

## **Gentechnisch veränderte Pappeln – eine ökologische Zeitbombe?**

Ein Report von Testbiotech  
in Zusammenarbeit mit der  
Gesellschaft für ökologische Forschung

## **Gentechnisch veränderte Pappeln – eine ökologische Zeitbombe?**

Ein Report von Testbiotech in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für ökologische Forschung

Verfasser: Christoph Then und Sylvia Hamberger,

Stand 20. 10. 2010

Wir danken Andreas Bauer-Panskus, Helmut Klein und Volker Dorka für wertvolle Anregungen.

Wir danken der Stiftung GEKKO für ihre Unterstützung.

Weitere Informationen: [www.testbiotech.org](http://www.testbiotech.org)

Kontakt: [info@testbiotech.org](mailto:info@testbiotech.org)

Editierung: Isa Jacobi

Layout: Claudia Radig-Willy

### **Impressum**

Testbiotech e.V.

Frohschammerstr. 14

80807 München

Tel.: +49 (0) 89 358 992 76

Fax: +49 (0) 89 359 66 22

[info@testbiotech.org](mailto:info@testbiotech.org)

[www.testbiotech.org](http://www.testbiotech.org)

Geschäftsführer: Dr. Christoph Then

Eingetragen als gemeinnützig beim

Finanzamt München 2008

Datum der Veröffentlichung:

Dezember 2010

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1. Einleitung	5
2. Pappeln – eine besondere Gattung	6
2.1 Verbreitung der Pollen und Samen	6
2.2 Vegetative Vermehrung	6
2.3 Hybridisierung	7
2.4 Ausbreitungspotential	7
3. Schwarzpappeln und ihre Hybriden	10
4. Untersuchungen in China	11
5. Verbreitungsszenarien transgener Bäume	13
6. Ökologische Risiken des Anbaus transgener Pappeln in China	16
7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	18
Quellen	19

## **Zusammenfassung**

Die Freisetzung gentechnisch veränderter Bäume – sei es für den experimentellen oder den kommerziellen Anbau – ist international ein umstrittenes Thema. In diesem Bericht wird am Beispiel von transgenen Pappeln gezeigt, dass die ökologischen Risiken von Freisetzungen gentechnisch veränderter Bäume räumlich und zeitlich nicht ausreichend kontrollierbar sind. Pappeln können sich sowohl über Pollen und Samen als auch über vegetative Vermehrung ausbreiten. Auch seltene Einzelereignisse, die auf Ferntransport von Pollen oder Samen beruhen, sind für die Ökosysteme durchaus relevant, weil daraus entstehende Bäume Jahr für Jahr Millionen von Samen und Pollen produzieren können. Es ist anzunehmen, dass durch den Klimawandel die Bedeutung des Einzelereignisses durch Ferntransport noch deutlich zunehmen wird.

Angesichts des kommerziellen Anbaus von über einer Million gentechnisch veränderter Pappeln in China ist zu befürchten, dass es auch zu Kreuzungen und Hybridisierungen mit natürlichen Pappelbeständen kommen wird. Dabei weisen die transgenen Bäumen durch den Einbau eines Gens für die Produktion eines Insektengiftes einen Überlebensvorteil gegenüber nicht manipulierten Bäumen auf, was ihre Ausbreitung zusätzlich befördern kann. Da die gentechnisch veränderten Bäume über ihre gesamte Lebensdauer ein Insektengift produzieren, bergen sie spezifische Risiken für Lebewesen wie Insekten, die Nahrungsnetze, für die Böden und das Ökosystem der Wälder. Zudem besteht die Gefahr der Resistenzbildung bei den „Schadinsekten“. Treten tatsächlich Schäden auf, gibt es aber wenig Chancen, die transgenen Bäume wieder vollständig aus der Umwelt zu entfernen.

Vor diesem Hintergrund werden gesetzliche Regelungen angemahnt, um Freisetzungen von gentechnisch veränderten oder künstlich synthetisierten Organismen vorzubeugen, die nicht wieder rückholbar sind. Diese Regelungen sind nötig, um die biologische Vielfalt und die Integrität evolutiver Prozesse zu schützen.

**Gerade bei gentechnisch veränderten Bäumen muss besondere Vorsicht gelten. Sie bergen, wie das Beispiel der Pappeln zeigt, aufgrund ihres Potentials zur Ausbreitung, ihrer Langlebigkeit und ihrer Bedeutung für so wichtige Ökosysteme wie die Wälder ein ganz besonderes Risiko.**

## 1. Einleitung

Die Forschung zu transgenen Bäumen konzentriert sich weitgehend auf Pappeln, Kiefern und Eukalyptus. Dabei geht es vor allem um Herbizid- und Insektenresistenzen sowie um Veränderungen von Holzeigenschaften wie einer Steigerung der Masseleistung oder der Reduktion des Ligningehaltes (FAO 2004, Valenzuela et al., 2006). In einem Beitrag, der 2010 in *Nature Biotechnology* erschien (Walter, Fladung & Boerjan, 2010), werden 700 Freilandversuche mit gentechnisch veränderten Bäumen dokumentiert. Die erste Freisetzung gentechnisch veränderter Bäume erfolgte demnach bereits 1988. Die Wissenschaftler interpretieren den Stand der Forschung so, dass bisher keine ökologischen Probleme entstanden seien und der Anbau gentechnisch veränderter Bäume wesentlich mehr Vorteile als Nachteile bringe.

Die Darstellung verweist unter anderem speziell auf China, wo trotz des massenhaften Anbaus von gentechnisch veränderten Pappeln bisher von keinen Schäden berichtet worden sei. Walter, Fladung & Boerjan (2010) fassen zusammen:

*„Approximately 1.4 million Bt poplars have been planted in China on an area of ~300–500 hectares along with conventionally bred varieties to provide refugia to avoid the development of Bt resistance in insects. The trees are grown in an area where economic deployment of poplar was previously impossible due to high insect pressure. GM trees have been successfully established and have successfully resisted insect attack. The oldest trees in the field are now 15 years old (Minsheng Wang, personal communication). No harm to the environment has been reported.“<sup>1</sup>*

Allerdings übergehen diese Autoren in ihrer Darstellung das eigentliche Problem: Zwar wurde aus China über keine direkten ökologischen Schäden berichtet, aber längst droht eine unkontrollierte Ausbreitung der gentechnisch veränderten Bäume. Damit verbunden sind ökologische Risiken, die räumlich und zeitlich nicht begrenzbar sind. Seit Anfang der 1990er Jahre werden in China transgene Schwarzpappeln im Freiland angebaut, die ein bakterielles Insektengift (*Bt*-Toxin) produzieren, das sie gegen Raupen-Befall schützen soll. In den Monokulturen, die im Rahmen von Aufforstungsprojekten und Plantagen angelegt wurden, verursachen Insekten erhebliche Schäden. 2001 wurden die transgenen Bäume offiziell zum kommerziellen Anbau freigegeben. China ist damit neben dem US-Staat Hawaii das einzige Land, in dem gentechnisch veränderte Bäume kommerziell angebaut werden.

<sup>1</sup> [http://www.nature.com/nbt/journal/v28/n7/box/nbto710-656\\_BX1.html](http://www.nature.com/nbt/journal/v28/n7/box/nbto710-656_BX1.html)

## 2. Pappeln – eine besondere Gattung

Pappeln zählen zu den Pioniergehölzen: Sie können sich auch unter widrigen Umwelt- und Lebensbedingungen rasch ausbreiten – und dies sowohl durch Samen als auch vegetativ durch Schwemmh Holz wie große und kleine Stamm- und Astteile, Stockausschläge und Wurzelschösslinge (Wurzelbrut). Auf Brachland und nach Waldbränden, auf Sand oder Lehm, im Auwald auf freigespülten Flächen, im Gebirge, in Ebenen gehören sie zu den Primär-Besiedlern. In nördlichen Regionen sind Pappeln auch waldbildend (z.B. Aspenwälder).

