

# Gentransfer in Luft und Boden - Lassen sich Transgene einsperren?

---

Christoph C. Tebbe, Institut für Agrarökologie, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig



# Gentransfer in Luft und Boden

## Mögliche Verbreitung von Transgenen in der Natur

- Übertragung von einer Generation auf die nächste (Aussaats, Durchwuchs, etc.)
- Auskreuzung durch Pollen
- Eintrag und Überdauerung in Genen in ökologische Nischen, Verlagerung von Genen, z.B. durch Tiere, Überdauerung, z.B. in Böden
- Horizontaler Gentransfer  
Übertragung auf nicht-verwandte Organismen, z.B. Bakterien; Veränderte Expression, Einnistung in neue ökologische Nischen, neuartige Wechselwirkungen mit Nicht-Ziel-Organismen

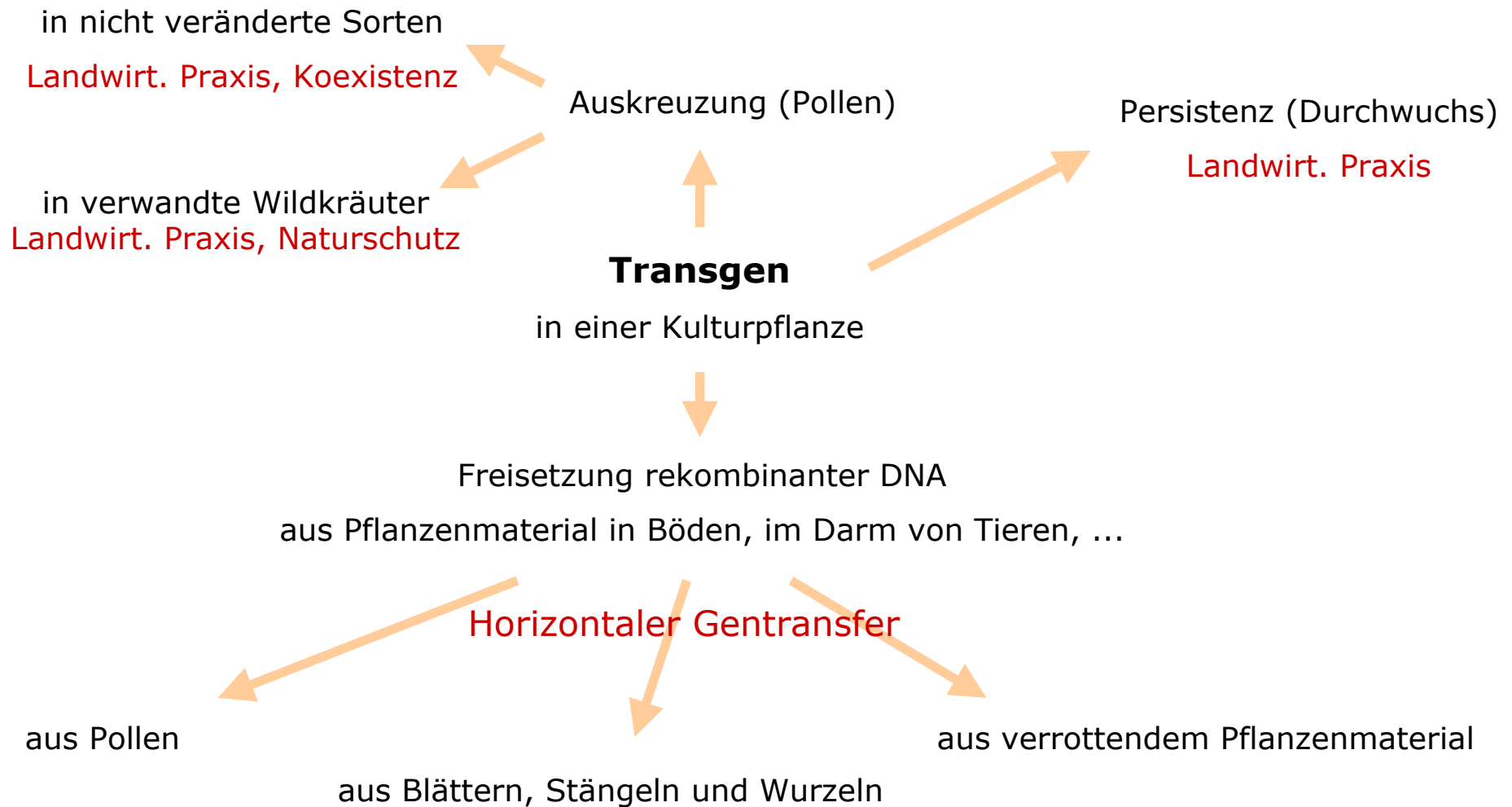


# Transgene Pflanzen in der Landwirtschaft - Warum ist „Gentransfer“ ein Problem?

- Die Übertragung von transgenen Eigenschaften auf andere Kulturpflanzenarten oder Wildkräuter ist unerwünscht
- Die Verbreitung durch Wechselwirkungen mit natürlichen Ökosystembewohnern ist unvermeidbar
- Der Überdauerung von Transgenen oder transgenen Produkte ist nicht auf ihren Zweck limitiert (Tierfutter und Nahrungsmittel)
- Die Anhäufung von Transgenen und transgenen Produkten durch falsche landwirtschaftliche Praxis könnte unbeabsichtigte Wirkungen erzielen



# Mögliche Wege von Transgenen in Luft und Boden



# Gentransfer in Luft und Boden

## Forschungsergebnisse und Fallstudien

- Wo bleiben Transgene in der Tierernährung?
- Sind Böden ein Reservoir für Transgene und ihre Produkte?
- Kreuzen Transgene in konventionelle Kulturpflanzen aus?
- ... und auch in Wildkräuter?
- Sind Insekten Vektoren für Transgene und „Hot Spots“ für horizontalen Gentransfer?
- Wie wahrscheinlich ist „Horizontaler Gentransfer“?
- Transplastomische DNA: Neue Risiken für den horizontalen Gentransfer?



