

Eine grobe Vergleichsrechnung (Anschaffungs- und Energiekosten) zeigt, dass gegenüber einer Batterie das Brennstoffzellen-System höhere Anschaffungskosten durch seine lange Lebensdauer relativiert. Eine Kostenabschätzung für die einzelnen Komponenten eines Mini-Brennstoffzellen-Systems ergab, dass das Kostenniveau von Li-Ion-Akkumulatoren erreichbar erscheint.

Der Emissionsbeitrag von Mini-Brennstoffzellen wird nicht wesentlich durch den Brennstoffpfad bestimmt, sondern – eher positiv – durch die lange Lebensdauer des Brennstoffzellen-Systems. Deshalb und wegen der teilweisen Recyclingfähigkeit könnten Brennstoffzellen bei einer Substitution von signifikanten Mengen an Akkumulatoren einen wichtigen Beitrag zur Müllvermeidung leisten.

#### Fazit

Übergreifend lässt sich festhalten, dass nach heutigem Stand *Energieumwandlungssysteme mit Brennstoffzellen zukünftig konkurrenzfähig werden können*, wenngleich das Erreichen entsprechender Kostenziele ein überaus ehrgeiziges Entwicklungsziel ist. Die Entwicklung von Brennstoffzellen-Systemen lässt *Innovations-sprünge* erwarten – sowohl für die Brennstoffzellen selbst im Bereich der Materialtechnik und der Herstellungsverfahren als auch für die unterschiedlichen Peripherie-Einheiten. Die Weiterentwicklung der Wasserstoffspeicherung (z. B. Nanospeicher) wird allgemein als dringlich angesehen, da sich die *Wasserstoffspeicherung* für alle Anwendungen (Fahrzeuge, dezentrale Energieversorgung, tragbare Kleingeräte) zunehmend als *Schlüsselfaktor* herauskristallisiert.

Entscheidend für die weitere Diffusion der Brennstoffzellen-Technologie werden die energie-, umwelt- und verkehrswirtschaftlichen Rahmenbedingungen sein, da viele Potenziale der Brennstoffzelle erst *im Rahmen einer Neuausrichtung des Verkehrssystems sowie der Energiewirtschaft* – hin zu einer auf regenerativen Energieträgern basierten Energieversorgung – *in vollem Umfang wirksam* werden können.

#### Kontakt

Dipl.-Phys. Torsten Fleischer  
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Institut für Technikfolgenabschätzung  
und Systemanalyse (ITAS)  
Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe  
Tel.: + 49 (0) 7247 – 82 45 71  
Fax: + 49 (0) 7247 – 82 48 06  
E-Mail: [fleischer@itas.fzk.de](mailto:fleischer@itas.fzk.de)

*Der TAB-Arbeitsbericht Nr. 67 „Brennstoffzellen-Technologie“ (Endbericht, Berlin, Dezember 2000, 313 Seiten) kann schriftlich angefordert werden bei:*

Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim  
Deutschen Bundestag (TAB)  
Frau Gabriele Rastätter  
Neue Schönhauser Straße 10, D-10178 Berlin  
Fax: + 49 (0) 30 / 28491 – 119  
E-Mail: [rastaetter@tab.fzk.de](mailto:rastaetter@tab.fzk.de)

«

## Umweltrisiken gentechnisch veränderter Pflanzen: Zulässigkeit und Bedeutung von Risikovergleichen

von Othmar Käppeli, Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen der Schweiz (BATS)

Der Forschungsschwerpunkt der Fachstelle BATS ist die Methodik der Risikoermittlung für die Biotechnologie. Die Risikoanalyse ist der naturwissenschaftliche Teil und bildet die Grundlage für die Risikobewertung, die einer breiteren wissenschaftlichen (Multidisziplinarität) und gesellschaftlichen Abstützung bedarf. Die Risikoanalyse soll einerseits transparente und nachvollziehbare Entscheidungsgrundlagen für die Risikobewertung liefern, andererseits Defizite im Wissen und ungenügende oder unangebrachte regulatorische Vorgaben aufdecken.

