

Bewertung von Umweltwirkungen transgener Organismen

Agrogentechnik und
biologische Vielfalt

Vilm 8. – 10. 09. 2008

Martha Mertens



Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Organismen (GVO)

- **Gentransfer:**
 - Kreuzung mit Kultur- und Wildarten
 - horizontaler Gentransfer (→ Mikroorganismen)
- **Ausbreitung in andere Ökosysteme**
- **Effekte auf Nichtziel-Organismen**
- **Sekundäre Effekte durch Herbizideinsatz und Resistenzentwicklung**
- **Änderung der Anbausysteme: Monokulturen, Einsatz von Breitbandherbiziden, Intensivierung der Landwirtschaft**
- **Einschätzung der Umwelt-Risiken durch Wissenschaftler abhängig von Arbeitgeber und Fachdisziplin?**

Unerwartete Effekte der Transformation von Pflanzen

Transformation kein gezielter Prozess: Veränderung der Aktivität anderer pflanzlicher Gene, Eingriff in Stoffwechselprozesse?

- **Basis der Gentechnik: „ein Gen-ein Protein“ - Modell; komplexe Steuerung der Genaktivität nicht wirklich berücksichtigt**
- **Einbau mehrerer Transgen-Kopien – einer oder mehrere Integrationsorte**
- **Verdopplung, Deletion, Inversion von Transgen-Sequenzen**
- **Komplexe Struktur der Einbauorte (Transgen-DNA gemischt mit pflanzl. DNA)**
- **Mol. Situation von GVO wie RR-Soja, Mon810 Mais anders als im Antrag beschrieben**
- **Einbau überflüssiger DNA (Plasmide, T-DNA, Antibiotika-Resistenzgene)**
- **Einbau chromosomaler DNA (>18 kb) aus *A. tumefaciens* (zu 0,4 % bei *A. thaliana*)**
- **Unerwartete Aktivität der Promotoren (Gewebe, Entwicklungsstadium, Art)**
- **Bildung unerwarteter Transkripte infolge unvollständiger Termination (read through)**

Gentransfer - Auskreuzung

- Übertragung der Transgene auf Pflanzen der gleichen Art sowie auf verwandte Kultur- und Wildpflanzen
- Pollentransfer durch Wind und Insekten über große Entfernungen möglich
- Heimische Kulturpflanzen besitzen Kreuzungspartner unter Wildpflanzen: z. B. Raps, Zuckerrübe, Gräser, Obstarten, Gehölze
- (Ungewollte) Kombination von Transgenen in Kultur- und Wildarten (z. B. Dreifach-Herbizidresistenz bei kanadischem Raps)
- Transgen-Eintrag in Landsorten und genetische Ressourcen
- Unbekannte Effekte bei Transgen-Eintrag in anderen genetischen Hintergrund, Einfluss auf genetische Stabilität der Pflanzen?

Auskreuzung beim Raps (*Brassica napus*)

- **Selbst- und Fremdbefruchtung**
- **besitzt zahlreiche Kreuzungspartner**
Kohl, Rüben, Rutenkohl, Hederich, Ackersenf
- **Pollenverbreitung durch Wind und Insekten**
- **Bienen-Flugradius >3 km, Fläche ~30 km²**
- **Auskreuzung über >2,5 km (bis 26 km)**
- **Hoher Samenausfall bei der Ernte (3 – 6 %, höher als Aussaat)**
- **Durchwuchs 10 – 15 Jahre möglich - 10 a nach Freisetzung von HR-Raps waren 40 % des Durchwuchs resistent**
- **Ruderalpflanzen an vielen Standorten (z. B. Verkehrswege)**
- **Überlappende Blühzeiten mit verwandten Kreuzblütlern**



