

Grüne Gentechnologie

Eine zweite Grüne Revolution?

**Eine populärwissenschaftliche Einführung in
eine aktuelle Kontroverse**

von

Dr. Jürgen Ruff

Konstanz

im Jahre 1996

Grüne Gentechnologie - eine zweite Grüne Revolution?

- 1.1 Gentechnik und Pflanzen - die "Grüne Gentechnologie"
- 1.2 Die 70er Jahre - die erste Grüne Revolution
- 1.3 Die Grüne Gentechnik zwischen den Fronten
- 1.4 Wechselwirkungen zwingen zu verantwortungsbewußten Entscheidungen
- 2 Züchten mit Gentechnik - was ist neu an einer der ältesten Kulturleistungen der Menschheit?
- 3 Die Grundtechniken
 - 3.1 Die DNA - das Erbgutmolekül aller Lebewesen
 - 3.2 Die Neukombination von DNA - das Grundprinzip der Gentechnik
 - 3.3 Wie kommt fremde DNA in die Pflanze?
 - 3.3.1 *Agrobacterium tumefaciens* - der entwaffnete Pflanzentumorerreger
 - 3.3.2 Totipotenz - aus jeder Zelle eine neue Pflanze
 - 3.3.3 Mit Kanonen auf Spatzen - die Gen-Kügelchen
 - 3.3.4 Aus zwei mach eins - die Protoplastenfusion
- 4 Die Ziele und deren Einschätzung
 - 4.1 Herbizidresistenz
 - 4.1.1 Beispiel Atrazin-Resistenz
 - 4.1.2 Beispiel Basta[®]-Resistenz
 - 4.1.3 Beispiel Roundup - Glyphosat-Resistenz
 - 4.2 Insektenresistenz
 - 4.3 Virusresistenz
 - 4.4 Eigenschaftsänderungen
 - 4.4.1 Andere Länder - andere Ziele
 - 4.5 Pflanzen als Produktionsstätten
- 5 Schlußbemerkungen
 - 5.1 Ein letztes Wort zum Thema "Zweite Grüne Revolution"

Grüne Gentechnologie - eine zweite Grüne Revolution?

1.1 Gentechnik und Pflanzen - die "Grüne Gentechnologie"

Vor etwa 25 Jahren fiel der Startschuß: neue biologische Forschungswerkzeuge auf molekularer Ebene wurden entdeckt und nutzbar gemacht. Dies führte zur rasanten Entwicklung eines breiten Methodenspektrums, das man allgemein unter dem Stichwort Gentechnologie zusammenfaßt. Schon bald dienten die ständig verbesserten und erweiterten Methoden nicht mehr nur zu reinen Forschungszwecken, sondern zur gezielten Veränderung von lebenden Organismen und daraus erzeugten Produkten. Unter Gentechnologie versteht man also heute die Isolierung, d. h. Präparation und Identifizierung, die Charakterisierung, d. h. Lokalisierung und Sequenzierung, und die Neukombination von Erbgut, eben der DNA. Die Einsatzgebiete für die neuen Techniken liegen bisher in den Bereichen Pharmazie, Medizin, Tierzucht und eben auch Pflanzenzucht. Im letzten Fall spricht man von "Grüner Gentechnologie".

1.2 Die 70er Jahre - die erste Grüne Revolution

Das neue Methodenarsenal versprach Umwälzendes. So ist denn der Schritt von der Grünen Gentechnologie zur Grünen Revolution zumindest in sprachlicher Hinsicht nur ein kleiner, zumal die Wurzeln beider Begriffe in den frühen 70er Jahren liegen (im Gegensatz zur Entstehung der Partei der GRÜNEN in den 80er Jahren, die mit den beiden anderen Grün-Begriffen wohl allenfalls als Gegner in Verbindung gebracht werden möchte). Auch die Argumentation ihrer Protagonisten gleicht sich in vielen Bereichen. Sollte es bei der ersten Grünen Revolution um nicht mehr und nicht weniger als die Beseitigung des Welthungers - insbesondere den in der sogenannten Dritten Welt - gehen, so wird auch heute vor neuen Hungerkatastrophen gewarnt, wenn für den Einsatz der Gentechnik in der Pflanzenzucht geworben wird. Doch man ist vorsichtiger geworden. Sind doch viele Entwicklungsprojekte der Grünen Revolution trotz zahlreicher Verbesserungen gemessen an ihren Ansprüchen allzuoft gescheitert oder haben sich gar durch vorher nicht bedachte Folgewirkungen in ihr Gegenteil verkehrt - z. B. anfällige Monokulturen, die die wichtige genetische Vielfalt in Ländern wie Äthiopien oder Indien nahezu vollständig zerstörten und am Ende zu erneutem Hunger führten. Ob also die Grüne Gentechnologie zu einer zweiten Grünen Revolution führen wird - im positiven wie im negativen Sinne - ist heute noch nicht abzusehen. Die neuen Konflikt- und Argumentationslinien jedenfalls verlaufen anders: sie verlaufen hier in den Industriestaaten und haben mit Entwicklungshilfe oder Technikexport für Entwicklungsländer auch kaum etwas zu tun.