Hier wird der Gültigkeit von Risikovergleichen nachgegangen. Grundlegende Voraussetzung für Risikovergleiche ist die Gleichartigkeit von Risiken, deren Notwendigkeit ergibt sich aus dem Fehlen von allgemein akzeptierten und Technologie unabhängigen Vertretbarkeitskriterien und Schutzziele für biologische Risiken.

## Einleitung

Obwohl in den meisten europäischen Ländern und in der EU gesamthaft für die Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen gesetzliche Grundlagen bestehen, verstummt die Diskussion über die Sicherheit transgener Pflanzen nicht. Die bisherige Erfahrung mit der Behandlung von Freisetzungsgesuchen hat gezeigt, dass insbesondere die Bewertung von Risikopotenzialen Auslöser von Diskussionen ist. Dies ist nicht weiter verwunderlich. Während in andern Technikbereichen klare Schutzziele formuliert sind und Vertretbarkeitskriterien durch Indikatoren wie maximaler Schadstoffausstoß oder maximale Schadstoffkonzentrationen festgelegt sind, bestehen in der Biologie keine oder nur sehr allgemeine Vertretbarkeitskriterien, wodurch die Diskussion über die Akzeptanz von Risiken erschwert wird. Was ist beispielsweise vertretbar in Bezug auf die Auswirkungen einer Freisetzung auf die Biodiversität oder auf Nichtzielorganismen? Das Fehlen allgemeiner und Technologie unabhängiger Vertretbarkeitskriterien hat zur Folge, dass solche von Fall zu Fall zu erarbeiten und zu bestimmen sind. Für diesen Prozess ist der Risikovergleich geeignet, dessen Gültigkeit durch Klauseln festgelegt werden kann, damit nicht an sich Unvergleichbares, oder im Volksmund Kartoffeln mit Birnen, verglichen wird. Im Folgenden soll eine Annäherung an die Problematik dargestellt werden.

Ganz allgemein bildet die Systembeschreibung die Basis der Risikoermittlung (IAEA 1998). Gefahren ergeben sich aus Abweichungen von sicheren Zuständen oder Abläufen. In einem ersten Schritt einer Risikoanalyse geht es deshalb darum, das zu untersuchende System kennen zu lernen und zu beschreiben, woraus sich in der Folge die Gefahrenquellen ableiten lassen. Die Systembeschreibung wird somit zum Fundament jeder Risikoanalyse. Sie besteht in der Darstellung der Elemente, Eigenschaften und Prozesse des Objektes der Risikoanalyse.

### Basis der Risikoanalyse für transgene Pflanzen

Im Falle transgener Pflanzen ist das „System“ die gentechnisch veränderte Pflanze mit ihren

Beziehungen zur Umwelt. Generell werden daher bei einer Risikoabschätzung, wie sie beispielsweise bei einem Bewilligungsverfahren zur Freisetzung gefordert wird, (1) Informationen zum Empfängerorganismus, zu den Spenderorganismen, zum Vektor und zum transgenen Organismus verlangt; und (2) sind Informationen zum Ökosystem der Freisetzung und möglichen Interaktionen der gentechnisch veränderten Pflanze mit diesem zu liefern (vgl. beispielsweise Richtlinie 90/220/EWG vom 23. April 1990 oder die schweizerische Freisetzungsverordnung vom 25. August 1999). Für die systematische Beschaffung der Daten eignet sich beispielsweise die Szenarienmethode (Kaeppli, Auberson 1998).

Das Ergebnis der Risikoanalyse ist ein Inventar realer und hypothetischer Risikopotenziale für eine bestimmte Anwendung der Gentechnik. Wie erwähnt, hat sich gezeigt, dass die anschließende Bewertung der Risikopotenziale die eigentliche Hauptschwierigkeit darstellt, weil, wenn überhaupt, nur sehr allgemeine Schutzziele oder Vertretbarkeitskriterien bestehen. Des weiteren ist die Bewertung der Risiken transgener Pflanzen wesentlich davon abhängig, ob wir diese dem vertrauten Risikobereich konventioneller Züchtung zuordnen können oder nicht. Im Folgenden soll eine Annäherung an diese Problematik dargestellt werden. Ausgangspunkt ist ein Vergleich der molekularen Mechanismen, welche bei verschiedenen Züchtungsmethoden wirksam sind. Abhängig vom Verwandtschaftsgrad dieser Mechanismen sind Unterschiede bzw. Übereinstimmung in der Qualität der Risiken die Folge.