Zur Gattung der Pappeln *Populus* (Familie: *Salicaceae* – Weidengewächse) werden weltweit etwa 35 Arten gezählt (Aas, 2006). Sie wachsen in den gemäßigten Breiten der Nordhemisphäre. Ihr Verbreitungsgebiet erstreckt sich auch auf viele Regionen Chinas, wo sie sogar ein Zentrum biologischer Vielfalt bilden (FAO, 2009).<sup>2</sup> In Mitteleuropa zählen Pappeln zu den besonders raschwüchsigen Baumarten. Zum natürlichen Bestand gehören die Weiß- oder Silberpappel (*Populus alba*), die Schwarzpappel (*P. nigra*), die Zitterpappel oder Aspe (*P. tremula*) sowie eine natürliche Hybridform, die Graupappel (*P. x canescens* = *P. alba* x *P. tremula*) (Aas, 2006). Zur wirtschaftlichen Nutzung werden zudem Balsampappeln (*P. balsamifera* und *P. trichocarpa*) sowie Hybriden der Kanadischen Pappel (*P. x canadensis*) verwendet, die ursprünglich aus Kreuzungen der europäischen Schwarzpappel *Populus nigra* mit der nordamerikanischen Schwarzpappel *Populus deltoides* hervorgegangen sind (Aas, 2006).

### 2.1 Verbreitung der Pollen und Samen

In unserem Zusammenhang ist von besonderer Bedeutung, dass Pappeln windblütig sind, d. h. die Pollen werden mit dem Wind verbreitet. Auch die Samen werden vom Wind verfrachtet. Daneben spielt die Ausbreitung durch Flüsse und Bäche eine Rolle, über die der Samen, aber auch Schwemmh Holz und „Stecklinge“ (s. u. vegetative Vermehrung) weit transportiert werden können.

Pappeln werden im Alter von 20-60 Jahren forstlich genutzt – in Plantagen oft früher. Ihr maximales Lebensalter liegt aber bei ca. 100 Jahren – je nach Art werden auch Lebensalter von bis zu 400 Jahren erreicht. Das bedeutet, sie können im Laufe ihres Lebens große Mengen an Pollen und Samen bilden. Die kleinen Samen der Schwarzpappel verfügen beispielsweise über einen Flugapparat ähnlich dem des Löwenzahns. Eine weibliche Schwarzpappel kann pro Jahr etwa 25 bis 50 Millionen Samen erzeugen, die den Baum als sogenannte „Pappelwolke“ verlassen (Huber, 2010). Vegetationsfreie Böden und genügend Feuchtigkeit begünstigen die erfolgreiche Keimung. Überlebt die junge Pappel das erste Halbjahr, kann sie auch stärkeren Störungen wie Überflutung, Austrocknung, Erosion oder Eis widerstehen. Selbst einzelne Bäume können also unter günstigen Umständen ihr Erbgut regional und sehr weiträumig verbreiten.

### 2.2 Vegetative Vermehrung

Da sich Pappeln auch über Wurzelschösslinge vermehren, kann eine unerwünschte Ausbreitung nicht allein durch Fällung unter Kontrolle gebracht werden. Diese Erfahrung machte man auch nach den ersten Freisetzungsversuchen mit transgenen Pappeln 1996 in Deutschland. Noch Jahre

<sup>2</sup> Siehe auch: <http://de.wikipedia.org/wiki/Genzentrum>

nach dem Ende der Versuche hatte man damit zu kämpfen, Wurzelasläufer und -schösslinge zu entfernen, obwohl die Bäume nach dem Versuchsende „mit Wurzeln“ entfernt worden waren. Anscheinend haben sich die Schösslinge aber sogar über das Versuchsgelände hinaus verbreitet.<sup>3</sup>



Abbildung 1: Wurzelschösslinge von (gentechnisch nicht veränderten) Pappeln. Im Hintergrund der Wurzelstock des früheren Baumes; Quelle: Autor

### 2.3 Hybridisierung

Pappeln zeichnen sich durch eine ausgeprägte Fähigkeit zur Hybridisierung aus (Aas, 2006). Im Laufe der Evolution sind dadurch erbefeste Arten wie die Graupappel entstanden. Es werden viele verschiedene Hybridformen zwischen Arten wie der europäischen Schwarzpappel (*P. nigra*) und der amerikanischen Schwarzpappel (*P. deltoides*), der westlichen Balsampappel (*P. trichocarpa*) und der Kanadischen Hybridpappel (*P. x canadensis*) beschrieben und gezüchtet.

### 2.4 Ausbreitungspotential

Für die windblütigen transgenen Pappeln spielen auch Kreuzungspartner außerhalb der definierten Wirtschaftsflächen eine maßgebliche Rolle: Sie können weibliche Pappeln in natürlichen Lebensräumen wie Wäldern, Fluss- und Auenlandschaften befruchten. Denn Pappeln gehören auf

<sup>3</sup> <http://www.gartenforum.de/threads/6878-Nachrichten-aus-der-Pflanzenwelt?p=92783&viewfull=1>

der nördlichen Halbkugel zu den weit verbreiteten Baumarten. Eurasien, von China bis Mitteleuropa, muss als ein zusammenhängender Lebensraum der Schwarzpappel angesehen werden (siehe Verbreitungskarte *P. nigra*). Für die Ausbreitung des transgenen Materials, das beispielsweise in die natürlichen *Populus-nigra*-Bestände Nordwestchinas gelangt, gibt es deswegen ein (theoretisches) Ausbreitungspotential, das bis nach Europa reicht: Wird in dieses Ökosystem transgenes Material eingetragen, ist der Genfluss räumlich und zeitlich nicht mehr zu begrenzen, insbesondere wenn ein Fitnessvorteil für die transgenen Eigenschaften der Bäume besteht.

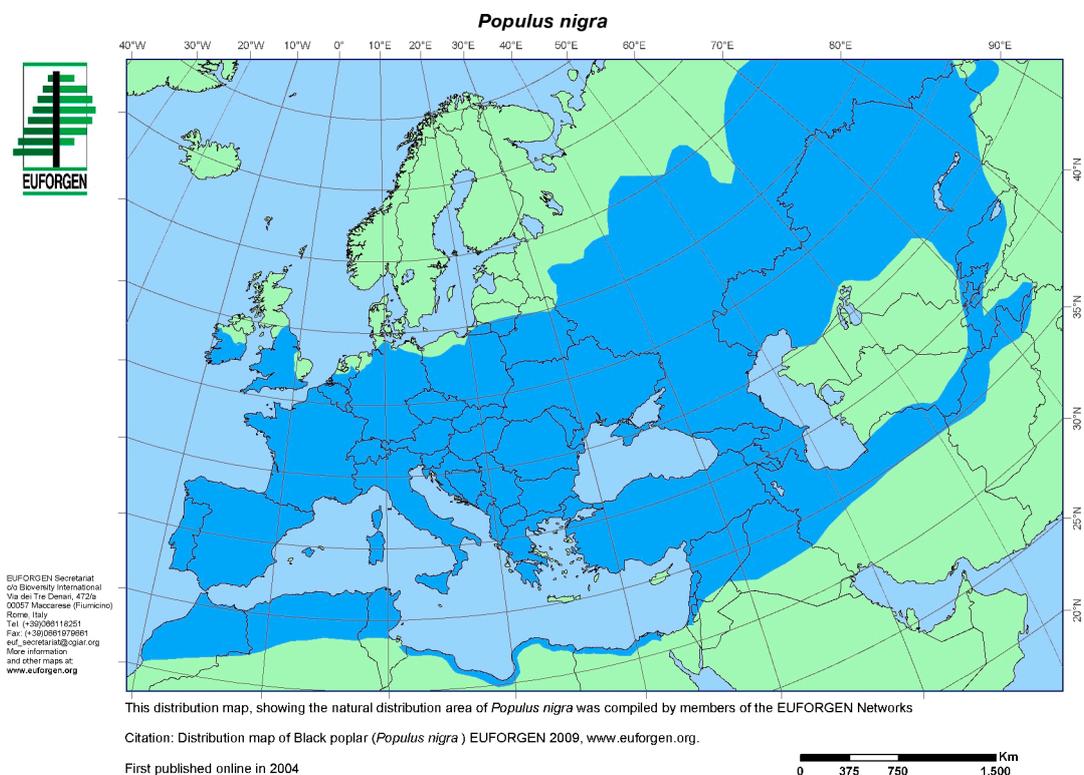


Abbildung 2: Die natürliche Verbreitung von *Populus nigra*; Quelle: EUFORGEN.

