

Gentechnologie bei Pflanzen¹

Ingo Potrykus, ETH Zürich

In den vergangenen Jahren sind Methoden entwickelt worden, welche die Möglichkeit eröffnen, isolierte Erbfaktoren (Gene) in somatische Pflanzenzellen zu übertragen, und aus diesen genetisch veränderten Zellen vollständige Pflanzen zu regenerieren. Diese Pflanzen unterscheiden sich von den Ausgangspflanzen in der Regel nur in dem neuen, durch das übertragene Gen bedingte Merkmal. Das Fremdgen kann aus einer Pflanze oder aus anderen Organismen stammen. Sobald es in das Erbgut der Pflanzenzelle integriert ist, verhält es sich genau so wie ein Gen der Wirtspflanze. Das Fremdgen kann auch vor der Übertragung gezielt verändert werden, z. B. durch Änderung der Steuersignale, die darüber entscheiden, wo und wann das Gen aktiv wird. Gentechnologie bietet damit die Möglichkeit, Pflanzen sehr gezielt zu verändern. Dies wird von einem Teil der Bevölkerung als Chance, von einem anderen Teil als Gefahr gesehen. Vermutlich wird beides übertrieben. Gefahren auf der Grundlage transgener Pflanzen sind schwer zu erkennen, und die Möglichkeiten der Verbesserung von wichtigen Pflanzen bewegen sich in engen Grenzen.

Gene Technology with Plants

Methods have been developed during the recent years which open up the possibility to transfer isolated genes into somatic plant cells and to regenerate subsequently complete plants from these genetically altered cells. Such "transgenic" plants differ normally from the original plants only with regard to the novel character caused by the gene added. The "foreign" gene can originate either from a plant or from other organisms. As soon as it is integrated into the genome of the acceptor cell it behaves exactly like other original genes of the host plant. The foreign gene can also be changed prior to its transfer, e. g. by an alteration in the regulatory signals which decide where and when in the plant the gene will be activated. Gene technology thus offers possibilities for precise and predictable alterations of plants. This is understood by part of the population as great opportunity, by others as a big danger. Both views probably exaggerate. It is rather difficult to construct dangers on the basis of transgenic plants, and the possibilities for plant improvement via gene technology are rather limited.

1 Vorbemerkungen

1.1 Pflanzenzellen sind totipotent

Zellen in den unterschiedlichsten Geweben aller Grundorgane höherer Pflanzen (Blatt, Wurzel, Spross) können, bei einer ganzen Vielfalt von Arten und trotz abgeschlossener Differenzierung, noch über die Fähigkeit verfügen, zu einer vollständigen Pflanze heranzuwachsen. Dieses Phänomen der Totipotenz von Pflanzenzellen ist experimentell tausendfach bestätigt worden. Es beweist, dass die Regulation der Entwicklung bei Pflanzen nicht durch Genverlust, sondern über deren reversible Aktivierung und Inaktivierung erfolgt. Es erlaubt ferner die Folgerung, dass jede einzelne Pflanzenzelle die gesamte Erbinformation der Pflanze enthält. Und es eröffnet die experimentelle Möglichkeit, einen so komplexen und vielzelligen Organismus wie eine höhere

¹ Vortrag vom 28. November 1988 vor der Naturforschenden Gesellschaft Zürich. – Der Text wird auch aufgenommen in die Publikation von Maja Svilar und Richard Braun (Hrsg.): Gentechnologie. Chance oder Bedrohung. Verlag Peter Lang, Bern (im Druck), in der Reihe: Kulturhistorische Vorlesungen des Colloquium generale der Universität Bern.

Pflanze dadurch in allen Hunderten von Millionen Zellen genetisch zu verändern, dass man eine einzige Zelle verändert und daraus eine ganze Pflanze regeneriert.