1.3 Die Grüne Gentechnik zwischen den Fronten

Das Spannungsfeld, in dem sich die Grüne Gentechnik befindet, ist durch zwei Pole gekennzeichnet. Zum einen sind da die hohen Erwartungen auf Seiten der Wirtschaft, deren Hoffnungen auf schnelle und hohe Gewinne analog zur Silicon-Valley-Erfolgs-Story sich bis heute in keiner Weise - bis auf wenige einzelne Ausnahmen - erfüllt haben. Zum anderen finden sich große mehr oder weniger begründete Ängste auf Seiten der Kritiker und einer sensibler gewordenen Öffentlichkeit. So sieht sich ausgerechnet die Risikoforschung im Bereich der Grünen Gentechnik heute in der Klemme: der Wirtschaft ist sie zu hinderlich, die Erforschung möglicher Gefahren und Risiken verzögere nur noch weiter die Realisierung der erhofften Gewinne; den Kritikern ist sie zu positiv, könnte sie doch die vorgebrachten Bedenken entkräften und damit in ihren Augen zur Akzeptanz der ungeliebten Technik beitragen. Und so kommt es, daß grüne Risikoforschung auf der einen Seite als unnötig abqualifiziert wird und auf der anderen Seite für diese Forschung wichtige Versuchsfreisetzungsflächen verwüstet werden.

Zurück bleibt in diesem Spannungsfeld eine weitgehend verunsicherte Öffentlichkeit, die nicht weiß, wie sie diese Techniken bewertend einordnen und was sie von den neuen Produkten, die ja immerhin in der Regel als neue Nahrungsmittel auf den Verbrauchermarkt kommen, halten soll.

1.4 Wechselwirkungen zwingen zu verantwortungsbewußten Entscheidungen

Um in dem oben kurz skizzierten Spannungsfeld zu begründeten und verantwortungsbewußten Entscheidungen zu kommen, muß zunächst eine Vielzahl von gesellschaftlichen Prozessen und Wechselwirkungen durchlaufen werden, die das pluralistische Umfeld, in dem heute Technikentwicklung und Technikeinsatz betrieben werden, bestimmen. Das grobe Schema in Abbildung 1 mag dabei ein wenig zur Veranschaulichung dienen.

Durch die Anwendung von Gentechnik in der Pflanzenzucht sollen Ziele erreicht werden, die zum Teil sehr alt sind (z. B. Ertragssteigerungen), zum Teil aber bis vor einigen Jahren nicht einmal formuliert werden konnten, da ihre Verwirklichung undenkbar schien, wie die Übertragung von Eigenschaften aus völlig anderen Organismen in bestimmte Pflanzenarten. Solchen Zielen und damit beabsichtigten Folgen der Gentechnikanwendung stehen Wirkungen auf ganz anderen Feldern gegenüber, die oft unerwünscht vor allem aber vor ihrem Eintreten oft unerkannt sind. Von vielen denkbaren Wirkungsfeldern seien hier nur die weiten Bereiche der Ökologie, der Ökonomie, der Verbraucherebene und der weltweiten