# Fallstudien

Mais



## Herbizidresistenz

*pat-Gen* aus Bodenbakterien (Actinomyceten) verleiht Resistenz gegenüber Glufosinat (Herbizid, mit antibakterieller Wirkung!)

Raps



## Insektenresistenz

*cry*-Gene kodieren für insektizide kristalline Proteine (Bt-Toxine; BT), die natürlich in Bodenbakterien der Art *Bacillus thuringiensis*) vorkommen  
Bt-Toxine werden auch im Ökolandbau eingesetzt  
Cry1Ab-Protein wirkt toxisch im Darm von bestimmten Insekten (Lepidopteren)  
Ungiftig für Warmblüter



# Wo bleiben Transgene und transgene Proteine nach Verfütterung?

Einspanier, Albrecht, Schwarz et al., FU Berlin u. TUM Freising

- Verfütterung von BT-Mais an Rinder
- Durch Silierung werden schon **99 %** der Pflanzen-DNA abgebaut
- Im Kot mindestens das **100-fache** weniger
- Bruchstücke von gefressenem Futter (Chloroplasten-Gene) finden sich natürlich im Blut
- Ampicillin-Resistenzgen auch im Pansen von Rindern ohne GVO-Futter vor
- Das Cry1Ab-Protein (Bt-Toxin) wird abgebaut bis auf **3,0-3,5 ng** Ak-detektierbares Protein **g<sup>-1</sup>** Kot, davon das meiste Abbauprodukte (!)
- Cry1Ab -Fragmente können über Kot in den Boden gelangen
- Keine Veränderungen der Darmmikroflora durch „GVO-Futter“



# Wo bleiben Transgene und transgene Proteine nach Verfütterung?

## Fazit

- Starke Abnahme der Transgene (rekombinanten DNA) durch Silierung und Verfütterung (**mind. Faktor 10.000**)
- Hohe natürliche Verbreitung von Antibiotika-Resistenzgenen (gilt für Ampicillin u.v.a. - aber nicht alle!)
- Starker Abbau des transgenen Produkts durch Silierung und Verfütterung bis auf ca. ein Tausendstel der Menge im Blatt
- Keine Auswirkungen auf die Gesundheit der Tiere, auf die Abundanz der Antibiotika-resistenten Bakterien oder die natürliche Vielfalt der Darmbakterien