Werden transgene Pappeln – wie in China – massenhaft freigesetzt, ist die Frage wohl weniger *ob*, sondern nur *mit welcher Geschwindigkeit* sie sich in ihrem weitläufigen Lebensraum ausbreiten. Zwar können natürliche Reparaturmechanismen in Ökosysteme „eingewanderte“ Fremdgene eliminieren. Aber sicher ist das nicht. Die Verbreitung der natürlichen Pappelpopulationen wird durch Faktoren wie evolutive Einnischung, geologische Barrieren und Befruchtungszeitpunkte, Keimdauer und -ort sowie die genetische Variabilität innerhalb einer Art begrenzt. Auch bestimmte „Schädlinge“, mangelnde Fitness von Hybriden oder die Konkurrenz durch andere Bäume können für die tatsächliche Ausbreitung entscheidend sein. Diese Kontrollmechanismen sind im transgenen Pappelanbau nicht mehr verlässlich. So weisen die Pappeln, die in China angebaut werden, wegen ihrer Insektenresis-

tenz einen Fitnessvorteil im Vergleich mit anderen Pappeln auf.

Mit den Folgen des Klimawandels, durch den es zu höheren Turbulenzen in der Atmosphäre und einer Verschiebung der Blüh- und Keimphasen kommen kann, könnte der Eintrag von transgenem Material zusätzlich beschleunigt und natürliche Hindernisse schneller überwunden werden.

Eine Kontrolle der Ausbreitung transgener Bäume ist nicht mehr möglich, sobald der Sprung in die natürlichen Lebensräume und in Forste vollzogen wurde. So äußerte sich 2007 Matthias Fladung (einer der Autoren der oben zitierten Walter, Fladung & Boerjan 2010) in einem Interview auf die Frage, welche spezifischen Sicherheitsfragen beim Anbau von transgenen Pappeln zu beachten sind:

*„Ganz oben steht Verhinderung eines vertikalen Gentransfers, also die Übertragung der eingeführten Gene in die nächste Generation. Die Pflanzen dürfen entweder gar nicht blühen oder zumindest keine fertilen Blüten ausbilden. Weiterhin spielt eine Rolle: geringe oder am besten keine vegetative Ausbreitungskapazität. Pappeln neigen dazu, sich über Wurzelbrut zu vermehren und zu verbreiten.“<sup>4</sup>*

---

4 <http://www.biosicherheit.de/forschung/gehoelze/528.genetischen-potenzial-riesig.html>

### 3. Schwarzpappeln und ihre Hybriden

Da in China vor allem die gentechnisch veränderte Schwarzpappel *Populus nigra* angebaut wird, ist es wichtig, sich mit deren Ausbreitungs- und Hybridisierungspotential zu befassen. In Europa ist die Schwarzpappel *Populus nigra* inzwischen eine in ihrem Bestand gefährdete autochthone Baumart (Bundesamt für Naturschutz, 1996; Cagelli & Lefèvre, 1995). Ursache hierfür ist die weitgehende Zerstörung ihrer natürlichen Lebensräume, der Auwälder entlang großer und kleiner Flüsse (Aas, 2006).

Sie ist als Art aber auch deswegen gefährdet, weil in Europa vermehrt verschiedene Hybridpappeln verwendet werden, die zur Hybridisierung mit der Schwarzpappel fähig sind (Aas, 2006; Cagelli&Lefèvre, 1995). Kanadische Hybridpappeln (*P. x canadensis*) zeichnen sich durch schnelleren Wuchs aus und werden deswegen von der Forst- und Plantagenbewirtschaftung bevorzugt. Bestimmte Klone und Hybride der Kanadischen Pappel dominieren bereits weltweit den Pappel-Anbau (Aas, 2006).

Biologen beobachten den Vorgang der „introgressiven Hybridisierung“, das heißt, das Erbgut anderer Pappelarten vermischt sich mit dem Erbgut der Schwarzpappel. Es entstehen immer neue Kreuzungen und Rückkreuzungen zwischen Hybridpappeln und Schwarzpappeln. Das Ergebnis kann ein kontinuierlich zusammenhängender „Hybridschwarm“ zwischen beiden Arten sein, in denen eine klare Abgrenzung zwischen den Ausgangsarten nicht mehr möglich ist (Aas, 2006). Um das Ausmaß der Hybridisierung zu bestimmen und die natürlichen Schwarzpappelbestände zu erhalten, werden molekulargenetische Verfahren verwendet (Csencsics et al, 2005). Der Nachweis von Hybriden *P. nigra* und *P. deltoides* wurde beispielsweise von Vanden Broeck et al. (2004) und Ziegenhagen et al. (2008) geführt. Ziegenhagen et al. zeigen auf, dass etwa 20 Prozent der Jungbäume im Untersuchungsgebiet Hybride sind.

In Bayern konnte ein höherer Bestand an Schwarzpappeln identifiziert werden (Huber, 2009), als aufgrund älterer Untersuchungen angenommen wurde (Weiserber, 1999). Wegen der Altersstruktur der Bäume und der geringen Naturverjüngung sollen Maßnahmen zu ihrer Erhaltung eingeleitet werden. Inzwischen wird unter anderem versucht, die weitere introgressive Hybridisierung zu verhindern und die autochthone Schwarzpappel zu erhalten: Autochthone Schwarzpappeln sind eine Leitart im Ökosystem der Flussauen (Schirmer 2006, Huber, 2009). Auch auf europäischer Ebene laufen ähnliche Bestrebungen zur Erhaltung, die durch das „*Populus nigra* Netzwerk“ von EUFORGEN<sup>5</sup> koordiniert werden.

Anders als in Europa ist *Populus nigra* in Kanada ein Neophyt, eine Pflanze, die in den dortigen Ökosystemen neu ist. Sie vermischt sich mit den dort heimischen Arten wie der amerikanischen (oder kanadischen) Schwarzpappel *Populus deltoides*. Wie zu erwarten, zeigt *P. nigra* dabei tatsächlich ein erhebliches Potential zur Hybridisierung mit den amerikanisch-kanadischen Pappeln (Natural Resources Canada, 2009, Pospíšková & Šálková, 2006).

Das Beispiel von *Populus nigra* zeigt, dass sich aufgrund der Einführung ökosystemfremder Pappelarten, deren Ausbreitung und der Möglichkeit zur Hybridisierung mit einheimischen Bäumen eine komplizierte Dynamik in der Ausbreitung und Persistenz von Erbgut ergeben kann. Dies gilt natürlich auch für gentechnisch veränderte Pappeln.

Die Rückholbarkeit transgenen Materials, das sich über längere Zeiträume in die natürlichen Populationen einkreuzt, muss deswegen grundsätzlich angezweifelt werden.

<sup>5</sup> <http://www.euforgen.org>

## 4. Untersuchungen in China

In China fanden gentechnische Experimente mit verschiedenen Arten und Varietäten von Pappeln, aber auch mit Eukalyptus und anderen Gehölzen statt. Dabei wurden auch Insekten-, Stress-, Salz- und Krankheitsresistenzen sowie veränderter Ligningehalt getestet (Wang, 2004; Su et al., 2003). In vielen Regionen fanden Freisetzungsexperimente statt (Wang, 2004) – unter anderem in Küstenregionen entlang des Yangtze und in der nordwestlichen Provinz Xinjiang (Wang, 2004; Pearce, 2004). Die größte Verbreitung erlangten gentechnisch veränderte Pappeln, die Insektengifte produzieren. Schon 1994 wurden auf ca. einem Hektar Fläche in der nordwestlichen Provinz Xinjiang zweijährige transgene Schwarzpappeln *Populus nigra* gepflanzt – 1998 waren es bereits 80 Hektar an acht Standorten in den Provinzen von Beijing, Jilin, Shandong, Jiangsu, Henan, Shanxi und Xinjiang. 2001/2002 wurde der kommerzielle Anbau erlaubt, der sich inzwischen auf etwa 300 Hektar erstrecken soll (Wang, 2004; Walter, Fladung & Boerjan, 2010).

Man hat über eine Million gentechnisch veränderte Schwarzpappeln *P. nigra* gepflanzt bzw. gesteckt, deren Erbgut eine verkürzte DNA für ein Bt-Toxin des Typs Cry1Ac enthält (Wang, 2004; Su et al., 2003; Wang et al., 1996). Zwischen 2001 und 2003 wurden 400.000 weitere Weißpappel-Hybride (genannt Hybrid Poplar 741) ausgepflanzt, die ebenfalls mit Bt-Toxinen ausgestattet sind. Die Samen dieser Hybriden sollen unter normalen Bedingungen nicht keimfähig sein (Wang, 2004).