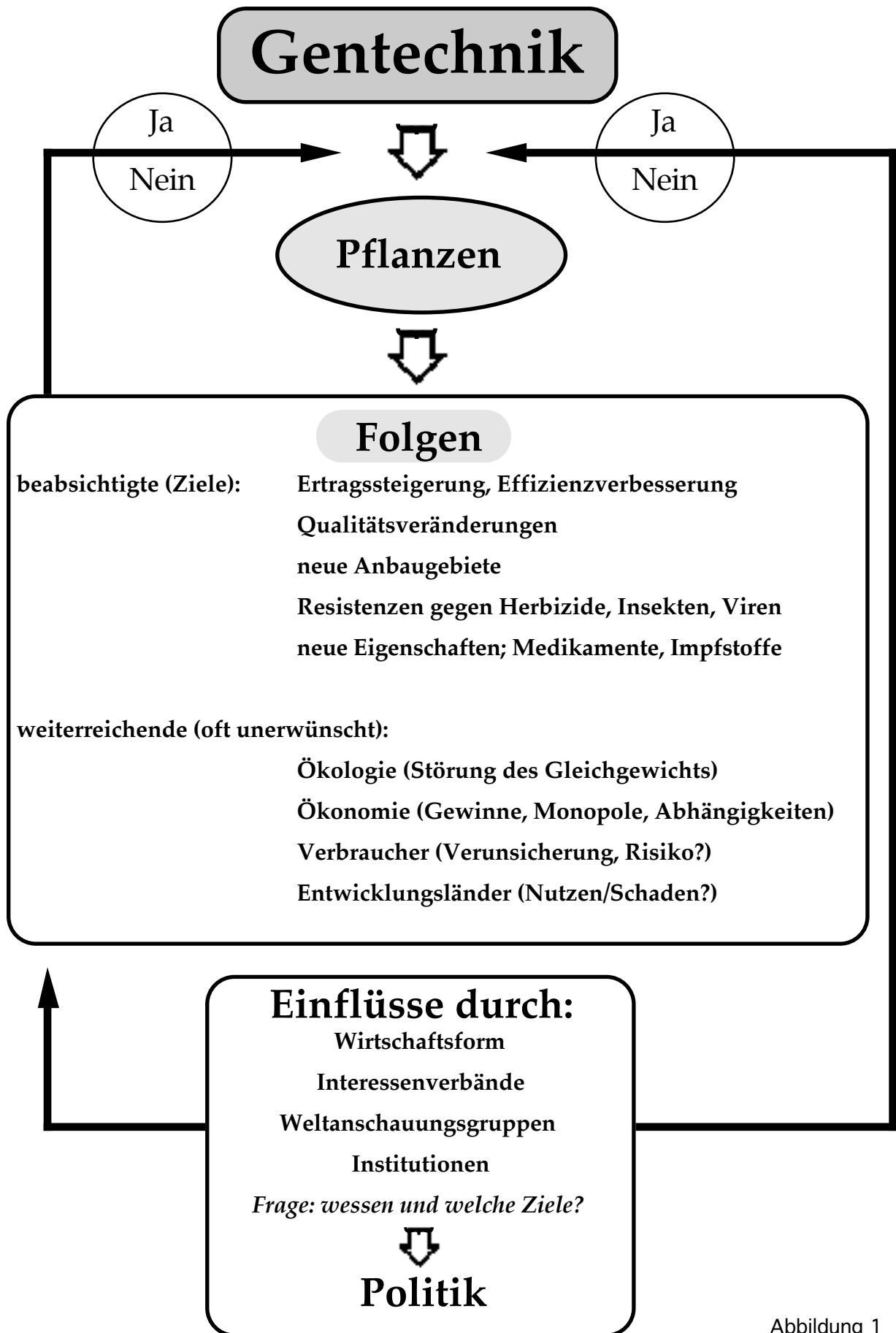


Abbildung 1

Auswirkungen z. B. auf Entwicklungsländer genannt. Oft sind es nun aber nicht die an der Anwendung arbeitenden Wissenschaftler, die die dadurch möglicherweise entstehenden negativen Folgen erkennen und benennen, sondern ganz andere Gruppen, die darauf aufmerksam machen. Das können Wissenschaftler anderer Fachrichtungen ebenso sein, wie betroffene Bürger aus Verbraucherverbänden, Weltanschauungsgruppen, Wirtschaftsverbänden und viele andere mehr. Alle versuchen, Einfluß zu nehmen auf die Entscheidung, ob eine zur Debatte stehende Technikanwendung in diesem oder jenem Fall erfolgen soll oder nicht. Die Frage im Hintergrund wird dabei immer lauten: welche Ziele werden verfolgt und wessen Ziele sind das eigentlich. Der Ort, an dem in einer demokratisch verfaßten pluralistischen Gesellschaft wie der unseren die widerstreitenden Interessen aufzugreifen und auszugleichen wären, um schließlich nach dem Austausch von (wünschenswerterweise wissensbasierten) Argumenten zu einer Entscheidung auf möglichst breiter Grundlage zu gelangen, wäre klassischerweise die Politik und sollte es auch sein. Dabei sollte Politik selbstverständlich nicht reduziert auf Parteien und Parlamente gesehen werden, sondern auch Bürgerinitiativen, Anhörungsverfahren, Bürgerentscheide, Demonstrationen und andere Arenen der politischen Auseinandersetzung umfassen. Dennoch oder gerade deshalb werden die Entscheidungen, die am Ende solcher Prozesse stehen (sollten!), in der heutigen Zeit immer Kompromisse sein müssen. So obliegt es also nicht dem Anwender alleine, sondern im Grunde der gesamten Gesellschaft, zu entscheiden, ob etwas und was letzten Endes gemacht werden soll. Die Verantwortung dafür liegt bei uns allen; ob wir auch alle bereit sind, diese Verantwortung anzunehmen, ist eine andere Frage und bleibt der politischen Diskussion überlassen. Wie auch immer eine Entscheidung am Ende aussehen mag, es wird keine Entscheidung für oder gegen Gentechnik im allgemeinen sein, sondern lediglich, ob sie in dem zur Debatte stehenden Fall angewandt werden soll oder eben nicht.

2 Züchten mit Gentechnik - was ist neu an einer der ältesten Kulturleistungen der Menschheit?

Seit Menschen die ersten Wildtiere domestizierten und beim Seßhaftwerden die ersten Gräser zur effizienteren Nahrungsmittelgewinnung anbauten, gehört die Züchtung neuer und für menschliche Zwecke geeigneterer Arten zum Kulturgut der Menschheit. So kam es, daß vor Jahrtausenden indianische Stämme im Gebiet des heutigen Mexiko aus dem bis zu vier Meter hoch wachsenden Süßgras Theosinte die mit vergleichsweise gigantischen Fruchtständen, den Maiskolben, ausgestattete Maispflanze schufen. Erst dadurch erhielt diese ihre Bedeutung als Grundnahrungsmittel. Was solchen Züchtungen immer zugrunde lag und liegt, ist eine Erbgutveränderung und die anschließende Auswahl und Weitervermehrung derjenigen neuen Eigenschaften, die vorteilhaft erscheinen. Obwohl über die Natur des Erbguts und der Vererbung praktisch nichts bekannt war, machte man sich des-sen Gesetzmäßigkeiten schon früh und durchaus zielgerichtet zunutze. Die Veränderung des Erbguts allein kann es also nicht sein, was moderne Züchtung mit Methoden der Gentechnik in den Augen vieler

Menschen so besorgniserregend, ja frevelhaft erscheinen läßt. Was nun tatsächlich neu ist an gentechnischer Züchtung im Vergleich zu klassischer Züchtung, soll Abbildung 2, in der beide Wege einander gegenübergestellt sind, verdeutlichen.