# Boden als Reservoir für Transgene und ihrer Produkte?

## Fallstudie Bt-Mais (Baumgarte und Tebbe, FAL)

- Freilandanbau von Bt-Mais (Mon810) an 2 Standorten über 3 Jahre
- Nachweis des transgenen Produkts (Cry1Ab) in Böden und Pflanzenresten mit neuer Methode (Nachweisgrenze pg pro g Boden)
- Nachweis der Transgene (*cry1Ab*) durch PCR in Böden und Pflanzenresten
- Auswirkungen des Cry1Ab-Proteins auf Bodenmikroorganismen (Bakterien im Wurzelraum (Rhizosphäre))



# Boden als Reservoir für Transgene und ihrer Produkte?

## Fazit

- Cry1Ab-Proteine gelangen von Pflanzenwurzeln, insbesondere nach der Ernte in die Böden
- Im Boden lassen sich Cry1Ab Proteine über die Vegetationsperiode hinaus nachweisen
- Das größte Reservoir für die transgenen Produkte stellen die Reste der abgeernteten Pflanzen dar, insbesondere, bei Mon810 die Wurzeln
- Die Konzentrationen der nachgewiesenen Cry1Ab Proteine liegen viele Zehnerpotenzen unter dem, was als toxisch für Nicht-Zielorganismen angenommen werden kann
- Keine erkennbare Gefährdung für die Gesundheit von Tieren oder Menschen durch Cry1Ab in Böden oder Pflanzenresten



# Auskreuzung in konventionell gezüchtete Sorten

Fallstudie Mais (Meier-Bethke und Schiemann, BBA Braunschweig)

Transgener, herbizidresistenter (HR) Mais (1 ha)

Umgeben von konventionell gezüchtetem Mais (5 ha)

Auskreuzungstests durch Ermittlung von HR-Keimlingen (u. PCR)

Über 100 Probenahmepunkte

Datengrundlage für mathematische Modellierung



# Raps: Auskreuzungs- und Überdauerungspotential

## Dietz-Pfeilstätter, BBA Braunschweig

- Pollenverbreitung durch Wind und Insekten
- Hohe Ausfallverluste (5-10%) bei der Ernte
- Samenpersistenz im Boden über mehrere Jahre (abhängig von Bodenbearbeitung und Witterung)
- Durchwuchsraps in nachfolgend angebauten Kulturen
- Vorkommen auf Ruderalstandorten, entlang von Wegen und Gleisanlagen
- **Potentielle Auskreuzung in verwandte Wildkruziferen**



# Auskreuzung in Wildkräuter

## Fallstudie herbizidresistenter Raps

(Saure et al. BBA Kleinmachnow)

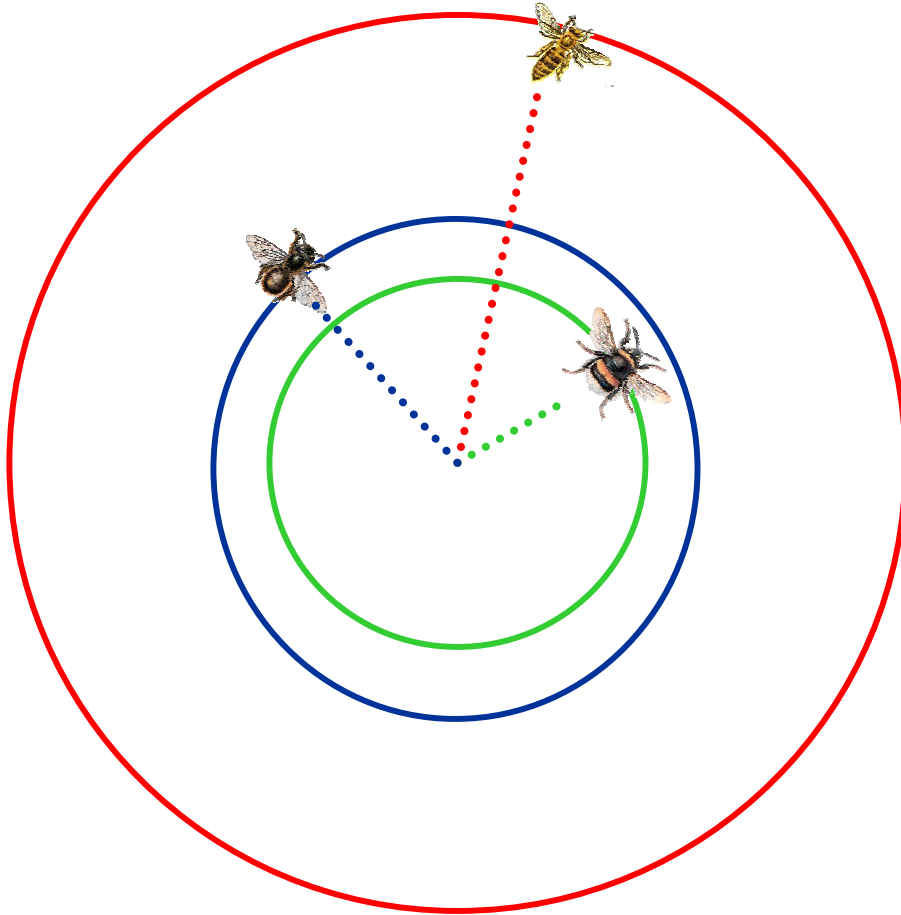
- Mögliche Auskreuzungspartner für Raps: Sareptasenf, Schwarzer Senf, Hederich u. Ackersenf
- Anlage von Refugien (Habitatinseln) neben Parzellen mit herbizidresistentem Raps
- PCR-Nachweis des Resistenzgens (*pat*)
- Auskreuzungsrate unter **1 %** - so hoch wie zu konventionellem Raps der Mantelsaat
- Nur wenige F1-Hybride aus Sareptasenf u. Raps fertil - keine F2-Hybride fertil
- D.h. Herbizidresistenz beim Sareptasenf geht wieder verloren