### Qualität der Risiken gentechnischer Züchtung im Vergleich zu jenen der konventionellen Züchtung

Der Züchtung von Pflanzen liegt das Auftreten oder die Schaffung genetischer Vielfalt (genomischer Variation) in einer Population zu Grunde. So wird beispielsweise eine herbizidtolerante Linie der selben Pflanzensorte von einer herbizidempfindlichen genetisch verschieden sein. Die Unterschiede haben ihre Ursachen in der genetischen Vielfalt innerhalb einer Population, die durch Mutationen im weitesten Sinne und durch Selektionsdruck entstehen. Aus dem natürlichen oder künstlich

geschaffenen Formenreichtum können die Abkömmlinge mit den Eigenschaften, welche den Zuchtzielen entsprechen, selektioniert werden. Daher hat Pflanzenzüchtung immer einen Bezug zu Veränderungen bzw. Unterschieden im Erbgut. Wo künstliche Vielfalt erzeugt wird (z. B. durch Mutationszüchtung) findet der Eingriff immer im Kern, dem Sitz des Erbgutes statt. Die Nutzbarmachung von Unterschieden innerhalb einer Art bzw. Population zur Gewinnung von Pflanzen mit erwünschten Eigenschaften wurde mit verschiedenen Züchtungsmethoden angestrebt (Tab. 1). Sie unterscheiden sich in der Herkunft der Eigenschaften und damit des Erbgutes sowie in der Bestimmtheit, mit welcher neue Eigenschaften erhalten werden können. Die Variationsmechanismen, die zu genetischer Variabilität führen, unterscheiden sich nur wenig und laufen im Hintergrund jeder Züchtungsmethode ab. Grundsätzlich sind deren Folgen unberechenbar und können für die Pflanze sowohl positiv wie negativ sein.

**Tab. 1: Züchtungsmethoden und Beispiele genomischer Variationsmechanismen (Kaeppli, Auberson 1998)**

Züchtungstechnik	Herkunft der Eigenschaften	Genomische Variationsmechanismen
Selektion (zufällig)	Pflanzlicher Genotyp	Mutagene Hintergrundprozesse <sup>a</sup>
Kreuzungszüchtung (gezielt)	Genpool der Ausgangslinien	Chromosomale Rekombination und mutagene Hintergrundprozesse
Pflanzenbiotechnologische Methoden (zufällig)	Pflanzlicher Genotyp	Erhöhte Frequenz der mutagenen Hintergrundprozesse (somaklonale Variation)  Hybridisierung über die Artgrenzen hinweg durch Protoplastfusion (somatische Hybridisierung)
Gentechnik (gezielt)	Beliebige Herkunft	Mutagene Hintergrundprozesse, Geninsertion, somaklonale Variation

<sup>a</sup> Mutagene Hintergrundprozesse beinhalten DNA Neuordnung, Transposition, Mutation and Recombination, generell alle nicht deterministische Variationsprozesse mit evolutionärer Bedeutung.

*Pflanzenbiotechnologische Methoden und Gentechnik*

In den sechziger Jahren wurde die Gewebekultur auf synthetischen Medien zu einem neuen und vielversprechenden Werkzeug in der Pflanzenforschung. Heute ist sie eine Standardtechnik der Pflanzenzüchtung, welche die schnelle Anzucht von Klonen der Kulturpflanzen erlaubt und daher die Grundlage weiterer Züchtungstechniken bildet (wie der Mutagenitätszüchtung und der gentechnischen Züchtung) sowie der Erhaltung von Sorten dient.