Der zentrale Unterschied zur klassischen Züchtung besteht darin, daß prinzipiell das genetische Material aller Organismen zur Neukombination zur Verfügung steht und nicht jeweils nur das relativ nahe verwandter Arten, die miteinander gekreuzt werden können. So können unter Anwendung neuester gentechnischer Verfahren nicht nur enge Artgrenzen überschritten werden, sondern auch die hohen Barrieren zwischen den großen Gruppen der Pflanzen, Tiere und Bakterien. Das größte Problem dabei ist, ob das neukombinierte genetische Material in seiner neuen genetischen Umgebung auch die erwünschte Wirkung ergibt. Es geht also im Grunde darum, solche Gene zu isolieren und für die Neukombination auszuwählen, die die gewünschten Eigenschaften vermitteln und nicht mehr allein um die Auswahl ganzer Pflanzen mit bestimmten Eigenschaften, die dann zur Kreuzung vorgesehen sind.

Dadurch, daß bei den neuen Verfahren nicht mehr mit den Eigenschaften selbst, sondern mit den genetischen Programmen dafür gearbeitet wird, kann zielgerichteter vorgegangen werden. Daraus ergibt sich ein Zeitersparnis, die aber im Vergleich zu den auf beiden Wegen notwendigen viel zeitraubenderen anschließenden Selektions- und Prüfungsverfahren kaum ins Gewicht fallen dürfte. Allerdings kennt der moderne Pflanzengenetiker das, was er auf genetischer Ebene verändert, genauer als der klassische Züchter, der letzten Endes dasselbe macht. Ob das Wissen ausreicht, alle möglichen Folgen exakt abschätzen zu können, ist eine andere Frage. Jedenfalls versucht man heute auch in deutschen Forschungsinstituten herauszufinden, welche genetischen Veränderungen vor Jahrtausenden zu den unnatürlich (weil in der Natur unnötigen) großen Maiskolben geführt haben, während man dies bei den nun durchgeführten Versuchen, z. B. Mais gegen bestimmte Herbizide resistent zu machen, schon weiß. Der entscheidende Unterschied besteht eben darin, daß die uralte Maiskolbenzucht innerhalb einer Pflanzengattung erfolgte, während die genetischen Programme für Herbizidresistenzen aus ganz anderen Arten, z. B. auch Bakterien, stammen können.