1.2 Das Erbgut einer Pflanze entspricht einer Bibliothek mit 50 000 Seiten

Die Erbinformation einer Pflanze ist, wie die eines jeden Organismus, niedergeschrieben in Form einer Schrift mit chemischen Buchstaben. In der Reihenfolge der Buchstaben ist die Information über alle Merkmale der Pflanze und über die zeitliche und räumliche Aktivierung dieser Eigenschaften im Verlauf der Entwicklung niedergelegt. Ausschnitte der Erbinformation sind entziffert worden und können in Form einer Buchstabenschrift wiedergegeben werden. Die gesamte Information einer Zelle würde ca. 50 000 dicht beschriebene Seiten vom Format DIN A4 füllen. Einzelne Erbfaktoren sind in dieser Darstellung mehrere Zeilen bis etwa $\frac{1}{2}$ Seite lang. Die Steuersignale für die Regulation der Erbfaktoren flankieren diese und sind in der gleichen Schrift verfasst.

1.3 Pflanzenzüchtung durch Kreuzung vermischt ganze Bibliotheken

Pflanzenzüchtung bemüht sich um die Verbesserung von Kulturpflanzen durch Kombination von Merkmalen aus verschiedenen Rassen. Die biologische Grundlage dafür ist die gezielte Kombination von geschlechtlichen Fortpflanzungszellen (Gameten) im Kreuzungsexperiment. Kreuzung führt nur zu fortpflanzungsfähigen Nachkommen, wenn sie zwischen sexuell verträglichen Individuen erfolgt. Dies hat zur Folge, dass Merkmale nur innerhalb einer Art kombiniert werden können. Kreuzt man nun z. B. eine Kulturpflanze mit einer nahe verwandten Wildpflanze, um ein wertvolles Merkmal aus der Wildpflanze in die Kulturpflanze zu übertragen (z. B. «Resistenz gegen Schadpilze»), dann führt dies unausweichlich dazu, dass die 50 000 Seiten Erbinformation der Wildpflanze mit den 50 000 Seiten Erbinformation der Kulturpflanze vermischt werden. Die resultierenden Pflanzen sind als Kulturpflanzen völlig unbrauchbar. Durch 8–10 Jahre benötigende Rückkreuzungsserien mit der Kulturpflanze und Auswahl interessanter Pflanzen aus Hunderttausenden von Nachkommen muss deshalb solange das Gemisch der Erbinformationen aussortiert werden, bis schliesslich eine Pflanze gefunden ist, die ausser den 50 000 Seiten der Kulturpflanze nur noch wenige Seiten der Wildpflanze enthält, natürlich einschliesslich der Seite mit der Information für die Pilzresistenz.

1.4 Pflanzenzüchtung mit Gentechnologie könnte mit einzelnen Sätzen arbeiten

Gentechnologie könnte (theoretisch) die Merkmalsübertragung vereinfachen, präzisieren, und in den Möglichkeiten erweitern, wenn es gelänge, die erforder-

derlichen Methoden zu entwickeln. Die Strategie wäre einfach: Man isoliert aus der Erbinformation der Wildpflanze nur den Satz (oder die Sätze) mit der Information für die Pilzresistenz (a), überträgt nur diese Information in die 50 000 Seiten der Erbinformation einer Zelle der Kulturpflanze (b), und regeneriert aus dieser gezielt veränderten Zelle eine vollständige Pflanze. Da weder Genisolierung noch Genübertragung an biologische Schranken gebunden ist, könnte man das gewünschte Gen aus jeder beliebigen Pflanze (ja sogar jedem beliebigen Organismus) isolieren, nicht nur aus einer nahe verwandten Wildpflanzenart. Und man könnte das gleiche Gen in jede beliebige Kulturpflanze übertragen. Dies wäre alles prinzipiell möglich: Man hat Methoden zur Genisolierung, man verfügt über verschiedene Techniken der Genübertragung, und man hat bereits bei vielen Pflanzenarten aus Einzelzellen Pflanzen regeneriert. Trotzdem wäre dieses Experiment in der Praxis kaum durchführbar. Es würde z. Zt. bereits an der Isolierung des Pilzresistenzgens scheitern. Möglicherweise würde es auch an der Genübertragung versagen. Und es könnte sogar an der Regeneration aus Einzelzellen fehlschlagen. Dass etwas generell technisch möglich ist, bedeutet leider bei weitem nicht, dass es in jedem konkreten Fall machbar ist. Ein paar Beispiele werden dies später deutlich machen.