# Pollenverbreitung durch Insekten

Kühne et al. BBA Kleinmachnow

## Insekten als Vektoren für transgenen Pollen



Honigbiene  
3,5 – 4,5 km  
Rathjen & Edlmann  
(1995)



Rote Mauerbiene  
ca. 1 km  
Williams (2002)



Erdhummel  
bis 630 m  
Osborne et al. (1999)

SAURE, KÜHNE, HOMMEL (2003), Agrarökologie, 44



# Auskreuzung in konventionell gezüchtete Sorten und in Wildkräuter

## Fazit

- Bei Raps und Mais sind Auskreuzungen in der näheren Umgebung möglich
- Je nach Pflanzenart sind Wind und Insekten als Vektoren für den Pollenflug bedeutsam
- Auskreuzungen in Wildkräuter sind möglich, wenn solche Partner natürlich zur Verfügung stehen - die Frage ist, ob die Hybride überlebensfähig sind und sich mit ihren neuen Eigenschaften in ökologische Nischen einnisten können

Die Versuche mit Raps und Sareptasenf zeigten keine überlebensfähigen Hybride



# Horizontaler Gentransfer im Darm von Bienen?

Mohr und Tebbe, FAL Braunschweig

- Herbizid (Glufosinat)-resistenter Raps (*pat*)
- Glufosinat kann auch gegen viele Bakterien wirken
- Darmbakterien aus drei Bienenarten
  
- Natürliche Vielfalt im Darm von Adulten und Larven?
- Vorkommen von Glufosinat-resistenten Bakterien - Kommt die Resistenz durch Gentransfer?
- Können Darmbakterien überhaupt zellfreie DNA aufnehmen?





# Horizontaler Gentransfer im Bienendarm?

## Fazit

- Im Darm von Bienen kommt es zur Verdauung von Pollen
- Der Darm ist stark mit Bakterien besiedelt
- Viele Darmbakterien besitzen eine natürliche Resistenz gegenüber Glufosinat
- Gentransfer konnte nicht nachgewiesen werden, die Nachweisgrenze war aufgrund der hohen natürlichen Resistenz relativ unempfindlich
- Dennoch zeigen die Daten:  
**Der Darm von Bienen ist kein HOT SPOT für horizontalen Gentransfer**



# Gentransfer von Pflanzen auf Bakterien

## Natürliche Barrieren

- Faktor „Zeit und Raum“  
Freisetzung intakter DNA aus Pflanzen, Kontakt mit Bakterien
- Faktor „Verfügbarkeit“  
Sorption von DNA
- Faktor „Wirtsrestriktion“  
Natürliche Kompetenz zur DNA-Aufnahme - Schutz durch intrazellulärem enzymatischen DNA-Abbau
- Faktor „Rekombination“  
Homologe DNA-Abschnitte in Pflanzen und Bakterien
- Faktor „Genexpression“  
Lokalisation in transkriptionsaktiven Genabschnitten, Funktion des rekombinanten Proteins im Bakterien-Metabolom
- Faktor „Evolution“  
Etablierung in natürlichen Populationen, Konkurrenz um Substrate, Adaptabilität, ökologische Nischen