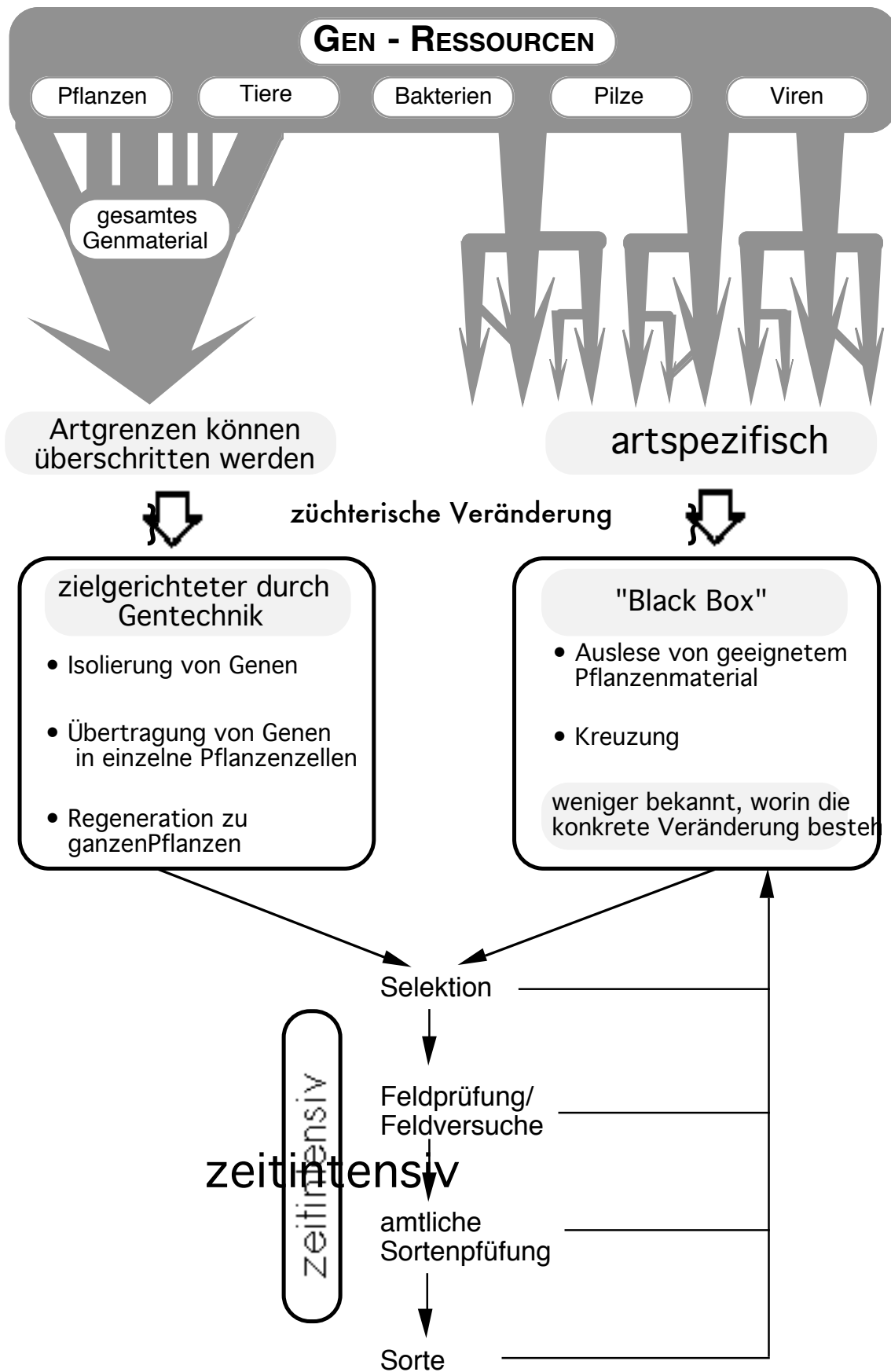


Abbildung 2

Während also die grundsätzlichen Ziele der klassischen Züchtung auch bei der Züchtung mit Hilfe der Gentechnik gleichgeblieben sind, nämlich die Optimierung der Pflanzen nach unseren menschlichen Bedürfnissen, gibt es doch erhebliche prinzipielle Unterschiede in der Vorgehensweise, die dann vor allem bei weltanschaulich motivierten Gruppen auf große Vorbehalte stoßen. Was die (Spät-) Folgewirkungen auf anderen Gebieten, wie vor allem der Ökologie aber auch der Wirtschaft (z. B. Monopolbildungen, Entwicklungsländer etc.) angeht, so dürften die Unterschiede bei beiden Verfahren nicht allzu groß sein. Jedoch ist ein Beschleunigungseffekt für alle Folgen durch den Einsatz von Gentechnik durchaus zu erwarten. D. h. Entscheidungen für oder gegen gentechnische Verfahren oder Projekte müssen dann auch schneller getroffen werden, wenn man sich nicht auf ein Moratorium, also eine befristete Unterbrechung des Vorhabens, einigen möchte.

3 Die Grundtechniken

3.1 Die DNA - das Erbgutmolekül aller Lebewesen

Die Grundvoraussetzung für die Möglichkeit, Erbgut aus Organismen verschiedener Arten neukombinieren zu können, ist die Universalität der Sprache, auf der das Phänomen der Vererbung bei allen Lebewesen beruht: der universelle Code. Dieser Code besteht aus vier Buchstaben, die in Form vier unterschiedlicher chemischer Moleküle die materielle Basis der biologischen Informationsspeicherung bilden. Diese Moleküle (die Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin) hängen an zwei langen Ketten aus Zucker- und Phosphatmolekülen, so daß sich die Struktur einer Strickleiter mit den Basen quasi als Sprossen ergibt, die Doppelhelix. Dabei liegen sich auf den Sprossen immer zwei Basen komplementär gegenüber und zwar jeweils Adenin und Thymin sowie Guanin und Cytosin. Auf diese Weise bildet jede Hälfte der Strickleiter eine Art Spiegelbild oder Matrize der anderen. Dies ist zugleich die Voraussetzung für die identische Verdopplung dieses Doppelstranges. Das gesamte Riesenmolekül wird Desoxyribonukleinsäure oder kurz DNS (englisch DNA) genannt. Der Sinn der so gespeicherten Information ergibt sich aus der Abfolge der Basen bzw. Buchstaben, wobei immer jeweils drei hintereinanderfolgende (ein Codon) für eine bestimmte Aminosäure stehen und damit sozusagen ein Wort ergeben. Aminosäuren wiederum sind die Grundbausteine der Proteine, die als Struktur- oder Funktionsproteine alle für das Leben von Zellen nötigen Aufgaben erfüllen. Der Abschnitt auf der DNA, der die Information für den Aufbau eines ganzen Proteins trägt, wird Gen genannt. In unserem bildhaften Vergleich ist das ein Satz im dicken Buch des Erbguts eines Organismus, gebildet aus wenigen bis mehreren hundert dreibuchstabigen Wörtern. Eine bestimmte Folge von Basen in der DNA ergibt durch komplexe biochemische Mechanismen übersetzt demnach eine ganz bestimmte Folge von Aminosäuren, die dem daraus aufgebauten Protein ganz bestimmte Eigenschaften verleiht. Diese Eigenschaften führen schließlich im Zusammenspiel mit den vielen unterschiedlichen Eigenschaften anderer Proteine zu wiederum bestimmten Eigenschaften

eines daraus aufgebauten Organismus, in unserem Fall einer Pflanze. Auf diese Weise kann sich eine entscheidende Änderung auf der Ebene der Informationsspeicherung, also im DNA-Molekül, in einer Eigenschaftsänderung des gesamten Organismus bzw. der Pflanze ausdrücken.