Von vielen dieser gentechnisch veränderten Bäume ist der genaue Standort nicht bekannt. Wie Wang (2004) schreibt, erfolgt die Verbreitung der zum kommerziellen Anbau zugelassenen Pappeln auch über regionale Märkte. Da Pappeln über Stecklinge vermehrt werden können, steht für deren Verbreitung ein „unbegrenztes“ Potential zur Verfügung:

*„However, the accurate area of GM plantations cannot be assessed because of the ease of propagation and marketing of GM trees and the difficulty of morphologically distinguishing GM from non-GM trees. A number of individual nursery-men at markets declare that their planting materials are GM trees produced through high-tech, for a higher price. Consequently, a lot of materials are moved from one nursery to another and it is difficult to trace them.“<sup>6</sup>*

In der nordwestlichen Provinz Xinjiang, in der schon 1994 erste Freisetzungen mit transgenen Pappeln stattfanden, wurde 2004 über Auskreuzungen in die benachbarten Pappelpopulationen berichtet (Pearce, 2004). In einer ersten systematischen Studie hat man versucht, das Verbreitungspotential der transgenen Bäume zu bestimmen (Lu et al., 2006). Untersucht wurde der Eintrag der Pollen in die benachbarten Pappelplantagen. Dabei wurden Hybride zwischen den gentechnisch veränderten Schwarzpappeln und *Populus pionicera* in bis zu 500 Metern Entfernung gefunden. Diese Autoren gehen allerdings davon aus, dass es nicht zu einer ausgedehnten Verbreitung kommt, da die Häufigkeit der beobachteten Auskreuzung „gering“ war. Diese „geringe Häufigkeit“ trat wohl vor allem wegen der Konkurrenzsituation auf: Beim Pollenflug standen mehr als 1000 (männliche) nicht manipulierte Pappeln in Konkurrenz zu 22 transgenen Bäumen. Zudem war aufgrund der trockenen klimatischen Bedingungen die Keimrate der Samen und die Überlebensrate der Keimlinge gering. Insgesamt halten Lu et al. eine Ausbreitung der transgenen Schwarzpappeln in natürliche Bestände und Wälder für unwahrscheinlich.

<sup>6</sup> Wang, 2004

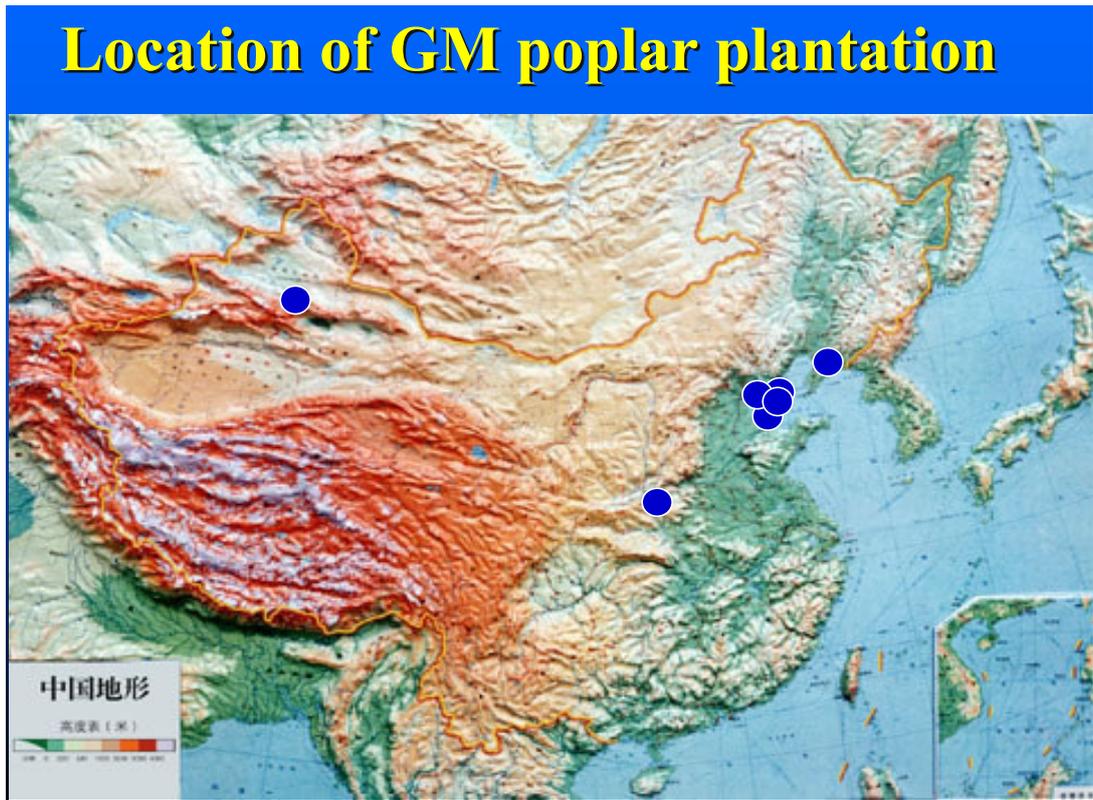


Abbildung 3: Anbau gentechnisch veränderter Pappeln in China; Quelle: Powerpointpräsentation zu Lu et al., 2006.



Abbildung 4: Vorkommen natürlicher Schwarzpappelbestände in China; Quelle: Powerpointpräsentation, zu Lu et al., 2006.

## 5. Verbreitungsszenarien transgener Bäume

Wie verschiedene Publikationen zum Ausbreitungspotential transgener Pappeln zeigen, ist die Einschätzung von Lu et al. (2006) wissenschaftlich nicht hinreichend. DiFazio et al. (2004) kommen in einer Fallstudie über die Ausbreitung transgener Pappeln zu Befunden, die beunruhigend sind: Für die langfristige mögliche Ausbreitung der Bäume sind nach DiFazio et al. weniger die Daten relevant, die im Nahfeld der Bäume erhoben werden. Wesentlich wichtiger ist der seltene, aber sicher zu erwartende **Ferntransport** von Pollen und Samen. Solche Einzelereignisse können laut DiFazio et al. (2004) für das langfristige Ausbreitungspotential der Bäume entscheidend sein. Außerdem erwarten DiFazio et al. einen Überlebensvorteil der transgenen Pappeln, weil sie ein Insektengift produzieren. Insektenbefall dürfte an diesen Bäumen seltener auftreten. Burczyk et al. (2004) nehmen auf DiFazio et al. (2004) Bezug und fassen deren Ergebnisse kritisch zusammen:

*„In so doing, we confirmed the previously suspected importance of rare, long-distance dispersal events in determining impacts of transgenic plantations, and the strong influence of transgenic competitiveness and habitat availability in determining extent of transgene movement (...) The model also yielded some surprising results, including: Herbicide tolerance had little effect on gene flow from hybrid plantations, and only marginal effects on transgenic poplar establishment in agricultural fields. In contrast, insect resistance had the potential to greatly enhance gene flow when insect pressure was high.“<sup>7</sup>*

Auch Bialozyt et al. (2006) betonen, dass sich die eigentliche Gefahr gerade aus dem Fernausbreitungspotential des Pollens ergibt. Sie stellen fest, dass es (Stand: 2006) für die Pappel keine räumlich expliziten Daten zur physikalischen Ausbreitung von Pollen und Samen im Landschaftskontext gibt. In ihrer Simulation zur Ausbreitung von Pappelpollen zeigen sie, dass per Gentechnik eingebrachte DNA auch nach über 1000 Jahren noch in Pappelpopulationen vorhanden sein kann, wenn die Spenderpopulation groß genug ist und sich in der Landschaft geeignete Bestände als Empfänger befinden. Neuere Untersuchungen zeigen, dass sowohl Nah- als auch Ferntransport durchaus relevant sind: Pappelpollen und Pappelsamen werden durch Wind verbreitet. Dabei geht ein großer Teil innerhalb eines Kilometers zu Boden (Rathmacher et al., 2010). Immerhin wurden aber bei Untersuchungen an der Elbe vier Prozent der Pappelpollen und ein Prozent der Pappelsamen weiter als zwei Kilometer transportiert. Angesichts der großen Anzahl von 25–50 Millionen Samen einer Pappel sind diese Anteile biologisch relevant. Auch in über acht Kilometer Entfernung vom Pollenspender fanden noch Befruchtungen statt. Der Samen wurde über mehr als sechs Kilometer getragen (Rathmacher et al., 2010). Diese Angaben dürfen aber nicht als maximale Reichweite missverstanden werden. Sie spiegeln nur die zur Zeit vorliegenden Kenntnisse wider.