2 Gentransfer

2.1 Gentransfer ist bei weitem noch nicht bei allen Pflanzen möglich

Obwohl mehrere sehr wirkungsvolle Methoden für den Gentransfer in Pflanzen ausgearbeitet worden sind und an der Entwicklung weiterer, ergänzender Techniken gearbeitet wird, sind wir gegenwärtig mit der Situation konfrontiert, dass mit den wichtigsten Kulturpflanzen, wie z. B. den Getreiden und Hülsenfrüchtlern, Gentransfer noch gar nicht, oder nur in sehr beschränktem Mass möglich ist. Die am weitesten verbreitete Methode basiert auf einem natürlichen Gentransfermechanismus eines Bodenbakteriums (*Agrobacterium tumefaciens*). Dieses Bakterium hat einen biologischen Weg erfunden, Erbfaktoren in Pflanzenzellen einzuschleusen. Unter Ausnutzung dieses natürlichen Systems ist es nun möglich, jedes beliebige Gen durch das Bakterium in Pflanzen zu übertragen. Bedauerlicherweise funktioniert dies jedoch nicht bei allen Pflanzen und insbesondere nicht bei Getreiden. Aus diesem Grund hat man versucht, eine Methode zu erfinden, die von derartigen biologischen Unwägbarkeiten unabhängig ist. Dies gelang auf der Basis von isolierten, nackten Pflanzenzellen. Im folgenden Abschnitt wird diese Methode etwas ausführlicher beschrieben. Sie bietet insofern einen Fortschritt gegenüber der Bakterienmethode, als sie auch Gene in Getreidezellen übertragen kann. Sie ist aber für die praktische Anwendung nicht gut genug, weil das Problem nur von der Genübertragung auf die Pflanzenregeneration verlagert worden ist. Eine Reihe weiterer Ansätze wie z. B. «Mikroinjektion», «Makroinjektion», «Pol-

lentransformation», «Particle-Gun», «Elektroporation» u. a. haben z. T. vielversprechende Anfangserfolge erkennen lassen. Ob eine dieser Methoden jedoch einmal routinemässig einsetzbar sein wird, lässt sich gegenwärtig noch nicht abschätzen.

2.2 Isolierte Gene werden von nackten Pflanzenzellen aufgenommen

Am Beispiel dieser (in der Schweiz entwickelten) Methode des «direkten Gentransfers» soll erläutert werden, auf welche Weise ein neuer Erbfaktor in eine Pflanze eingebaut werden kann: Grundlage sind zellwandlose («nackte») Pflanzenzellen, die sogenannten «Protoplasten». Protoplasten können aus nahezu allen lebenden Pflanzengeweben isoliert werden, am einfachsten aus Blättern. Aus einzelnen Protoplasten lassen sich vollständige Pflanzen regenerieren. Um fremde Erbfaktoren in diese Protoplasten zu übertragen und stabil in das Erbgut einzubauen, genügt es, die Protoplasten gemeinsam mit den Erbfaktoren in einer wässrigen Lösung und in Gegenwart der einfachen chemischen Substanz Polyäthylenglycol zu baden. Polyäthylenglycol verändert das Erbgut der Pflanzenzelle weder direkt noch indirekt. Es ist an vielen Beispielen mit verschiedenen Pflanzen und Genen einwandfrei nachgewiesen worden, dass Pflanzen, die nach dieser Behandlung aufgezogen worden sind, das Fremdgen stabil in ihr Erbgut aufgenommen haben und dieses wie andere pflanzeigene Erbfaktoren nach den Mendelschen Regeln der Vererbung an die Nachkommen weitergeben. Das aufgenommene Gen unterscheidet sich in seinem Verhalten in keiner Weise von «normalen» Pflanzengen.

2.3 In der Phantasie lässt sich nun vieles machen, aber ...

Da man offensichtlich Gene isolieren und in Pflanzen übertragen kann, liegt die Schlussfolgerung nahe, dass man nun alles machen kann. Dies ist ein Trugschluss, dem leider nicht nur der Laie verfällt. Durch unsachliche Darstellung wissenschaftlicher Ergebnisse in den Medien hat sich in der Öffentlichkeit dieser falsche Eindruck festgesetzt. Bei Spekulationen darüber, auf welche Weise man die Gentechnologie einsetzen könnte, um Pflanzen zu verbessern, sind der Phantasie damit keine Grenzen gesetzt. In der Realität scheitern jedoch die schönsten Ideen sehr schnell an technischen Problemen. Einige Beispiele mögen dies illustrieren:

Nehmen wir an, man möchte (um beim oben erwähnten Beispiel zu bleiben) die Resistenz eines Wildgrases gegen Rostpilze in Weizen übertragen – ein sicherlich positiv zu bewertendes Vorhaben, da es die Möglichkeit eröffnen würde, den Einsatz von Fungiziden zu reduzieren. Dieses Vorhaben wäre gegenwärtig nicht zu realisieren, da man keine Möglichkeit hätte, das Gen (oder die Gene) für die Pilzresistenz zu isolieren, und weil man noch keine Methode gefunden hat, mit deren Hilfe man ein Gen in Weizen übertragen könnte. Bevor dieses interessante Experiment durchgeführt werden könnte,

müsste noch viel Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Identifizierung und Isolierung eines Gens dieses Typus betrieben werden. Und es müsste eine Methode erfunden worden sein, die effizienten Gentransfer in Weizen ermöglicht.

Oder stellen wir uns vor, man möchte eine Tomatensorte herstellen, die salzresistent ist und deshalb auf versalzten Böden wachsen kann. Dieses Projekt wäre schon etwas realistischer, weil die Genübertragung in Tomaten kein Problem mehr wäre. Im Hinblick auf die Identifizierung und Isolierung der Gene für Salzresistenz wäre man aber in der gleichen Situation wie oben. Man würde zusätzlich vermuten, dass mehrere Gene übertragen werden müssten – ein weiteres technisches Problem.

Wie wäre es, wenn man die ernährungsphysiologische Qualität der Speicherproteine in Rapssamen verbessern möchte, indem man einige unwichtige Aminosäuren durch wertvolle Aminosäuren ersetzt. Für dieses Experiment hätten wir bereits eine Menge wichtiger Grundlagen: Gentransfer in Raps ist eine Routinetechnik; die Erbfaktoren für einige Speicherproteine sind genetisch charakterisiert, und einige Gene sind isoliert und in ihrer detaillierten Struktur aufgeklärt. Man müsste also nur noch die Information für ein paar Aminosäuren herausnehmen und durch die Information für andere Aminosäuren ersetzen. Technisch wäre dies machbar. Man weiss jedoch noch nicht, in welchem Bereich des Proteins man diese Änderung vornehmen darf, ohne die Eigenschaften für deren spezifische Speicherung in Zellorganellen zu stören. Selbst in diesem Experiment, für welches eigentlich alle Grundlagen zur Verfügung stünden, ist noch weitere Grundlagenforschung notwendig, bevor es praxisreif ist.

Ein letztes Beispiel, bei dem alle technischen Probleme gelöst waren, und welches trotzdem zu keinem positiven Ergebnis geführt hat, ist insofern lehrreich, als es zeigt, dass die Biologie von sich aus dafür sorgt, «dass die Bäume nicht in den Himmel wachsen». Man hatte ein Gen aus einem arktischen Fisch isoliert, welches diesen Fisch dadurch frostresistent macht, dass ein Protein gebildet wird, welches Eiskristallbildung stört. Man wollte testen, ob man mit diesem Gen auch Pflanzen kälteresistent machen könnte. Pflanzenzellen, welche dieses Gen aufgenommen und integriert hatten, vermehrten sich und exprimierten das Gen, aber das Protein konnte in den Zellen nicht nachgewiesen werden. Offensichtlich wurde dieses Protein von den Pflanzenzellen nicht toleriert und sofort abgebaut.

Die angeführten Beispiele lassen leicht erkennen, dass man von der neuen Technologie keine Wunder erwarten sollte und dass man sich bei der Beurteilung der Gentechnologie aus dem Bereich der «Science-fiction» wieder in die Realität zurückbegeben sollte. Was ist nun die Realität der Gentechnologie mit Pflanzen?