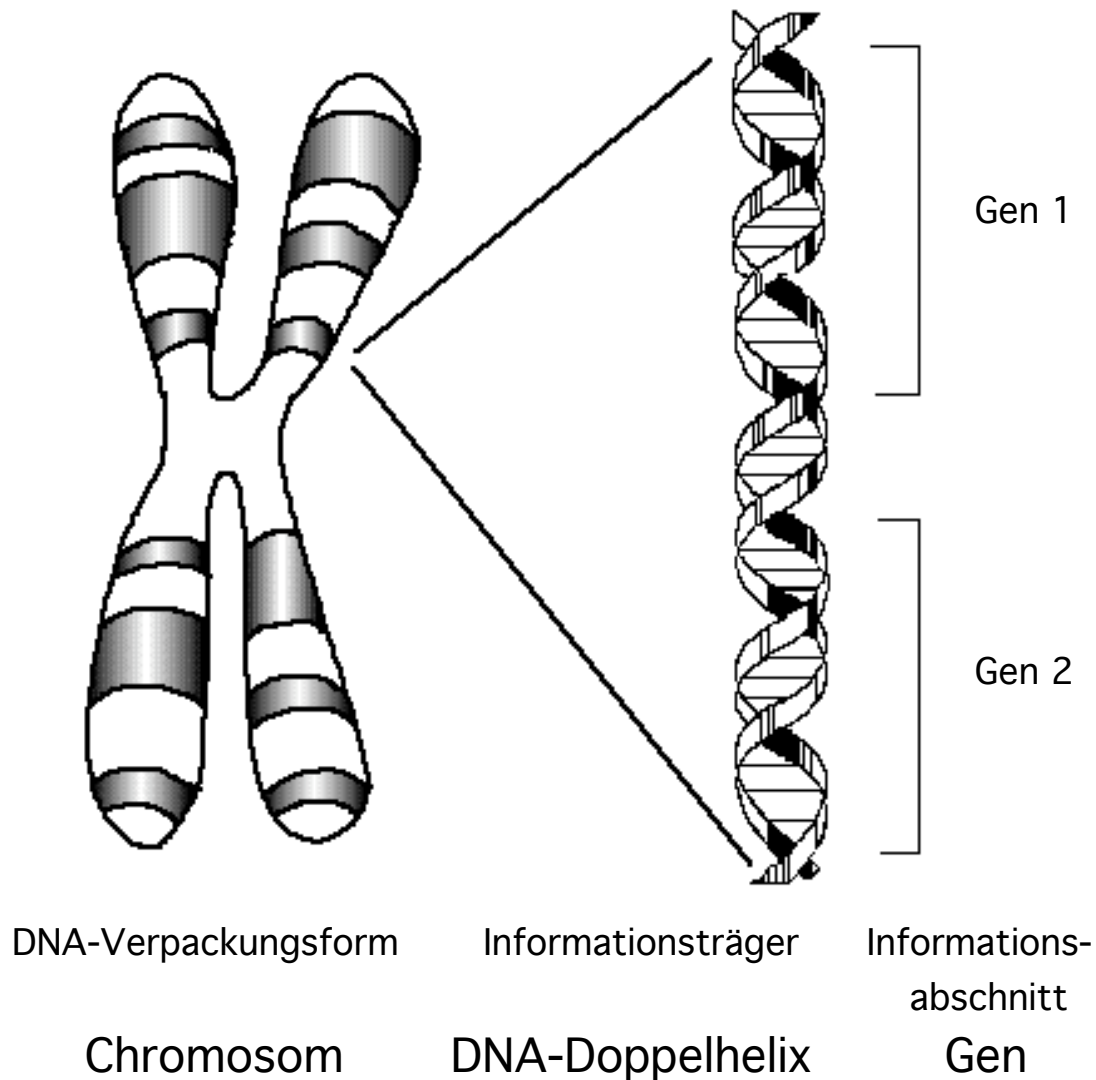


Abbildung 3

3.2 Die Neukombination von DNA - das Grundprinzip der Gentechnik

Die Entdeckung der Restriktionsenzyme durch Arber, Smith und Nathans kann wohl mit einigem Recht als der Startpunkt der Gentechnik bezeichnet werden. Denn diese Enzyme konnten gewissermaßen als molekulare Scheren eingesetzt werden, mit denen ein gezieltes Schneiden der DNA möglich wurde. Diese Art des Schneidens war zugleich die Voraussetzung dafür, daß die dabei entstehenden DNA-Teilstücke sehr effizient in anderer aber durchaus spezifischer Kombination wieder zusammengefügt werden konnten. Kennt man die Information, die die verschiedenen Teilstücke tragen, so ist es möglich, diese Information gezielt in einen neuen Zusammenhang zu bringen. Seit dieser Entdeckung kann man Sätzen im genetischen Buch - den Genen - einen neuen Inhalt geben oder eben ganze Sätze bzw. Gene aus dem einen Buch bzw. Genom eines Organismus entnehmen oder kopieren und in das eines anderen einfügen, wodurch dessen Bauplan geändert wird und neue Eigenschaften entstehen.

Klingt dieses hier mit wenigen Worten nur schematisch beschriebene Grundprinzip der Gentechnik sehr einfach, so bedarf es in der Praxis doch eines ganz erheblichen Einsatzes an geistiger Energie, Arbeitskraft und Technik, um damit auch etwas Sinnvolles zu bewirken.

Eine große Hürde für Molekularbiologen nach erfolgter Neukombination der DNA ist deren erfolgreiches Einbringen in den zu verändernden Organismus, so daß dieser die gewünschte Eigenschaft auch ausprägt. Pflanzenzellen bereiten dabei besondere Schwierigkeiten, da sie neben der allen Zellen eigenen Zellmembran noch eine sehr stabile Zellwand besitzen, die nicht so leicht zu durchdringen ist.

3.3 Wie kommt fremde DNA in die Pflanze?

Die besten DNA-Neukombinationen nützen nichts, wenn man sie nicht anschließend in die gewünschten Zielpflanzenzellen einschleusen kann und jene nicht zu einem vollständigen Organismus heranwachsen. Dieses Problem konnte zunächst für eine Klasse von Pflanzen, die zweikeimblättrigen (erkennbar an den verzweigten Blattnerven), gelöst werden, indem man sich einen natürlichen Genübertragungsweg zunutze machte.