# Gentransfer von Pflanzen auf Bakterien

Natürliche Barrieren können überwunden werden (worst case)

- Unter Laborbedingungen:  
Natürlich kompetente Bakterien (*Acinetobacter* sp. BD 413)  
mit gentechnisch eingebauten homologe Genabschnitten zu  
Transgenen aus Pflanzen  
Inkubation in pflanzlichen Zellhomogenaten oder DNA  
Selektion von Rekombinanten (Smalla et al., BBA  
Braunschweig; Wackernagel et al., Univ. Oldenburg)
- *in planta*:  
mit gentechnisch präpartierten *Acinetobacter* sp. BD413  
eingimpft in Wundinfektionen durch ein anderes pathogenes  
Bakterium (Kay et al. 2000)



# Gentransfer von Pflanzen auf Bakterien

## Fazit

- Der wahrscheinlichste Mechanismus ist die „Transformation“, d.h. die Aufnahme und Rekombination zellfreier DNA
- Bakterien wehren sich gegen fremde DNA, denn fremde DNA kann eigentlich nur schlecht sein
- Je ähnlicher die DNA zu der eigenen DNA ist, um so wahrscheinlicher ist es jedoch, dass es in seltensten Fällen zu einem Gentransfer kommen kann
- Der Gentransfer von Antibiotika-Markergenen von transgenen Pflanzen auf natürliche Bakterien ist, wenn es überhaupt stattfindet, ein sehr seltenes Ereignis
- Die natürliche Resistenz gegenüber den Transgen-relevanten Antibiotika ist sehr hoch - daher hat ein seltener Gentransfer sehr wahrscheinlich keine Bedeutung



# Horizontaler Gentransfer von Pflanzen auf Bakterien

## Sind transplastomische Pflanzen der „worst case“?

- Transgene im Chloroplasten-Genom
- Höhere Kopienzahl pro Zelle (10.000 pro Zelle)
- Keine Transgenen im Pollen, keine väterliche Vererbung
- Transgen zwischen **Bakterien-homologen Genen**, denn Chloroplasten sind vor mehr als 400 Millionen Jahren aus Cyanobakterien (Blaualgen) hervorgegangen
- Höhere Wahrscheinlichkeit für horizontalen Gentransfer?
- Transgener Tabak mit Antibiotika-Resistenz-Gen
- Gentransfer im Darm von Larven?



# Lassen sich Transgene einsperren?

## Zusammenfassung

*Nein!*

- Transgene Pflanzen können ihre Eigenschaften durch Auskreuzung auf konventionelle Sorten übertragen
- Transgene Pflanzen können ihre Eigenschaften, zumindest vorübergehend, auf natürliche verwandte Wildkräuter übertragen
- Einige transgene Pflanzen haben die Möglichkeit auf Ruderalstandorten zu überleben
- Transgene und deren Produkte kommen unweigerlich in Kontakt mit natürlichen Ökosystembewohnern
- Transgene und deren Produkte überdauern vielfach länger als zu ihrem eigentlichen Zweck (Tierernährung, Pflanzenreste auf dem Acker)



# Lassen sich Transgene einsperren?

## Schlussfolgerungen

- Bisher getestete transgene Pflanzen verhalten sich genauso wie nicht-transgene
- Die gentechnische Veränderung an sich ist kein ökologisches Risiko - es kommt auf die transgenen Eigenschaften an
- Transgene Eigenschaften müssen vor dem Anbau genau auf ihre ökologische und ökosystemare Wirkung überprüft werden
- Ökologische Konsequenzen einer Auskreuzung oder eines horizontalen Gentransfers müssen dabei berücksichtigt werden
- **Gentechnisch veränderte Pflanzen sollten durch quantitative Bezüge von Auswirkungen im Vergleich zu herkömmlichen landwirtschaftlichen Praxis bewertet werden**

**Nein!**  
Warum auch?