3 Gentechnologie

3.1 Anwendung der Gentechnologie ist bisher auf wenige Beispiele beschränkt

Im Hinblick auf die praktische Anwendung der Gentechnologie in der Pflanzenzüchtung beschränken sich die Erfolge im wesentlichen auf drei Bereiche:

Virusresistenz: Pflanzenviren können den Ertrag von Kulturpflanzen stark reduzieren und bei vegetativ vermehrten Arten zum Verlust wertvoller Sorten führen. Aus der Erfahrung der Virusbekämpfung war das Phänomen der «cross-protection» bekannt – Infektion einer Pflanze mit einem «milden» Virusstamm kann eine Pflanze gegen einen aggressiven Virusstamm schützen. Es ist nun gelungen, das Virusgen, welches das Phänomen verursacht, zu isolieren, dieses Gen stabil in das Erbgut von Pflanzen einzubauen, und auf diese Weise Pflanzensorten zu gewinnen, welche durch Virusbefall nur noch geringfügig geschädigt werden. Dies wurde mittlerweile erfolgreich durchgeführt mit fünf verschiedenen Virusarten und vier verschiedenen Pflanzenarten. Es kann deshalb vermutet werden, dass dieses Prinzip des Virusschutzes relativ breit anwendbar sein könnte (für Pflanzen, in die man Gene übertragen kann, also z. Zt. nicht auf Getreide).

Raupenresistenz: Es gibt eine Reihe von Schmetterlingsarten, die auf Kulturfleichen unerwünscht sind, weil ihre Raupen sich von den Kulturpflanzen ernähren. Bekämpft werden diese «Schädlinge» mit chemischen Insektiziden. Seit vielen Jahren hat man auch positive Erfahrung mit einem biologischen Insektizid gesammelt: Ein Bakterium (*Bazillus thuringensis*) produziert ein Protein, welches im Darm von Raupen modifiziert wird und dann für die Raupen toxisch ist. Insektenbekämpfung auf dieser Basis erfolgt durch Grossproduktion der Bakterien und deren Versprühen auf von Raupen befallene Kulturen. Die Idee lag nahe, zu versuchen, mit Hilfe der Gentechnologie das bakterielle Gen für dieses Protein stabil in Pflanzen einzubauen, um die Pflanzen selbst durch Eigenproduktion des Proteins resistent gegen Raupenfrass zu machen. Dies ist gelungen. Es gibt bereits mehrere Kulturpflanzen, welche auf diese Weise raupenresistent gemacht worden sind. Auch hier lässt sich vorhersagen, dass dies vermutlich bei allen Pflanzen durchführbar sein wird, in die Gene übertragen werden zu können.

Herbizidresistenz: Herbizide sind Substanzen zur Unkrautbekämpfung. Unterschiede in der Empfindlichkeit von Kulturpflanzen und «Unkräutern» werden ausgenutzt, um Kulturen unkrautfrei zu halten. Der Nachweis von Atrazin im Trinkwasser hat die Bevölkerung für die Problematik des Herbizideinsatzes sensibilisiert. Aus diesem Grund stösst auch die Idee, herbizidresistente Kulturpflanzen herzustellen, auf Ablehnung. Es wird befürchtet, dass dies dazu führt, dass die Umwelt durch noch mehr Herbizide belastet wird. Dies wäre unerwünscht und müsste verhindert werden. Deswegen aber eine Entwicklung in Richtung Herbizidresistenz generell abzulehnen, wäre falsch,

da gute Aussichten bestehen, dass die Herbizidresistenz auf eine ökologisch positive Richtung zusteuert: Es existieren Herbizide, die in sehr geringen Mengen wirksam sind und schnell zu unbedenklichen Spaltprodukten abgebaut werden. Diese Herbizide konnten bisher nicht angewandt werden, weil sie auch die Kulturpflanzen töten. Wenn man die Kulturpflanzen resistent machen könnte gegen diese Gruppe von Herbiziden, könnten Unkräuter ökologisch sehr viel schonender bekämpft werden. Durch Identifizierung von Resistenzgenen gegen einzelne dieser neuen Herbizide in Bakterien und Pilzen, Isolierung dieser Gene und deren Einbau in verschiedene Kulturpflanzen hat man solche herbizidresistenten Pflanzen gewonnen.

Virusresistente, insektenresistente und herbizidresistente Pflanzen werden seit über einem Jahr in Feldversuchen auf ihre ökologische Unbedenklichkeit und auf ihre Wirtschaftlichkeit getestet. Diese Versuche erfolgen mit der Bewilligung staatlicher Aufsichtsgremien und unter Bedingungen, die mögliche ökologische Risiken praktisch ausschliessen.