3.3.1 *Agrobacterium tumefaciens* - der entwaffnete Pflanzentumorerreger

Ein Bodenbakterium ist es, das es schafft, einen Teil seiner eigenen Erbinformation in Pflanzenzellen einzuschleusen und diese dadurch umzuprogrammieren (Abbildung 3). Sein Name ist *Agrobacterium tumefaciens*, ein tumorerzeugendes Bakterium. Es befällt Pflanzen an frischen Wundstellen und überträgt ein kleines außerhalb des großen Bakteriumchromosoms¹ vorliegendes ringförmiges DNA-Molekül, ein sogenanntes Plasmid, Träger der für das Bakterium essentiellen Erbinformation; ringförmig geschlossenes DNA-Molekül mit mehreren Millionen Informationseinheiten

¹Träger der für das Bakterium essentiellen Erbinformation; ringförmig geschlossenes DNA-Molekül mit

in benachbarte Pflanzenzellen. Diese fangen daraufhin an, unkontrolliert zu wuchern, wodurch z. B. die uns als Wurzelhalsgallen bekannten Pflanzentumore entstehen, die wiederum die Nährstoffversorgung der sich darin vermehrenden Bakterien sichern. Verantwortlich für diese Zellwucherungen ist die T-DNA auf dem nach seiner tumorinduzierenden Eigenschaft benannten Ti-Plasmid. 1983 gelang amerikanischen und europäischen Forschern die Entwaffnung dieses Ti-Plasmids. Der tumorinduzierende Abschnitt wurde entfernt bzw. unterbrochen und konnte durch ein beliebiges anderes Stück DNA ersetzt werden, beispielsweise ein Gen, das die Information für den Bau eines bakteriellen oder tierischen Proteins. Brachte man nun dieses veränderte Plasmid in das Bakterium zurück, so wurde von diesem nun nicht mehr die T-DNA, sondern mit dem neukombinierten Plasmid das neue Gen in die infizierten Pflanzenzellen eingeschleust. Diese Zellen bildeten nun keinen Tumor mehr, trugen aber das neue Gen in ihrem eigenen Genom und produzierten das durch dieses Gen codierte Protein, sofern es von der Pflanzenzelle ordnungsgemäß abgelesen werden konnte. Seitdem ist es nun möglich, transgene Pflanzen, d. h. Pflanzen, die ein für sie fremdes Gen tragen, künstlich zu erzeugen.

3.3.2 Totipotenz - aus jeder Zelle eine neue Pflanze

Zur Herstellung vollständiger transgener Pflanzen genügt es, der Mutterpflanze an einer beliebigen Stelle ein paar Zellen zu entnehmen, diese mit dem veränderten *Agrobacterium tumefaciens* zu infizieren und dann aus einem kleinen Zellhaufen, einer Kalluskultur, die neue Pflanze heranwachsen zu lassen (Abbildungen 4 und 5). Im Gegensatz zu unseren oder tierischen Zellen können pflanzliche Zellen, auch wenn sie schon funktionell ausdifferenziert sind, quasi in einen embryonalen Zustand zurückkehren. Aus diesem Zustand können dann wieder vollständige Pflanzen regeneriert werden, ohne daß zuvor Blüten gebildet und befruchtet werden und dann aus den entstehenden Samen erst eine Generation später die neue Pflanze erwächst. Dadurch kann Zeit gewonnen und zugleich sichergestellt werden, daß die neuen Pflanzen auch tatsächlich das eingeschleuste Gen tragen, das bei einer geschlechtlichen Vermehrung über Bestäubungsvorgänge verloren gehen könnte, wenn der väterliche Pollen nicht dasselbe Gen trägt.

mehreren Millionen Informationseinheiten.