Horizontaler Gentransfer

- Aufnahme pflanzlicher DNA durch Mikroorganismen möglich
- An Bodenpartikel gebundene DNA stabil und vor Abbau geschützt
- Eintrag transgener DNA in Böden über Pollen, Wurzeln, Pflanzenmaterial, Eintrag in Gewässer und Sediment
- Nachweis von horizontalem Gentransfer im Labor
- Horizontaler Gentransfer begünstigt durch bakterielle DNA-Sequenzen, die in Pflanzen eingebaut werden (z.B. Antibiotika-Resistenzgene, Plasmid-DNA, chromosomale DNA aus *A. tumefaciens*)?
- Erhöhte Wahrscheinlichkeit für horizontalen Gentransfer bei transgenen Pflanzen mit Chloroplasten-Transformation (>1000 Transgen-Kopien pro Zelle, bakterielle Sequenzen, „bakterielle Proteinsynthese“)

„Biologisches Containment?“

Transformation von Chloroplasten:

- Chloroplasten auch im Pollen (Koniferen, andere Arten, Stress)
- Gentransfer ins Kerngenom
- horizontaler Gentransfer erhöht aufgrund bakteriellen Systems

Pollen- und/oder Samensterilität:

- auf Dauer zu sichern?
- Effekte auf Pollinatoren, zahlreiche Tierarten
- Gefährdung der Biodiversität

Genetic Use Restriction Technologies – GURTs/ Terminator-Technologie:

- komplexe Systeme, Wirksamkeit nicht dauerhaft gesichert
- kein sicheres Induktionssystem
- Toxizität der Rekombinase und der induzierenden Substanzen?

Direkte und indirekte Umweltwirkungen von GVO

- Auftreten unerwünschter Eigenschaften als Folge von Positionseffekten* und pleiotropen Effekten**
- Effekte auf andere Organismen durch erwünschte (z.B. Bt-Toxine) und unerwartete Eigenschaften (z. B. Pilztoleranz bei GV-Petunien, erhöhter Ligningehalt bei Bt-Mais)
- Zahlreiche Expositionspfade möglich: Pollen, Samen/Früchte, Blatt- und Wurzelmaterial
- Boden als „Black Box“
- Neue Toxine und Inhaltsstoffe (z.B. Pharmazeutika) besonders problematisch
- Transgenkombinationen wenig untersucht, additive, evtl. synergistische Wirkungen?

* durch Einbau der Transgene bedingte Effekte, ** Nebeneffekte von Transgenen und Genprodukten

Herbizidresistente Pflanzen

Negative Wirkung auf die Biodiversität

FSE*: HR-Raps, HR-Zuckerrübe, HR-Mais

→

- Reduktion der Wildpflanzen und ihrer Samenbank
- Reduktion der von Wildpflanzen lebenden Invertebraten
- HR-Rapsfeldränder: 44 % weniger Blütenpflanzen, -24 % Schmetterlinge
- HR-Zuckerrüben: Signifikant weniger Bienen und Wanzen
- Negative Effekte auf Nahrungskette, etwa Vögel, Kleinsäuger
- Spraydrift gelangt auf Nachbarflächen