3.2 Reale Gefahren mit transgenen Pflanzen sind bisher nicht zu erkennen

Ist Gentechnologie mit Pflanzen wirklich so gefährlich, wie es durch Gegner der Gentechnologie gern behauptet wird? Muss die Bevölkerung befürchten, dass ähnlich grosse Risiken auf sie zukommen, wie bei der Anwendung der Kernspaltung? Gibt es irgendeine Denkmöglichkeit, nach der eine gentechnologisch veränderte Pflanze eine unkontrollierbare Gefahr für den Menschen oder die Umwelt heraufbeschwören könnte? Wenn man sich die Mühe macht, eine Vielzahl möglicher Szenarien zu erfinden und zu durchdenken, kommt man zu dem Ergebnis, dass man die grösste Mühe hat, eine Gefahr zu konstruieren. Dem Autor ist dies noch nicht gelungen und offensichtlich haben auch andere Schwierigkeiten, eine konkrete Gefahr im obigen Sinne anzugeben. Ein Überdenken der möglichen Risiken, die mit konkreten Fällen verknüpft sein könnten, mag hilfreich sein bei der Beurteilung der Situation. Wir hatten gesehen, dass gentechnologisch gewonnene Pflanzen mit Virusresistenz, Raupenresistenz und Herbizidresistenz in Feldversuchen getestet werden. Die Feldversuche erfolgen mit der Bewilligung nationaler Aufsichtsgremien, welche nach reiflicher Erwägung aller denkbaren Risiken zur Überzeugung gelangten, dass die Feldversuche sinnvoll und ungefährlich sind. Die transgenen Pflanzen dürfen zunächst allerdings nur unter bestimmten Auflagen im Feld angebaut werden: a) Auf benachbarten Feldern dürfen gleichzeitig keine nahe verwandten Arten wachsen, um die Möglichkeit der Verbreitung des Fremdgens durch den Blütenstaub auszuschliessen. b) Es muss gewährleistet sein, dass durch Fremdbestäubung das Gen nicht in Unkräuter gelangen kann. c) Samen oder Früchte müssen so geerntet werden, dass keine Nachkommen in die Umgebung des Versuchsfeldes gelangen können. d) Das Versuchsmaterial muss am Ende des Versuchs abgetötet werden. e) Bevor transgenes Pflanzenmaterial für die menschliche oder tierische Ernährung freigege-

