwerke bauen. Benötigt werden hierfür mindestens 400 000 t Holz jährlich. Andere Schätzungen gehen sogar von Mengen bis zu 1 Mio t Holz pro Jahr aus. Doch woher soll das zu verfeuernde Holz kommen?

Angedacht sind zunächst Holzlieferungen aus Afrika zum Beispiel. Hier würde laut Angaben des Energiekonzerns Vattenfall genügend Restholz anfallen, das bisher zwar „vor Ort“ verbrannt wird, aber durchaus kostengünstig nach Berlin verschifft und dort in zu errichtende Biomassekraftwerke eingespeist werden könnte. Theoretisch würde dieser Handel, sofern das Holz nicht ausschließlich aus bereits existierenden Plantagen stammt, zu einem steigenden Raubbau der dortigen Wälder führen, da in diesen Ländern Holz häufig die einzige Energiequelle darstellt und die Bevölkerung existenziell darauf angewiesen ist.

Eine weitere Quelle für Holz wären Plantagen mit schnell wachsenden Bäumen, die im Berliner Umland, also Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern, etabliert werden könnten. Allerdings müssten Bauern überzeugt werden, anstelle von Weizen, Raps oder Mais Pappeln oder Weiden auf ihren Feldern anzubauen. Zudem müsste die Versorgung der Hauptstadt mit Nahrungsmitteln sichergestellt werden. Dies würde natürlich zu einer gesteigerten Flächenkonkurrenz zwischen Energie- und Lebensmittelpflanzen führen.

Schließlich sollte das Holz aus der Stadt Berlin selber kommen, Holzabfall vom Bau, Holz aus Durchforstungen der städtischen Wälder sowie Äste und Baumschnitt aus Parks, Straßenbäumen und dem Tierpark. Verbrannt werden kann praktisch alles, denn schon heute fallen in Berlin-Brandenburg jedes Jahr mehr als 350 000 t Altholz an.

Da es bisher keine konventionellen Ansätze zur Erzeugung und Einkreuzung natürlicher Sterilitäten in Bäumen gibt, ist eine mögliche Strategie zur Verhinderung der Pollen- und Samenbildung entweder die Einführung einer gentechnisch basierten männlichen und/oder weiblichen Sterilität, oder die Verzögerung bis hin zu einer vollständigen Unterdrückung der Blütenbildung.

Erste Versuche zur Etablierung einer Sterilität bzw. Verhinderung der Blütenbildung wurden bereits bei der Pappel durchgeführt. Verschiedene Gene, die bereits in anderen Pflanzenarten in Hinblick auf Sterilität getestet wurden, konnten auch erfolgreich in die Pappel übertragen werden. Die Ergebnisse deuten auf eine Aktivität der Sterilitätsgene in GV-Pappeln hin. Untersuchungen an ins Gewächshaus überführten sterilen Pflanzen ergaben, dass im Vergleich zu Kontrollpflanzen tatsächlich in den Blüten kein Pollen gefunden werden konnte.

Andere Gene, die bekanntermaßen die Blütenbildung erfolgreich verzögern, sind ebenfalls in die Pappel übertragen worden. Obwohl der experimentelle Nachweis für das Ausbleiben eines Ereignisses (hier: Blühen) wissenschaftlich korrekt nicht leicht zu führen ist, sprachen indirekte Hinweise für das Funktionieren dieser Gene. Allerdings müssen langfristige Untersuchungen initiiert werden, die sowohl tatsächlich das Ausbleiben der Blüte belegen, als auch Hypothesen validieren, die eine Umleitung der damit „eingesparten“ Energie und Nährstoffe in die Holzbildung postulieren.

Holzproduktion im urbanen Bereich

Durch die steigende Knappheit und wachsende Nachfrage der Ressource Holz könnte auch eine kommerzielle Nutzung von Bäumen aus dem städtischen Bereich in den kommenden Jahren an Bedeutung gewinnen. Denn auch Stadtbäume leben nicht ewig und könnten so zumindest teilweise eine gewisse Nachfrage an Holz decken. Durch den stetigen Trend der letzten Jahrzehnte, mehr Vegetation in das Stadtbild zu integrieren, steigt dementsprechend auch der vorhandene, gleichzeitig stetig steigende, aber nicht genutzte Holzvorrat. Warum sollen also Stadtbäume nicht auch unter holzwirtschaftlichen Gesichtspunkten gepflegt werden? Die ersten 4 bis 6 m Stammanteil eines Stadtbäumchen werden sowieso regelmäßig entastet, aber mit den richtigen Astungstechniken könnten diese auch „wertholzoptimiert“ werden (Abb. 1).

Schon heute wird über eine Verwertung von Bäumen, die in städtischen Parks wachsen, nachgedacht (siehe Kasten).