Aber: in Anbauländern von HR-Pflanzen
kein regionales Monitoring

D: 21 Beikraut-Schmetterlings-Assoc. zum
Monitoring empfohlen



* FSE: Farm Scale Evaluations in UK

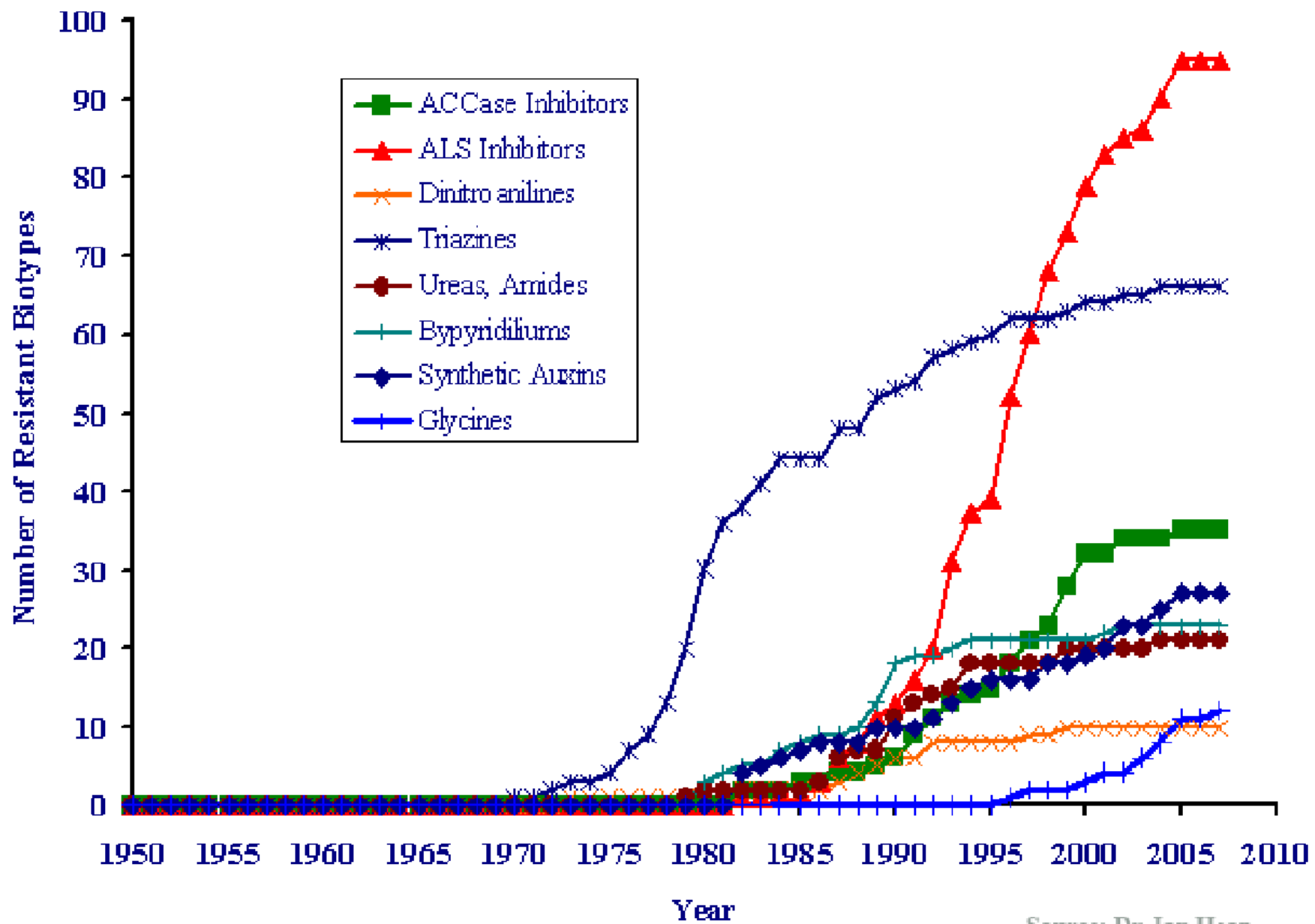
Herbizidresistente Pflanzen

Toxische Effekte, Herbizidverbrauch

Glyphosat/Roundup

- behindert Mikronährstoff-Aufnahme (z.B. Mangan) → negative Effekte auf Ertrag und Krankheitsabwehr
- ist toxisch für Mikroorganismen, für die Zielenzym* von Glyphosat essentiell ist, z.B. *Bradyrhizobium japonicum* → vermehrte N-Düngung bei RR-Sojabohne?
- beeinflusst Bodenleben – Begünstigung pathogener Pilze wie Fusarien?
- ist toxisch für Amphibien, Wasserorganismen
- Herbizidresistenz bei Beikräutern (15 Beikräuter bereits resistent gegen Glyphosat)
- Veränderung der Artenzusammensetzung der Beikrautflora
- Signifikante Erhöhung des Herbizidverbrauchs: 19fach höherer Glyphosat-Einsatz bei Sojabohnen im Zeitraum 1994 – 2006 (USA), >50fach höher in Argentinien
- USA: Einsatz von Tankmischungen bzw. Altherbiziden (z. B. Paraquat, 2,4-D)
- HR-Pflanzen mit Mehrfachresistenz? Gg. Glufosinat, Dicamba, ALS-Inhibitoren?