ben werden kann, muss durch aufwendige, toxikologische Untersuchungen festgestellt worden sein, dass nichts Unvorhergesehenes in der Pflanze geschehen ist, was nachteilig für Mensch oder Tier wäre. Beweisen aber nicht gerade diese Vorschriften, dass die transgenen Pflanzen gefährlich sein können? Nein, sie zeigen jedoch, wie ernst die Bewilligungsgremien ihre Aufgabe nehmen, und wie sehr man bemüht ist, am Beginn der Entwicklung jedes nur denkbare Risiko zu vermeiden. Was könnte passieren, wenn jemand ohne Bewilligung oder unter Umgehung der Vorschriften transgene Pflanzen im Feld anbauen würde? Ein Risiko für den Menschen ergäbe sich dann, wenn toxisches Pflanzenmaterial ungeprüft verkauft werden könnte. Zum Verkauf sind nur geprüfte Sorten zugelassen. Wenn eine neue Sorte registriert werden soll, muss nachgewiesen werden, wie sie hergestellt worden ist. Besteht eine Gefahr, wenn jemand absichtlich etwas Böses tun möchte, wenn z.B. die kriminelle Absicht besteht, Menschen zu schaden, indem man ein Giftgen in eine Nahrungspflanze einbaut, um vergiftete Nahrung zu verkaufen? Abgesehen davon, dass neue Sorten zum Verkauf zugelassen werden müssen und dies die oben beschriebenen Prüfungen voraussetzt: wenn jemand so etwas tun möchte, gibt es wesentlich einfachere Methoden als die Gentechnologie. Wie könnte die Umwelt gefährdet werden, wenn transgene Pflanzen unbewilligt und ohne die gegenwärtig geforderten Vorsichtsmassnahmen freigesetzt werden? Anhand des Merkmals «Herbizidresistenz», das in diesem Zusammenhang vielen Mitbürgern die unsympathischste Denkmöglichkeit darstellt, soll versucht werden, ein Szenario durchzudenken. Vier «Gefahren» werden immer wieder angeführt: a) Die herbizidresistente Kulturpflanze dringt in natürliche Biotop ein und verdrängt dort Wildpflanzen. b) Durch Fremdbestäubung gelangt Pollen (und damit das Gen) in eine Wildpflanze und macht diese herbizidresistent. c) Auf dem Feld, auf dem die herbizidresistente Kulturpflanze angebaut wird, entstehen wegen der Herbizidbehandlung spontan herbizidresistente Unkräuter. d) Es kommt zu einem übermässigen Herbizideinsatz und damit zu einer Verseuchung des Grundwassers. Selbst wenn jemand böswillig ein natürliches Biotop zerstören wollte und dafür eine herbizidresistente Kulturpflanze in dem Biotop anbauen würde, würde dies nicht zu einer Ausbreitung der Kulturpflanze, sondern zu deren Verschwinden führen. Die herbizidresistente Kulturpflanze hätte in einem natürlichen Biotop nur dann einen Selektionsvorteil, wenn man das Biotop mit dem Herbizid behandeln würde, gegen das die Kulturpflanze resistent ist. Wenn man ein natürliches Biotop mit diesem Herbizid zerstören will, braucht man nicht zusätzlich die Kulturpflanze einzubringen (a). Wenn eine Wildpflanze durch Bestäubung mit einer Kulturpflanze Nachkommen bekommt, die zur Hälfte das Kulturpflanzenerbgut enthalten, werden diese Nachkommen aller Wahrscheinlichkeit nach den vollwertigen Wildpflanzen gegenüber im Biotop unterlegen sein und schnell verdrängt werden. Falls dies nicht der Fall sein sollte, haben diese herbizidresistenten «Wild/Kulturpflanzen» im natürlichen Biotop nur einen Selektionsvorteil, wenn das Biotop mit dem spezifischen

Herbizid behandelt wird. Die Wildpflanze hätte also sogar einen ökologischen Vorteil gewonnen, falls jemand auf die Idee käme, das Biotop mit dem Herbizid zu vergiften (b). Der Einsatz von Herbiziden kann zur Ausbildung herbizidresistenter Unkräuter führen. In dieser Beziehung machen wohl auch die neuen Totalherbizide prinzipiell keine Ausnahme. Da es nur sinnvoll ist, diese Herbizide einzusetzen, wenn man über resistente Kulturpflanzen verfügt, und da man diese Pflanzen vorerst nur gentechnologisch entwickeln kann, besteht ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Gentechnologie und voraussagbarer Entstehung neuer herbizidresistenter Unkräuter. Ist dies jedoch eine «unkontrollierbare» Gefahr für die Umwelt? Weder die Kulturpflanzen noch die durch Herbizidbehandlung selektionierten möglichen resistenten Unkräuter sind allgemein herbizidresistent. Sie sind resistent gegen ein ganz spezifisches Herbizid und können deshalb mit anderen Herbiziden bekämpft werden. Und selbst wenn überhaupt kein Herbizid mehr helfen würde, könnte man das Unkraut durch Jäten entfernen. Das Schlimmste, was auftreten könnte, wäre also ein beschränkter, ökonomischer Schaden, aber keine unkontrollierbare, ökologische Gefahr (c). Muss erwartet werden, dass wegen der Entwicklung herbizidresistenter Kulturpflanzen mehr (und natürlich unbedenklich) Herbizide eingesetzt werden? Selbst dies ist kaum zu befürchten, und es wäre ausserdem kontrollierbar. Ganz im Gegensatz zur Befürchtung ist zu erwarten, dass sich die Herbizidsituation entschärfen wird: Die neue Möglichkeit, Kulturpflanzen gentechnologisch resistent zu machen gegen spezifische Herbizide, eröffnet die Gelegenheit, eine neue Klasse von Herbiziden weiterzuentwickeln und einzusetzen, welche bisher, wegen der fehlenden Resistenz in Kulturpflanzen, nicht verwendet werden konnten. Diese Herbizide bringen für die Anwendung ökologische Vorteile und nicht Nachteile. Sie sind in wesentlich geringeren Mengen aktiv, werden viel schneller in der Natur abgebaut, zu Abbauprodukten, welche biologisch völlig harmlos sind, und sie können sehr viel gezielter und damit schonender eingesetzt werden. Selbstverständlich muss vor einer Freigabe dieser neuen Herbizide untersucht werden, welchen Einfluss sie auf die Mikrofauna und Mikroflora des Bodens haben könnten.