Pollen (und Samen) der Pappel sind Teil der **Atmosphären-Verfrachtung**. In einer großen atmosphärischen Staubwolke, mit der im Jahr 2007 von der Ukraine aus organisches und anorganisches Material über eine Distanz von etwa 2000 Kilometern nach Mitteleuropa transportiert wurde, fanden sich beispielsweise auch Pappelpollen in relativ großer Anzahl (Hildail et al., 2008). Zwar ist nicht bewiesen, dass deren Anzahl und Befruchtungsfähigkeit ausreicht, um ihr Erbgut zu etablieren. Ausgeschlossen ist das aber nicht. Mehrere Arbeiten zu Kiefern- und Eichenpollen zeigen, dass Baumpollen nach einem Ferntransport über viele Kilometer fruchtbar sein können (Williams, 2010;

<sup>7</sup> Burczyk et al., 2004.

Bohrerova et al., 2009; Schueler et al., 2005). Es darf in diesem Zusammenhang nicht außer acht gelassen werden, dass einzelne Bäume, die aufgrund seltener Einzelereignisse wachsen, jährlich viele Millionen Pollen oder Samen produzieren können und somit Spenderbäume für weitere regionale und überregionale Verbreitung werden können.

*Jindřich Hladil et al. • An anomalous atmospheric dust deposition event over Central Europe, 24 March 2007*

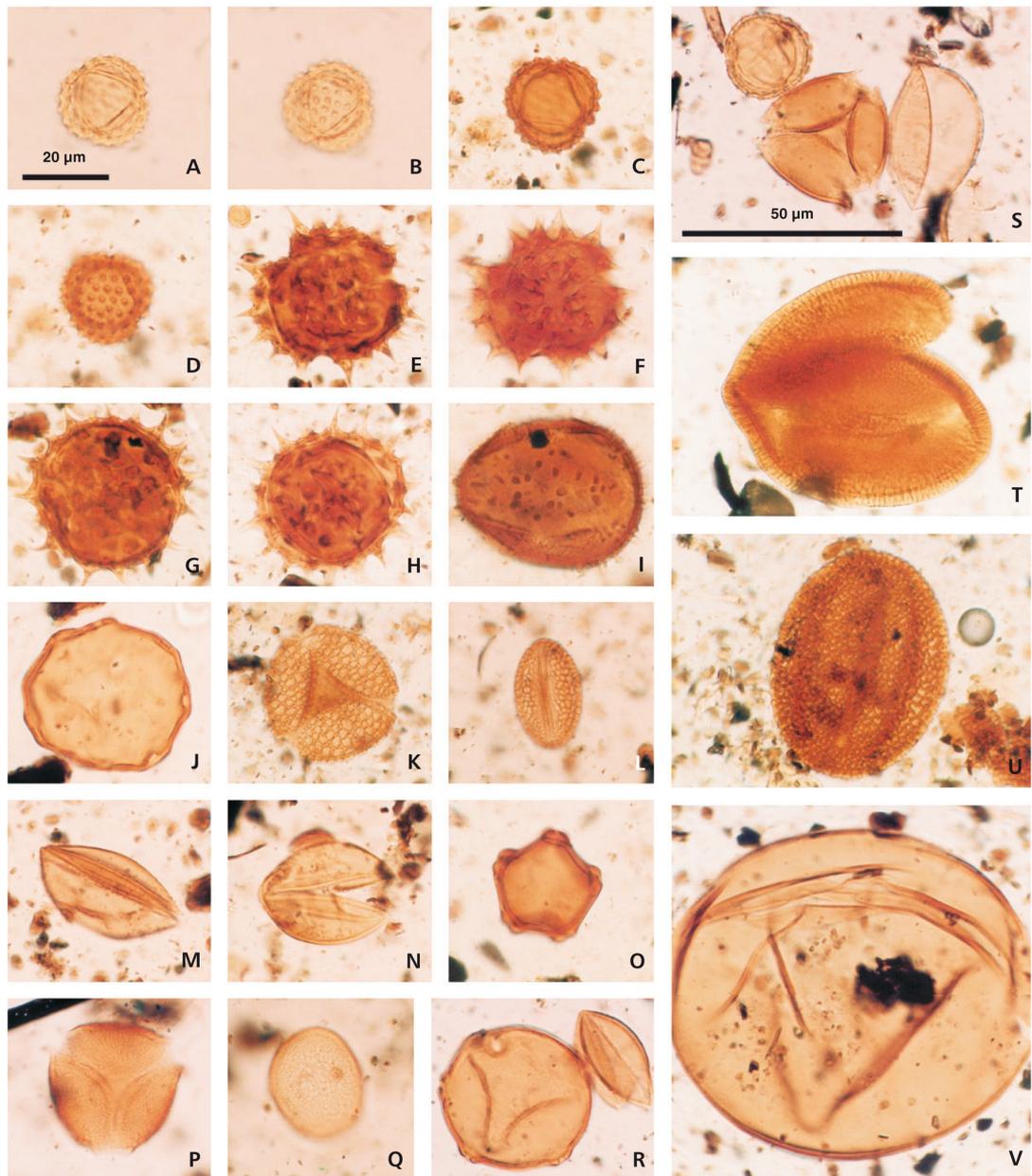


Abbildung 5: Pollen von Pappeln (Q) und anderen Ursprungs als Teil einer atmosphärischen Verfrachtung; Quelle: Hladil et al., 2008.

McInerny et al. (2009), zeigen, dass der Klimawandel auf verschiedene Weisen einen erheblichen Einfluss auf die weitere Evolution haben kann. Mit steigenden Temperaturen werden Samen und Pollen

durch verstärkte Luftturbulenzen in immer größere Höhen und über weitere Strecken transportiert. Schon jetzt ist der Pollen-Anteil in den Aerosolen relativ hoch (Poeschl, 2006). Mit dem Klimawandel wird eine Zunahme der Pollenimmission und -emission, eine Verlängerung der Pollenflugsaison – unter anderem durch die Verschiebung der Blühphasen – und eine verstärkte Verfrachtung von Pollen und wahrscheinlich auch Samen über weite Distanzen erwartet (Graetz, 2009). Einige Baumarten werden zudem eine höhere Zahl an Samen bilden (Williams, 2010). Zusätzlich werden auch häufigere Hochwasserereignisse zur Ausbreitung von biologischem Material auf großen Flächen beitragen.

Wie bereits dargelegt, spielt nicht nur die Menge des übertragenen Pollens bzw. Samens eine Rolle, da schon Einzelereignisse Auswirkungen auf die Verbreitung haben. Die große Bedeutung von einzelnen Samen- und Pollenverfrachtungen sind insbesondere aus der Paläobotanik bekannt. Wie Untersuchungen von Liepelt et al. (2002) zeigen, waren diese Ereignisse für die Entwicklung der Ökosysteme nach der Eiszeit entscheidend. Am Beispiel der Weißtanne, die einen relativ schweren Pollen hat, konnten die Autoren einen Genfluss in weit entfernte Refugien nachweisen:

*„Our results provide striking evidence that even a species with very long generation times and heavy pollen grains was able to establish a highly efficient pollen-mediated gene flow between refugia. Therefore we postulate that an exchange of genetic information between refugia by range-wide paternal introgression is possible in wind-pollinated plant species.“<sup>8</sup>*

Die Untersuchungen aus China (Lu et al., 2006) berücksichtigen aber weder ausreichend lange Zeiträume noch erwähnen sie den Klimawandel-bedingten Einfluss durch höhere Turbulenzen und damit vermehrten Ferntransport von Pollen und Samen. Sie sind deshalb für die langfristige Beurteilung der tatsächlichen Ausbreitung der transgenen Pappeln nicht geeignet.