Ökologische Risiken

Die möglichen ökologischen Risiken von transgenen Bäumen im urbanen Bereich sind vielfältig und die Einbringung dieser Bäume birgt neben verschiedenen Vorteilen sicherlich auch Risiken, die es genauestens abzuschätzen gilt. Die Abschätzung hat sorgfältig zu erfolgen, denn hat sich ein transgener Baum doch einmal ungewollt reproduziert, ist es nicht einfach, das Transgen aus dem natürlichen „Genpool“ zu entfernen [12]. Das Hauptproblem der Risikoforschung liegt in den hohen Lebenszeiträumen der Bäume sowie im theoretisch möglichen horizontalen- und vertikalen-Gentransfer [9].

Die Erzeugung einer männlichen Sterilität birgt auch im urbanen Bereich ein

Problem. Denn auch in der Stadt stellt der Baum einen elementaren Faktor im Ökosystem dar, weil er Lebensraum für viele verschiedene Lebewesen darstellt, die in und an Bäumen leben und sich zum Teil auch von diesen ernähren. Durch das Fehlen von Früchten beispielsweise würden für viele Lebensgemeinschaften die Nahrungs- und Lebensgrundlage verloren gehen. Das plastische Bild des „stummen Frühlings“ wurde auf Tatsache dieser Grundlage beschrieben.

Ebenfalls könnten Auswirkungen auch für solche Lebewesen resultieren, die sich von den primär vom Baum assoziierten Tieren ernähren. Dadurch könnte es zu einem möglichen Rückgang der Biodiversität kommen, auch wenn an und in einem Stadtbäumchen in der Regel weniger Lebewesen leben als es bei einem Waldbaum der Fall ist [2].

Durch die Etablierung von schadstofftoleranten Bäumen in der Stadt besteht theoretisch die Möglichkeit, dass daraus resultierend auch höhere Schadstoffbelastungen in der Stadt toleriert werden, die aber für den in der Stadt lebenden Menschen schädlich sind. Die sich von den Bäumen ernährenden Tiere könnten diese Schadstoffe in die Nahrungskette einbringen, wobei der Mensch schließlich damit ungewollt in Berührung kommen könnte. Aspekte des vertikalen und horizontalen Gentransfers müssten ebenfalls betrachtet werden, auch wenn für mögliche Auskreuzungen vorhandene Artgrenzen existieren bzw. es für eine vegetative Weitergabe des Erbguts bisher keine Anhaltspunkte gibt.

Literaturhinweise:

- [1] Anonymus (2010) Kapitel 4.7: Städte und Ballungsräume, http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/klimawandel/4_7_Staedte_und_Ballungsgebiete_S119-129.pdf. [2] BAUER, A. (2004) Gentechnik-Bäume gegen den Klimakollaps? <http://umweltinstitut.org/gentechnik/kommerzieller-anbau/gentechnik-baeume-gegen-den-klimakollaps-194.html>. [3] BARTELS, D. (2005) Desiccation tolerance studied in the resurrection plant *Craterostigma plantagineum* Integrative and Comparative Biology 45:696-701. [4] BMBF (2010) Lexikon, <http://www.biosicherheit.de/lexikon/671.gentransfer-horizontal-vertikal.html>. [5] El-Kassaby YA, Prado JA (2010) Forests and Genetically Modified Trees. FAO (Food and Agriculture Organization der Vereinten Nationen), Rom, 2010, 235 Seiten [<http://www.fao.org/docrep/013/i1699e/i1699e00.html>]. [6] FENNING, T.; GERSHENZON, J. (2002) Where will the wood come from? Plantation forests and the role of biotechnology. Trends in Biotechnology 20: 291-296. [7] FLADUNG, M. (1998) Die Bedeutung bio- und gentechnologischer Verfahren für die Forstpflanzenzüchtung. Vorträge für Pflanzenzüchtung 43:124-133. [8] FLADUNG, M. (2009) Genveränderte Bäume: Forschung, Chancen und Risiken. Pro Baum, Heft 2:2-7. [9] FLADUNG, M.; HÖNICKA, H. (2006) Mit sterilen Pappeln die Auskreuzung in forstliche Ökosysteme verhindern. Forschungsreport 1/2006:17-20. [10] JAMES, C. (2011) ISAAA Report 2011: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops 2010. <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/42/pptslides/default.asp>. [11] POBBREGAR, N. (2001) Lebensraum Stadt: Artenarme Betonwüste oder lebendiger Flickenteppich? <http://www.g-o.de/dossier-99-1.html>. [12] SCHÜTTE, G. et al. (2001) Transgene Nutzpflanzen: Sicherheitsforschung, Risikoabschätzung und Nachgenetisierungs-Monitoring. Basel: Birkhäuser Verlag. [13] VANHOLME, R.; MORREEL, K.; RALPH, J.; BOERJAN, W. (2008) Lignin engineering. Current Opinion in Plant Biology 11:278-285. [14] WALTER C., FLADUNG, M., BOERJAN, W. (2010) The 20-year environmental safety record of GM trees. Nature Biotechnology 28:656-658.