* 5-Enolpyruvyl-Shikimat-3-Phosphat-Synthase (EPSPS)



Source: Dr. Ian Heap
<http://WeedScience.com>

Insektenresistenter Bt-Mais

Mon810 Mais: cry1Ab-Toxigenen aus *Bacillus thuringiensis* kurstaki

- Bildung des aktivierten Bt-Toxins in allen Pflanzenteilen während gesamter Vegetationsperiode
- Bt-Wirkungsmechanismus nicht völlig geklärt, Spezifität?
- Diverse Expositionspfade: Bt-Pollen/Bt-Pflanzenmaterial, Bt-Toxin-haltige Beute, an Bodenpartikel gebundene Bt-Toxine

Gefährdung von Nichtzielorganismen:

- Schmetterlinge durch Aufnahme von Pollen auf Futterpflanzen, z.B. Schwalbenschwanz (sensitiver als Maiszünsler), Pfauenaugen
- Nützlinge – über Beutetiere oder Aufnahme von Pollen/Blättern, z.B. Marienkäfer, Wanzen, Florfliegen, Parasitoide
- Meta-Analysen: Asymmetrie in Richtung negativer Effekte auf Nichtzielorganismen, Vergleichsbasis wichtig: +/- Insektizide

Effekte: Erhöhte Sterblichkeit, Entwicklungsverzögerung, geringes Gewicht

- Junge Larvalstadien reagieren besonders empfindlich auf Bt-Toxin

Bienen: Wechselwirkung zwischen Parasitenbefall und Bt-Toxin?

Insektenresistenter Bt-Mais

- Eintrag von Bt-Toxin in Böden + Gewässer über Pflanzenmaterial
- In 1000 m Entfernung im Mittel 28.000 Pollen/m², Spitzenwerte liegen deutlich darüber
- Aktive Toxin-Ausscheidung über Wurzeln
- Effekte auf Bodenorganismen - Microflora, Regenwürmer, Nematoden etc?
- Effekte auf Wasserorganismen - Köcherfliegenlarven, Daphnien?
- Nachweis des cry1Ab-Gens (Mais) in Wasser/Sediment >21/40 Tage, in Muscheln



Insektenresistente Bt-Pflanzen

Bt-Pflanzen mit Kreuzungspartnern unter Wildpflanzen:

- Kreuzungsnachkommen mit erhöhter Fitness (z.B. Sonnenblumen)
- Toxische Effekte auf unbekannte Zahl von Nichtziel-Organismen

Resistenzentwicklung bei Schädlingen - 2008 beschrieben für Bt-Baumwolle

- Veränderte Cadherine (Ca-adhering - transmembrane Glykoproteine)

Resistenzmanagement mittels Hochdosis-Refugien-Strategie?

- Hohe und konstante Bildung des Bt-Toxins während Vegetationsperiode
- Rezessive Vererbung von Resistenzgenen der Insekten
- Vergleichbar rasche Entwicklung empfindlicher und resistenter Insekten
- Insekten bewegen sich zur Paarung zwischen Bt-Flächen und Refugien
- Einrichtung ausreichend großer Refugien

- Auftreten von Sekundärschädlingen, wenn Hauptschädling dezimiert wird
- Verringerung des Insektizideinsatzes fraglich (Bt-Baumwolle in China)

Ausbreitung von GVO-

begünstigt durch Fitness-erhöhende Eigenschaften?