Mit dem Aufkommen der Protoplasten- und Gewebekulturtechnik war das Auftreten einer interessanten Erscheinung verknüpft, nämlich mit der Feststellung, dass in den regenerierten Pflanzen große genetische Variabilität auftritt (somaklonale Variation). Protoplasten sind Einzelzellen, deren Zellwand durch enzymatische Behandlung aufgelöst wurde. Ein einzelnes Blatt liefert durch eine entsprechende Behandlung Millionen von Protoplasten. Alle sind theoretisch in der Lage, zu ganzen Pflanzen zu regenerieren, die Eigenschaft, welche Totipotenz genannt wird. Anfänglich wurde die bei der Regeneration auftretende genetische Variabilität der leicht feststellbaren chromosomalen Instabilität zugeschrieben. Neuere molekulargenetische Untersuchungen zeigen aber, dass ganz unterschiedliche Mechanismen involviert sind (Leroy, Leon und Branchard 2001). Identifiziert wurden:

- Interne Deletionen,
- Insertionen,
- Translokationen und
- teilweiser oder vollständiger Chromosomenverlust.

Die Entdeckung der somaklonalen Variation führte zur Nutzung der Gewebekulturtechnik zur Erzeugung von Mutanten und zur Selektion genetischer Varianten sowie zur direkten Isolation neuer Genotypen von Zellkulturen (Evans 1989).

Eine weitere für die Pflanzenzüchtung wichtige Beobachtung war die Entdeckung, dass Protoplasten fusionieren, wenn sie in engen Kontakt gebracht werden (Protoplastenfusion, somatische Hybridisierung). Dabei ist die somatische Hybridisierung nicht der gleichen, auf den Artgrenzen beruhenden Inkompatibili-

tät unterworfen wie die konventionelle Kreuzung. Die Möglichkeit, dass Pflanzenarten, die durch Kreuzungszüchtung nicht vereinbar sind, durch Protoplastenfusion gekreuzt werden können, eröffnete der Pflanzenzüchtung neue Perspektiven. Das Potenzial der somatischen Hybridisierung zur Herstellung neuer genetischer Kombinanten wurde mit Hilfe von *Petunia* und *Nicotiana* (Melchers, Labib 1974) gezeigt. Ein bekanntes Beispiel einer Kulturpflanze, die mit Hilfe von somatischer Hybridisierung gewonnen wurde, ist Triticale (Wicks 2001). Weitere Forschung auf diesem Gebiet könnte unsere Vorstellungen vom Konzept der pflanzlichen Diversität nachhaltig beeinflussen.

Um Pflanzen mit neuen Eigenschaften herzustellen, wurde in jüngster Zeit die Gentechnik intensiv genutzt. Die beschriebene Regenerationsfähigkeit (Totipotenz) macht Pflanzen besonders gut geeignet für gentechnische Modifikationen. Die Anwendung der Gentechnik baut auf den pflanzenbiotechnologischen Methoden auf und bedeutet mechanistisch betrachtet eine oder mehrere DNA-Insertionen, ein Mechanismus, der auch bei der somaklonalen Variation identifiziert wurde. Unterschiede bestehen lediglich in der Herkunft und Zusammensetzung des Inserts, die jedoch die Qualität der Risiken der DNA-Insertion nicht zwingend beeinflussen. Es kann daher abgeleitet werden, dass auf Grund der involvierten Mechanismen kein Qualitätsunterschied zwischen den Risiken gentechnischer und konventioneller Züchtung postuliert werden kann.

#### **Risikobewertung mit Hilfe des Vergleichs von Risiken aus Technologieoptionen**

Die von einer Kulturpflanze ausgehenden Umweltrisiken sind auch mit dem jeweiligen Produktionssystem verbunden (z. B. konventioneller, integrierter und biologischer Landbau), weil die Erzielung der angestrebten Produktivität einer Sorte andere Maßnahmen wie Düngung, Krankheits- und Schädlingsbekämpfung bedingen. Ziel einer gentechnischen Veränderung ist meist die Substitution einer bestehenden Maßnahme (z. B. Schädlingsresistenz) oder die anbautechnische Verbesserung einer Sorte (z. B. Herbizid- oder Trockenheitstoleranz). Um die Risiken einer Technologieoption zu