Laut einiger Berichte soll es sich bei den transgenen Pappeln, die zum kommerziellen Anbau freigegeben wurden, nur um weibliche Bäume handeln. Zudem sollen sie veränderte Keimfähigkeit aufweisen (siehe z.B. World Rainforest Movement, 2008). Diese Angaben finden sich aber nicht in wichtigen offiziellen Publikationen (Su et al, 2003; Wang, 2004; Lu et al., 2006). Zudem zeigen die Untersuchungen von Lu et al., dass es in China sehr wohl transgene Pappeln gibt oder gab, die Pollen ausbilden. Falls im kommerziellen Anbau wirklich nur weibliche Bäume eingesetzt werden, ergibt sich die Ausbreitungsdynamik aus der Verbreitung und Keimfähigkeit der Samen. Die Befruchtung durch den Pollen nicht transgener Bäume dürfte ein sehr häufiges Ereignis sein, da die transgenen Pappeln nicht getrennt von den konventionellen Pappel-Plantagen wachsen. Die Keimhäufigkeit der Samen wird von regionalen Faktoren (wie Flächen und Klima) abhängen. Freisetzungsversuche mit unterschiedlichen Varianten transgener Pappeln haben in vielen Regionen Chinas stattgefunden. Die genauen Standorte sind oft nicht bekannt (Wang 2004; Pearce 2004). Hinzu kommt die Verbreitung der Bäume über regionale Märkte (Wang, 2004). Deswegen dürfte die Einschätzung von Wang, dass deren Ausbreitung in China nicht kontrolliert werden kann, zutreffen:

*„It is almost impossible to reduce the risk of gene flow from GM trees to non-GM trees through isolation distances because of the ease of natural hybridization between poplars of the same section, and poplar trees are so widely planted in northern China that pollen and seed dispersal cannot be prevented.“<sup>9</sup>*

<sup>8</sup> Liepelt et al., 2002.

<sup>9</sup> Wang, 2004.

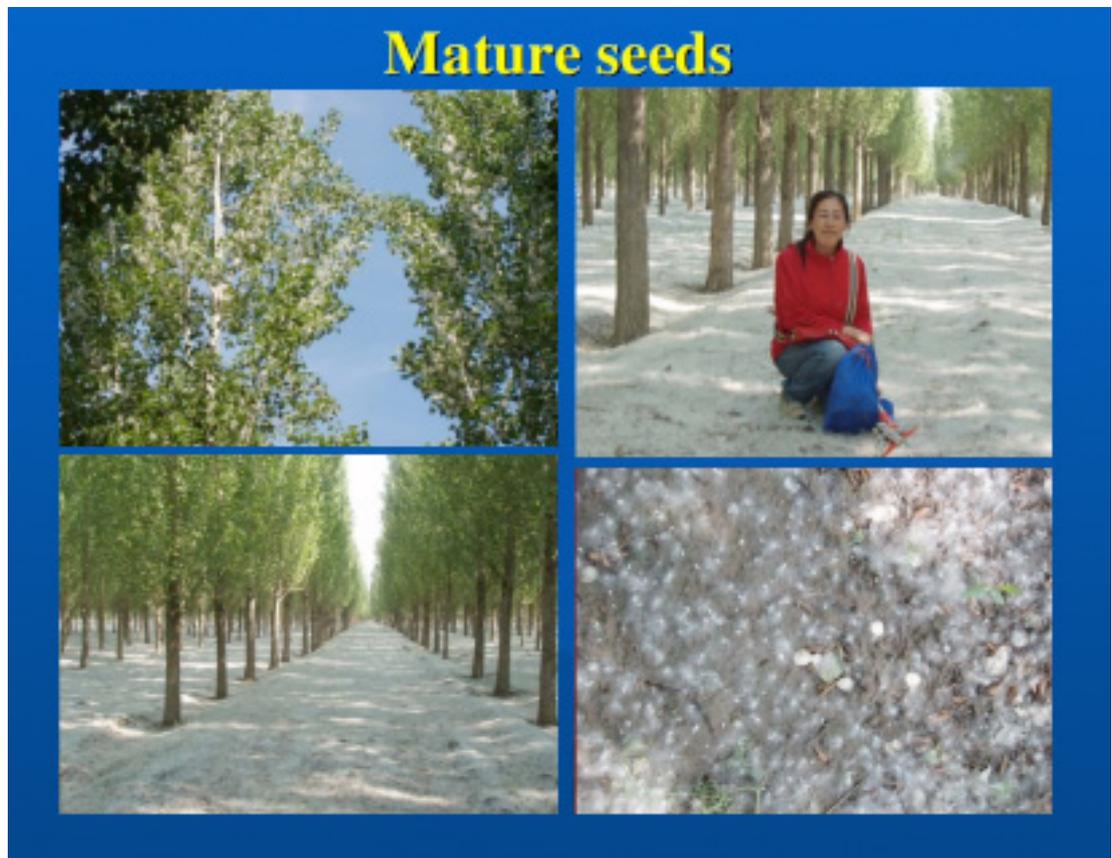


Abbildung 6: Samen bedeckter Boden von Pappelplantagen in China; Quelle: Powerpoint Präsentation, zu Lu et al., 2006.

## 6. Ökologische Risiken des Anbaus transgener Pappeln in China

Die transgenen Pappeln in China bergen aus verschiedenen Gründen ein hohes ökologisches Risiko. Vermehrungsfähige transgene Schwarzpappeln, die Samen und/oder Pollen bilden, können in ihrer Verbreitung nicht kontrolliert werden. Aber auch die Pappelhybriden (Hybrid Poplar 741), die kein keimfähiges Saatgut produzieren (sollen), sind ein erhebliches Risiko für die Umwelt.

Transgene Pappeln werden in China als Plantagenholz (Holz- und Biomassenutzung) angebaut (Wang, 2004). Sie werden aber auch in Aufforstungsprojekten zum Schutz gegen die zunehmende Wüstenbildung eingesetzt (FAO, 2009). Der Einschlag transgener Pappeln vor Ausbildung von Samen oder Pollen wird empfohlen (Wang, 2004). Verlässliche Berichte über entsprechende Aktivitäten und Vorsichtsmaßnahmen liegen jedoch nicht vor. Im Gegenteil berichten Walter, Fladung & Boerjan (2010) darüber, dass manche Bäume jetzt bereits ein Alter von 15 Jahren erreicht haben. Wie bereits ausgeführt, sind die Probleme aber auch nach dem Holzeinschlag nicht gelöst: Aus Wurzelschösslingen kann eine neue Generation transgener Pappeln heranwachsen.

Die verschiedenen ökologischen Folgen der Freisetzung transgener Pappeln sind nicht oder nur teilweise abschätzbar (zur generellen Diskussion über die Risiken transgener Bäume siehe Steinbrecher

& Lorch, 2008). Je länger die Bäume wachsen, desto größere Chancen ergeben sich für die „Schadinsekten“, Anpassungsstrategien an das Bt-Gift zu finden. Erfahrungen mit Bt-Baumwolle und Bt-Mais zeigen, dass bei großflächigem und mehrjährigem Anbau bereits innerhalb weniger Jahre mit dem Befall durch neue „Schädlinge“ sowie mit Toleranzen und Resistenzen bei den ursprünglichen „Schadinsekten“ zu rechnen ist (Then, 2010). Zwar könnte der gemischte Anbau von nicht manipulierten mit transgenen Pappeln eine rasche Resistenzentwicklung vermindern. Aber treten derartige Resistenzen nicht auf, muss mit einem Fitnessvorteil und der dadurch begünstigten Ausbreitung der transgenen Bäume gerechnet werden.

Die Abschätzung der Risiken für Nichtzielorganismen, für die Artenvielfalt innerhalb des Nahrungsnetzes – weit über die Anbau- und Aufforstungsflächen hinaus – ist schwierig, da die Wirkungsweise der Bt-Toxine nicht in allen Details verstanden wird. Für die Toxizität der Eiweißstoffe und ihre Selektivität können Wechselwirkung und Synergien mit weiteren Faktoren ausschlaggebend sein (Then, 2009). Falls die Bt-Toxine auch über die Wurzeln abgegeben werden, wie dies beim Mais beobachtet wurde (Saxena et al., 1999), kann auch das Bodenleben und die Mykorrhiza betroffen sein. Mit der Zersetzung der Blätter und anderer pflanzlicher Bestandteile gelangt transgenes Material in die biologisch wichtige Kette der Humusbildung.