Die oben diskutierten Beispiele repräsentieren selbstverständlich nur einen kleinen Ausschnitt dessen, was gentechnologisch machbar wäre. Ausserdem wurden die möglichen Konsequenzen nur andiskutiert und nicht bis zu Ende ausdiskutiert. Dies ist auch in dem vorgegebenen Rahmen nicht möglich. Der Autor hat jedoch in den vergangenen drei Jahren in vielen Diskussionen mit einem engagierten Laienpublikum und in ausführlichen Fachdiskussionen mit Kollegen und Mitarbeitern keine einziges «gefährliches» Szenario entwickeln können. Deshalb erscheint es gerechtfertigt, anzunehmen, dass von transgenen Pflanzen keine unkontrollierbare und einer Atombombe oder einem Reaktorunfall vergleichbare Gefahr ausgeht. Da zusätzlich gentechnologische Arbeit mit Pflanzen, je nach denkbarem Risiko, unter mehr oder weniger aufwendigen Sicherheitsvorkehrungen durchgeführt wird, und der Anbau von

veränderten Pflanzen die Bewilligung einer unabhängigen Bundesbehörde benötigt, scheint es auch berechtigt, festzustellen, dass es keinen sachlichen Grund für eine Beunruhigung wegen möglicher unkontrollierbarer Gefahren gibt. Es wäre dankenswert, wenn diejenigen, welche mit dem Argument der Gefahr gegen die Gentechnologie mit Pflanzen argumentieren, ein oder einige konkrete Beispiele anführen könnten.

4 Literatur

Handbücher

- D. A. Evans, et. al., Handbook of Plant Cell Culture, Volume 1–4, Macmillan Publishing Company, New York 1983.
- K. J. Puite, et. al., Progress in Plant Protoplast Research, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1988.
- J.-P. Zryd, Cultures de Cellules, Tissus et Organes Végétaux, Presses Polytechniques Romandes, Lausanne 1988.
- Peter R. Day, Biotechnology and Crop Improvement and Protection, The British Crop Protection Council, Thornton Heath 1986.
- W. Horn, et. al., Genetic Manipulation in Plant Breeding, Walter de Gruyter, Berlin 1986.
- Th. Hohn and J. Schell, Plant DNA Infectious Agents, Springer Verlag, Wien 1987.

Originalpublikationen

- J. Paszkowski, et. al., Direct gene transfer to plants, EMBO, J., 3: 2717 (1984).
- I. Potrykus, et. al., Molecular and general genetics of a hybrid foreign gene introduced into tobacco by direct gene transfer, Mol Gen Genet, 199: 169 (1985).
- I. Potrykus, et. al., Direct gene transfer: State of the art and future potential, Plant Molecular Biology Reporter, 3: 117 (1985).
- W. De Greef, et. al., Evaluation of herbicide resistance in transgenic crops under field conditions, Bio/Technology, 7: 61 (1989).
- R. S. Nelson, et. al., Virus tolerance, plant growth and field performance of transgenic tomato plants expressing coat protein from tobacco Mosaic Virus, Bio/Technology, 6: 403 (1988).
- D. A. Fischhoff, et. al., Insect tolerant transgenic tomato plants, Bio/Technology, 5: 807 (1987).
- D. E. McCabe, et. al. Stable transformation of soybean (Glycine Max) by particle acceleration, Bio/Technology, 6: 923 (1988).
- K. Shimamoto, et. al., Fertile transgenic rice plants regenerated from transformed protoplast, Nature, 338: 274 (1989).
- C. A. Rhodes, et. al., Plant regeneration from protoplasts isolated from embryogenic maize cell cultures, Bio/Technology, 6: 56 (1988).
- J. Davison, Plant beneficial bacteria, Bio/Technology, 6: 282 (1988).
- S. D. Tanksley, et. al., RFLP mapping in plant breeding: New tools for an old science, Bio/Technology, 7: 257 (1989).