Kritische Transgene, transgene Eigenschaften:

- Resistenz gegen Schädlinge, Krankheitserreger oder Umweltstress,
- verändertes Fortpflanzungs- oder Wachstumsverhalten

Kritische Arteigenschaften:

- anpassungsfähig, Pflanzen/Samen winterhart, starke Samenproduktion, Samenverbreitung durch Vögel, Wind und Wasser über große Entfernungen, jahrelange Keimfähigkeit der Samen, mehrjährig,

Verbreitung: Tiere, Wind, Wasser, Erde und menschliche Aktivitäten, etwa die 4 Ts - Trade, Transport, Travel and Tourism

Erfahrung mit invasiven Arten:

- Charakteristika der aufnehmenden Ökosysteme wichtig
- u.U. großer „timelag“ bis zum Ausbreitungsbeginn (Gehölze bis zu Jahrhunderten)
- Sichere Prognose nicht möglich

Künftige Entwicklungen?

- **Transgene Energiepflanzen**
- **Transgene Bäume/Gehölze**
- **Neue Eigenschaften: Stressresistenz, Pharmazeutika, Veränderung von Wachstum, Photosynthese, Stickstoff-Haushalt**
- **Transgen-Kombinationen mit additiver/synergistischer Wirkung**
- **Ausweitung des GVO-Anbaus auf andere Regionen und extensiv bewirtschaftete Flächen**

Folgen:

- **Neue Kreuzungsmöglichkeiten mit Wildflora**
- **Neue Nicht-Zielorganismen betroffen**
- **Neuer Intensivierungsschub → erhöhter Biodiversitätsverlust**

Ausblick

- **Problem der Bewertung von Umweltwirkungen transgener Pflanzen, die „nur“ eine oder zwei transgene Eigenschaften tragen → Insekten- und/oder Herbizid-Resistenz**
- **Wirkungen transgener Pflanzen mit komplexeren Eigenschaften noch schwieriger zu erkennen und zu beurteilen**
- **Langfristige Wirkungen über Jahrzehnte (über Jahrhunderte für Gehölze) kaum vorherzusagen**
- **Dies gilt erst recht in Zeiten des Klimawandels, der zu veränderten Umweltbedingungen führt**
- **Daher: Plädoyer für Vorsorgeprinzip**

Literatur

- Bohn et al. 2008. Reduced fitness of *Daphnia magna* fed a Bt-transgenic maize variety. Publ. online 18. March. Doi 10.1007/s00244-008-9150-5.
- D'Herdefeld et al. 2008. Long-term persistence of GM oilseed rape in the seedbank. *Biology Letters* 4, 314-317.
- Douville et al. 2008. Occurrence of the transgenic cry1Ab gene in freshwater mussels (*Elliptio complanata*) near corn fields: Evidence of exposure by bacterial ingestion. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* Doi 10.1016/j.ecoenv.2008.02.006.
- Hilbeck et al. 2008. Identifying indicator species for post-release monitoring of genetically modified, herbicide resistant crops. *Eyphytica*. Doi 10.1007/s10681-008-9666-9.
- Lövei & Arpaia 2005. The impact of transgenic plants on natural enemies: a critical review of laboratory studies. *Entomol Experim Applicata* 114,1-4.
- Marvier et al. 2007. A Meta-Analysis of Effects of Bt Cotton and Maize on Nontarget Invertebrates. *Science* 316, 1475 – 1477.
- Mulder et al. 2006. Can transgenic maize affect soil microbial communities? *PLoS Comp. Biology* 2, 1165-1172.
- Powell & Swanton 2008. A critique of studies evaluating glyphosate effects on diseases associated with *Fusarium* spp. *Weed Research* 48, 307-318.
- Rosi-Marshall et al. 2008. Toxins in transgenic crop byproducts may affect headwater stream ecosystems. *PNAS* 104, 16204-16208.
- Schmidt et al. 2008. Effects of activated Bt transgene products (Cry1Ab, Cry3Bb) on immature stages of the ladybird *Adalia bipunctata* in laboratory ecotoxicity testing. *Arch Environ Contam Toxicol* Doi: 10.1007/s00244-008-9191-9.
- Tabashnik et al. 2008. Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory. *Nat. Biotechnology* 26, 199-202.
- Ülker et al. 2008. T-DNA-mediated transfer of *Agrobacterium tumefaciens* chromosomal DNA into plants. *Nat Biotechnology* Publ. Online 31 August. Doi 10.1038/nbt.1491.