Transgene Pappeln können zudem die gegenseitigen evolutiven Anpassungen (Koadaptationen) mit Pilzen, Arthropoden und anderen Organismen auf unvorhergesehene Weise beeinflussen. Sekundär können damit selbst die Existenzgrundlagen von Wirbeltieren im Ökosystem in nicht überschaubarer Weise geschädigt werden. Tatsächlich werden in den Beständen mit gentechnisch veränderten Pappeln bereits erhebliche Verschiebungen in den ökologischen Strukturen beobachtet. So schreibt Wang (2004):

*„It was found that there were significant differences between the GM and non-GM plantation stands in terms of species composition, dominance and community structure of defoliating insects and their natural enemies.“*

Andere ungewollte Effekte aufgrund des Einbaus zusätzlicher Gene können ebenfalls nicht ausgeschlossen werden. Wegen des hohen Alters, das Bäume erreichen können, besteht anders als bei Ackerpflanzen eine erhöhte Gefahr für genetische Instabilitäten (Pickardt & Kathen, 2002). Niemand weiß, ob künstlich eingeführte Gene in 10, 50 oder 100 Jahre alten Bäumen noch genauso „funktionieren“ wie in den ersten Jahren. Die mit invasiven Methoden der Gentechnik eingeführten Gene könnten sich der Kontrolle durch die natürliche Genregulation entziehen. Ihre Reaktion auf wechselnde ökosystemare Einflüsse, Umweltbedingungen und verschiedene Altersphasen sind weitgehend unerforscht. Untersuchungen zeigen, dass die genetische Stabilität nicht verlässlich ist (Van Frankenhuyzen & Beardmore, 2004; Ahuja, 2009). Unerwartete Effekte bei gentechnisch veränderten Bäumen sind zu erwarten. Das zeigen auch Freisetzungsversuche in Deutschland: Transgene Pappeln blühten unter Freilandbedingungen früher als Vergleichsbäume (Fladung et al., 1997).

Kommt es zu Auskreuzungen in Wildbestände, treffen die zusätzlichen Gene auf große Vielfalt im natürlichen Genom verschiedener Pappelarten und -populationen. Es ist nicht abschätzbar, welche Wechselwirkungen zwischen den zusätzlichen Trans-Genen und dem jeweiligen natürlichen genetischen Hintergrund auftreten werden. Wird zum Beispiel der Stoffwechsel durch zusätzliche Trans-Gene, Eiweißstoffe und deren Metaboliten gestört, kann es es zu einer Schwächung der Abwehr- und Schutzmechanismen innerhalb der natürlichen Pappelbestände kommen.

## 7. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Es ist davon auszugehen, dass durch die unkontrollierte Ausbreitung der transgenen Pappeln der natürliche Genpool der Pappeln auf Dauer verändert und belastet werden wird. Eine ähnliche Situation ist beim Anbau von gentechnisch verändertem Raps in Nordamerika eingetreten, der in seiner Ausbreitung kaum mehr kontrolliert werden kann (Gilbert, 2010). Und wird bei der möglichen Kontamination von Maissaatgut in Mexiko befürchtet (Quist & Chapela, 2001). Deshalb muss die Situation in China als ökologische „Zeitbombe“ angesehen werden, die erhebliche ökologische Schäden verursachen kann. Treten tatsächlich Schäden in der Umwelt auf, fehlen praktikable Möglichkeiten, die gentechnisch veränderten Bäume und ihr transgenes Erbgut wieder zurückzuholen. Dies kann gerade in China erhebliche Auswirkungen für die Artenvielfalt haben, da dieses Land eine große Vielfalt an Pappelarten und -varietäten aufweist (FAO, 2009). Hier wurde ein Experiment begonnen, das sich über Jahrtausende (s. Simulation von Bialozyt et al. 2006) auf die Ökosysteme und die weitere Evolution auswirken kann. Die möglichen negativen Folgen sind derzeit nicht *abschätzbar*. Auf keinen Fall aber ist dieses Experiment angesichts seiner unkontrollierbaren Dauer *verantwortbar*: Zu dem Zeitpunkt, an dem sich tatsächliche Schäden zeigen, ist das Problem nicht mehr aus der Welt zu schaffen.

Insgesamt zeigt die Situation in China, dass Freisetzungen und der kommerzielle Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen auf internationaler Ebene besser reguliert werden müssen. Gentechnisch veränderte oder synthetisch hergestellte Organismen, für deren Rückholbarkeit es keine sicheren, praktikablen und nachprüfbareren Methoden gibt, dürfen grundsätzlich nicht freigesetzt werden. Hier kann nur konsequente und verbindliche Vorbeugung das Mittel der Wahl sein.

Zurückgewiesen werden müssen alle Bemühungen, die tatsächlichen Risiken zu verharmlosen, wie dies von Walter, Fladung & Boerjan (2010) oder Valenzuela et al (2006) versucht wird. Valenzuela et al begründen beispielsweise die ökologische Unbedenklichkeit des Anbaus von gentechnisch veränderten Bäumen schlichtweg damit, dass von den möglichen Folgen nur Bäume (und Wälder), nicht aber die Produktion von Lebensmitteln betroffen wäre:

*“The use of transgenic trees in the forestry sector, has very different objectives than those used for crops. They are mainly based in improving wood quality, so as to diminish the pressure on the land. The genes involved in these processes are quite specific and are mainly present in trees, therefore its possible escape to the environment does not have a major risk.”<sup>10</sup>*

Angesichts laufender Freisetzungsanträge für gentechnisch veränderte Bäume erscheint das Problem dringlich. Generell sind die Probleme bei Freisetzungen windbestäubter Bäume ähnlich wie hier beschrieben, seien es Kiefern oder Pappeln. Doch auch andere transgene Bäume – wie Eukalyptus – bergen ein hohes ökologisches Risikopotential.

Zur Anwendung kommen müsste hier ein **Vorbeugeprinzip**, das die biologische Vielfalt und die Integrität der biologischen Systeme vor nicht rückholbaren Einträgen schützt. Ähnliche Konzepte gelten beispielsweise bereits, um die Umwelt vor dem Eintrag von langlebigen Chemikalien zu schützen (s. Breckling, 2009).

Bei gentechnisch veränderten Bäumen muss eine besondere Vorsicht gelten. Sie bergen, wie das Beispiel der Pappeln zeigt, aufgrund ihres großen Potentials zur Ausbreitung, ihrer Langlebigkeit und ihrer Bedeutung für ökologisch wichtige Lebensräume wie Wäldern ein ganz besonderes Risiko.

<sup>10</sup> Valenzuela et al., 2006.

## Quellen

- Aas, G., 2006, Die Schwarzpappel (*Populus nigra*) – Zur Biologie einer bedrohten Baumart. In: Beiträge zur Schwarzpappel, Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (Hrsg.), Freising, ISSN 0945-8131.
- Ahuja M.R., 2009, Transgene stability and dispersal in forest trees, *Trees*, 23:1125–1135, DOI 10.1007/s00468-009-0362-8.
- Bialozyt R., Fladung, M., Ziegenhagen B., 2006, Modellierung des Genflusses für die Risikoabschätzung gentechnisch veränderter Bäume, Abschlussbericht des Verbundvorhaben des Umweltbundesamtes FuE Vorhaben FKZ: 201 67 4307/02 Verbundprojekt zu transgenen Gehölzen.
- Breckling, B., 2009, Evolutionary integrity – an issue to be considered in the longterm and large-scale assessment of genetically modified organisms in: Breckling, B., Reuter, H. & Verhoeven, R., 2008, Implications of GM-Crop Cultivation at Large Spatial Scales. *Theorie in der Ökologie* 14. Frankfurt, Peter Lang.
- Bohrerova, Z., Bohrer, G., Cho, K.D., Bolch, M. A., Linden, K. G., 2009, Determining the viability response of pine pollen to atmospheric conditions during long-distance dispersal. *Ecological Applications*, 19 (3): 656-667.
- Bundesamt Für Naturschutz (Hrsg.), 1996, Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. Schriftenreihe für Vegetationskunde, Bonn-Bad Godesberg.
- Burczyk, J., DiFazio, S.P., Adams W.T., 2004, Gene flow in forest trees: how far do genes really travel? *Forest Genetics* 11(3–4): 179–192.
- Cagelli, L., Lefevre, F., 1995, The conservation of *Populus nigra* L. and gene flow with cultivated poplars in Europe. *For. Genet.* 2, 135–144.
- Csencsics, D., Agelone S., Holderegger, R., 2005, Blick ins Genetik-Labor: Schwarzpappel oder nicht? *Inf.b.Forsch.bereich Wald* 20:3-5, WSL, CH.
- DiFazio, S. P., Slavov, G. T., Burczyk, J., Leonardi, S., Strauss, S. H., 2004, Gene Flow From Tree Plantations and Implications for Transgenic Risk Assessment. In: *Forest Biotechnology for the 21st Century* (eds. Walter, C. & Carson, M.), Research Signpost, Kerala, India. pp. 405-422.
- FAO, 2004, Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification, *Forest Genetic Resources Working Papers*, <http://www.fao.org/docrep/008/ae574e/ae574e00.htm>
- FAO, 2009, 23rd Session of the International Poplar Commission and 44th Session of its Executive Committee Beijing, China, 26-30 October 2008 <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/k4541e/k4541e00.pdf>
- Fladung, M., Grossmann, K. Raj Ahuja M., 1997, Alterations in hormonal and developmental characteristics in transgenic *Populus* conditioned by the rolC gene from *Agrobacterium rhizogenes*, *Journal of plant physiology*, 150, 4: 420-427.
- Gilbert, N., 2010, GM crops escape into the American wild, Transgenic canola found growing freely in North Dakota, *Nature News*, Published online 6 August 2010, *Nature*, doi:10.1038/news.2010.393.
- Graetz, A., 2009, Pollenflug in Mitteleuropa unter dem Einfluss des Klimawandels, *Allergologie*, 32, No 10: 398-400.