bewerten, können sie mit jenen von Alternativen verglichen werden. Dabei geht es nicht um die Rechtfertigung einer bestimmten Technik, sondern um die Abschätzung der Vertretbarkeit von Risiken bei fehlenden Schutzziele und Vertretbarkeitskriterien (Abb. 1). Im dargestellten Beispiel liefern die Risikoszenarien alle das gleiche Schadenspotenzial. Die derart entwickelten Kausalketten erweisen sich für Entscheidungsträger als hilfreiche Grundlagen und können zur Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen beitragen. Wie aus der Darstellung hervorgeht, kann die Vertretbarkeit der Gefährdungen bereits auf der Stufe ‚Schadenspotenzial‘ vorgenommen werden. Da die Wahrscheinlichkeit bei biologische Risiken, wo lebende und vermehrungsfähige Systeme zu beurteilen sind, sehr relativ ist, empfiehlt es sich, primär das Schadenspotenzial für den Vertretbarkeitsentscheid zu benutzen. Es ist kaum vorstellbar, dass ein signifikantes Schadenspotenzial bei einer Freisetzung durch Wahrscheinlichkeitsüberlegungen zu einem vertretbaren Risiko reduziert werden kann.

Für die Zulässigkeit von Risikovergleichen können Kriterien aufgestellt werden, welche die Legitimität des Vorgehens stützen. Solche könnten unter anderem beinhalten:

- Vergleich von Technikoptionen, welche die gleiche Problematik betreffen (im Beispiel Herbizideinsatz),
- Vergleich von Technikoptionen, die Alternativen für die gleiche Problemlösung darstellen (z. B. der Einsatz transgener schädlingsresistenter Pflanzen und Einsatz von Pestiziden),
- Vergleich von Szenarien, die zu gleichen Schadenspotenzialen führen (z. B. Verwendung von Antibiotika-Markergenen und Gebrauch von Antibiotika in der Human- und Tiermedizin).
- Verwendung der gleichen Schadensindikatoren (z. B. Auswirkungen von Technikalternativen auf Nützlinge).

**Abb. 1: Bewertung von Risiken transgener Pflanzen mit Hilfe von Vergleichszenarien für Risiken aus andern Technologieoptionen (vereinfacht). Das Vorgehen ist angezeigt bei fehlenden Schutzziele und Vertretbarkeitskriterien (Kaeppli, Auberson 1998).**

Gefahrenquelle	Natürliche Prozesse, Vorgänge	Gefährdungen	Schadenspotenziale	Wahrscheinlichkeit	Risiko
----------------	-------------------------------	--------------	--------------------	--------------------	--------

Herbizid-tolerante (HT) transgene Pflanze	Horizontaler Gentransfer	Übertragung der HT auf Boden-mikroorganismen	Auftreten von HT in Boden-mikroorganismen	Kann abgeschätzt werden	Schadensausmaß X Wahrscheinlichkeit
---	--------------------------	--	---	-------------------------	---

**Referenzszenarium 1:**

Herbizid-tolerante (HT) Pflanze aus konventioneller Züchtung	Horizontaler Gentransfer	Übertragung der HT auf Boden-mikroorganismen	Auftreten von HT in Boden-mikroorganismen	Kann abgeschätzt werden	Schadensausmaß X Wahrscheinlichkeit
--	--------------------------	--	---	-------------------------	---

**Referenzszenarium 2:**

Herbizidanwendung	Selektionsdruck durch Herbizid	Selektion von HT in Boden-mikroorganismen	Auftreten von HT in Boden-mikroorganismen	Kann abgeschätzt werden	Schadensausmaß X Wahrscheinlichkeit
-------------------	--------------------------------	---	---	-------------------------	---

**Schlussfolgerungen**

Die Analyse der molekularen Mechanismen, die bei verschiedenen Methoden der Pflanzenzüchtung wirksam sind, lassen den Schluss zu, dass die Qualität der Risiken gentechnischer Züchtung im vertrauten Bereich jener der konventionellen Züchtung liegt. Die Insertion eines oder mehrerer Gene entspricht einem bei der somaklonalen Variation beobachteten Variationsmechanismus. Für die Bewertung von Risiken der gentechnischen Züchtung bieten sich Vergleiche mit solchen von Technikoptionen an. Dadurch wird die Erarbeitung allgemein akzeptierter und nachvollziehbarer Vertretbarkeitskriterien und Schutzziele erleichtert und einer sektoriellen Anwendung dieser vorgebeugt.