- Huber, G., 2009, Erfassung, genetische Identifizierung und Vermehrung autochthoner Schwarzpappeln (*Populus nigra* L.) in Bayern, Kuratoriumsprojekt ST181, Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht (Teisendorf).
- Huber, G., 2010, Allgemeine Verbreitung und Ökologie der Schwarzpappel. LWF Wissen 64, 9 – 14.
- Liepert, S.; Bialozyt, R., Ziegenhagen, B., 2002, Wind-dispersed pollen mediates postglacial gene flow among refugia. PNAS, 99(22), 14590–14594.
- Lu M., Chen, X., Hu, J., 2006, Empirical assessment of gene flow from transgenic poplar plantation in: Ninth International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms Biosafety Research and Environmental Risk Assessment Jeju Island, Korea September 24-29, 2006, www.gmo-safety.eu/pdf/biosafenet/Lu.pdf
- McInerney, G.J, Turner, J.R.G, Wong, H.Y, Travis J.M.J. Benton , TG., 2009, How range shifts induced by climate change affect neutral evolution, Proc. R. Soc. B 2009 276, 1527-1534.
- Natural Resources Canada , 2009, Impact of Exotic Poplars on Natural Forests, Forest Health and Biodiversity Newsletter Volume 13, No. 1, Spring 2009 , www.nrcan.gc.ca
- Pearce, F., 2004, China's GM trees get lost in bureaucracy, New Scientist, <http://www.newscientist.com/article/dn6402-chinas-gm-trees-get-lost-in-bureaucracy.html>
- Pickardt T & Kathen A., 2002, Literaturstudie zur Stabilität transgen-vermittelter Merkmale in gentechnisch veränderten Pflanzen mit dem Schwerpunkt transgene Gehölzarten und Stabilitätsgene. Abschlussbericht Verbundvorhaben „Grundlagen für die Risikobewertung bei der Freisetzung gentechnisch veränderter Gehölzpflanzen“ (FKZ: 201 67 4307/02). Umweltbundesamt, Berlin/Dessau.
- Poeschl U., 2007, Kleine Partikel mit großer Wirkung auf Klima und Gesundheit, Max Planck Institut für Chemie, Mainz, Tätigkeitsbericht 2006, www.mpg.de
- Pospíšková M., & Šálková , I., 2006, Population structure and parentage analysis of black poplar along the Morava River , Can. J. For. Res. 36(5): 1067–1076.
- Quist, D. & Chapela I.H., 2001, Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico, Nature volume 414: 541-543.
- Rathmacher G., Niggemann M., Kohnen M., Ziegenhagen B., Bialozyt R., 2010, Short-distance gene flow in *Populus nigra* L. accounts for small-scale spatial genetic structures: implications for in situ conservation measures, Conserv Genet 11:1327–1338.
- Saxena, D., Flores, S., Stotzky, G., 1999, Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn, Nature, 1999, vol. 402, no. 6761, p. 480.
- Schirmer, R., 2006, Zum Vermehrungsgut von Schwarzpappel (*Populus nigra*) und ihrer Hybridformen. In: Beiträge zur Schwarzpappel, Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) (Hrsg.), Freising. ISSN 0945-8131.
- Schueler, S., Schlunzen, K. H., & Scholz, F., 2005, Viability and sunlight sensitivity of oak pollen and its implications for pollen-mediated gene flow. Trees, 19, 154 – 161.
- Schütt, P., Schuck, H.J., Aas G., Lang U., since 1994, Enzyklopädie der Holzgewächse, Handbuch und Atlas der Dendrologie, Landsberg am Lech. ISBN 3-609-722030.

- Steinbrecher R.A. & Lorch A., 2008, Genetically Engineered Trees & Risk Assessment. An overview of risk assessment and risk management issues. Vereinigung Deutscher Wissenschaftler (VDW, Federation of German Scientists); Berlin, Germany. [www.econexus.info/pdf/GE-tree\\_FGS-2008.pdf](http://www.econexus.info/pdf/GE-tree_FGS-2008.pdf)
- Su X., Zhang B., Huang Q., Huang L., Zhang X., 2003, Advances in tree genetic engineering in China, paper submitted to XII World Forestry Congress, Quebec, Canada (FAO).
- Then C., 2009, Risk assessment of toxins derived from *Bacillus thuringiensis* – synergism, efficacy, and selectivity, *Environmental Science and Pollution Research*, <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-009-0208-3>.
- Then, C., 2010, New pest in crop caused by large scale cultivation of Bt corn, in: Breckling, B. & Verhoeven, R. (2010) Implications of GM-Crop Cultivation at Large Spatial Scales. *Theorie in der Ökologie*. Frankfurt, Peter Lang (in print).
- Valenzuela S., Balocchi, C., Rodríguez J., 2006, Transgenic trees and forestry biosafety, *Electronic Journal of Biotechnology*, Vol.9 No.3, Special Issue.
- Vanden Broeck, A.H., Storme, V., Cottrell, J.E., Boerjan, W., Van Bockstaele, E., Quataert, P, Van Slycken, J., 2004, Gene flow between cultivated poplars and native black poplar (*Populus nigra* L.): a case study along the river Meuse on the Dutch–Belgian border, *Forest Ecology and Management* 197: 307–310.
- Van Frankenhuyzen K & Beardmore T, 2004, Current status and environmental impact of transgenic forest trees. *Canadian Journal of Forest Research*, 34, 1163–1180.
- Walter C., Fladung M, Boerjan. W., 2010, The 20-year environmental safety record of GM-trees, *Nature Biotech.*, Vol 28, (7): 656-658.
- Wang G, Castiglione S, Chen Y, Li L, Han Y, Tian Y, Gabriel DW, Han Y, Mang K, Sala F, 1996, Poplar (*Populus nigra* L.) plants transformed with a *Bacillus thuringiensis* toxin gene: insecticidal activity and genomic analysis. *Transgenic Research*, 5, 289-301.
- Wang, H., 2004, The state of genetically modified forest trees in China, Chinese Academy of Forestry, Beijing, FAO report, <http://www.fao.org/docrep/008/ae574e/AE574E08.htm>
- Weisgerber, H., 1999, *Populus nigra* Linne, 1753. In: Schütt et al., *Enzyklopädie der Holzgewächse*
- Williams, C., 2010, Long distance pine pollen still germinates after meso-scale dispersal. *American Journal of Botany*, 97: 846-855.
- World Rainforest Movement, 2008, China: The vicious circle of tree plantations, GM trees, pulp-mills and wasteful paper consumption WRM's bulletin No 137, December 2008, <http://www.wrm.org.uy/bulletin/137/China.htmlw>
- Ziegenhagen B., Gneuss, S., Rathmacher G., Leyer, I., Bialozyt R., Heinze B., Liepelt S., 2008, A fast and simple genetic survey reveals the spread of poplar hybrids at a natural Elbe river site, *Conserv Genet* (2008) 9:373–379.



Testbiotech e. V.  
Institut für unabhängige  
Folgenabschätzung in  
der Biotechnologie

## **Gentechnisch veränderte Pappeln – eine ökologische Zeitbombe?**