**Literatur**

Evans, D.A., 1989: Somaclonal variation – genetic basis and breeding applications. *Trends in Genetics*, 5, 46.

IAEA / International Atomic Energy Agency, 1998: Guidelines for integrated risk assessment and management in large industrial areas, p. 72, Vienna.

Kaeppli, O.; Auberson, L., 1998: Planned releases of genetically modified organisms into the environment: The evolution of safety considerations, *Chimia*, 52, 137.

Kaeppli, O.; Auberson, L., 1998: How safe is safe enough in plant genetic engineering? *Trends in Plant Sciences*, 3, 276.

Leroy, X. J.; Leon, K.; Branchard, M., 2001: ISSR and somaclonal variation: a new molecular technique for an important *in vitro* phenomenon. *EJB: Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 3, [online, cited 20 February 2001]. URL: <http://www.ejb.org/content/vol3/issue2/full/2/bip>.

Melchers, G.; Labib, G., 1974: Somatic hybridization of plants by fusion of protoplasts. *Molec. gen. Genet.* **135**, 277.

Richtlinie 90/220/EWG vom 23. April 1990 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt (online, zitiert: 19. Februar 2001). URL: <http://www.bba.de/gentech/90-220.htm>

Schweizerische Verordnung vom 25. August 1999 über den Umgang mit Organismen in der Umwelt (Freisetzungsverordnung, FSV), (online, zitiert 19. Februar 2001). URL: [http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814\\_911.html](http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_911.html).

Wicks, Z. W., 2001: Principles of crop improvements [online, cited 20. February 2001]. URL: <http://www.abs.sdstate.edu/plantsci/teaching/ps383/breeding/tritcal.htm>.

### Kontakt

Dr. Othmar Kaeppli  
 Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen der Schweiz (BATS)  
 Clarastraße 13, CH-4058 Basel  
 Tel.: + 41 61 690 93 10; Fax: + 41 61 690 93 15  
 E-Mail: [kaeppli@bats.ch](mailto:kaeppli@bats.ch)  
 Internet: <http://www.bats.ch>; <http://www.bioweb.ch>

« »

## Information technologies and intensification of work – some results of the FLEXCOT-project\*

by Patricia Vendramin and Gérard Valencuc, Work & Technology Research Centre, FTU Namur, Belgium

**Research into flexible work practices linked to new communication technologies highlights that rhythms and intensification of work are key issues in work organisation and working conditions. Starting from results of the European FLEXCOT project – “Flexible Work Practices and Communication Technologies” –, this paper deals with the impacts of just-in-time production, on-line working, workflow integration, electronic performance monitoring, and the pressure from the clientele as important factors of the intensification of work.**

### Introduction

The article was written on the basis of results of the FLEXCOT (Flexible Work Practices and Communication Technology) research project. The project was carried out for the European Commission (DG XII) within the Targeted Socio-Economic Research programme (TSER), which is a part of the Fourth Framework Programme for research and technological development of the European Union. The two years project (1998-1999) was co-ordinated by Fondation Travail-Université, Namur in collaboration with other research centres from the University of Newcastle upon Tyne, the University of Paris North and the Fondazione Pietro Seveso, Milan. Two other research centres were also involved in the case studies: Centre for Tele-Information in Aarhus (Denmark) and Fundación de Estudios e Investigaciones Sociolaborales in Valencia (Spain).

The overall objective of the FLEXCOT project was to determine to what extent the new generation of information and communication technologies (ICTs) can be used in order to develop new flexible work practices, which would be socially more sustainable than the current ones. Following the analysis of the state of the art of current research, a series of case studies was carried out, focusing on four distinct sectors: printing and publishing, civil engineering, banking and insurance and decentralised health services. The case studies were carried out in six European countries (B, DK, F, I, E, UK).

### Some results of the FLEXCOT research project

“Sweat and strain” says the song, this still characterizes many workplaces today. In an economy where services constitute the driving force, where knowledge is a determinant factor of production, and where information and communication technologies pervade the working environment, working conditions are undergoing major transformations.

In an industrial society, the main threats to health and safety at work are material: machines, accidents, dangerous products, noise, hard physical labour, etc. In an information society, these threats have not disappeared, of