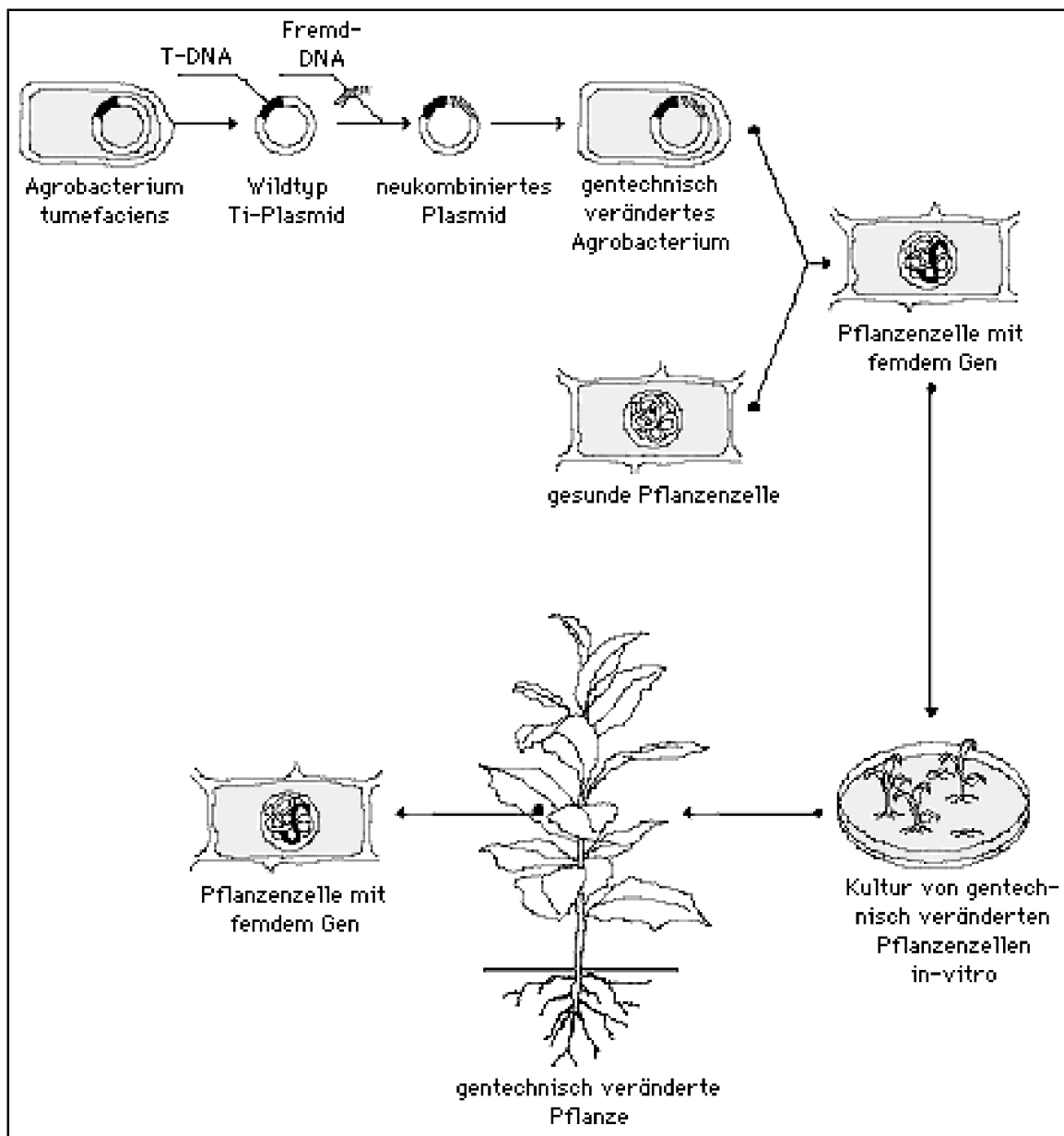


Abbildung 4

Der große Nachteil dieser Methode ist ihre Beschränkung auf zweikeimblättrige Pflanzen - die erste damit veränderte war eine Tabakpflanze. Einkeimblättrige Pflanzen (an den parallelnervigen Blättern erkennbar), zu welchen die Gräser und damit die Ahnen aller Getreidearten gehören, werden von *Agrobacterium tumefaciens* nicht infiziert und können deshalb auf diesem Weg auch nicht genetisch verändert werden.

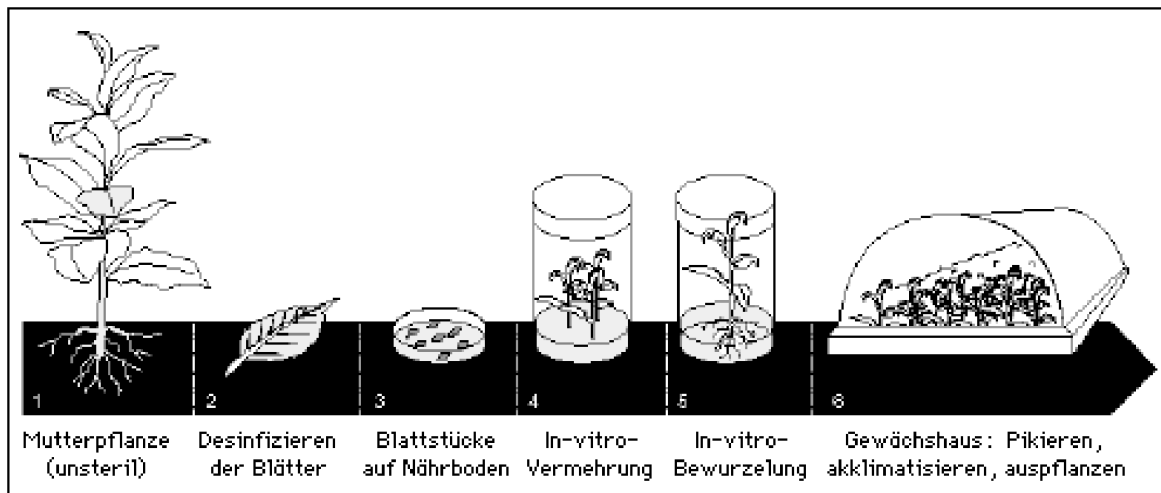


Abbildung 5

3.3.3 Mit Kanonen auf Spatzen - die Gen-Kügelchen

Für einkeimblättrige Pflanzen wurde inzwischen eine zwar weniger elegante als die oben beschriebene, dafür aber umso direktere Methode entwickelt, neue transgene Arten herzustellen. Dabei werden Pflanzenzellen mit winzigen Kügelchen von nur bis zu zwei tausendstel Millimeter Durchmesser beschossen. Diese Mikropartikel aus Gold oder Wolfram wurden zuvor mit der die gewünschte Information tragenden DNA beschichtet. Beim Durchdringen der Pflanzenzellen (manche Partikel bleiben auch drin) wird die DNA abgegeben und einige der DNA-Moleküle ins pflanzliche Genom eingebaut. Es genügt, wenn nur ein einziges davon so eingebaut wird, daß es korrekt abgelesen wird. Dann kann daraus eine vollständige transgene Pflanze regeneriert werden. Mais gehörte zu den ersten mit dieser Methode genetisch veränderten Pflanzenarten. Prinzipiell gibt es bei dieser Beschußmethode jedoch keine Beschränkung auf bestimmte Arten von Pflanzen.

Mit den beiden hier nur kurz beschriebenen und inzwischen häufig angewandten Verfahren können jeweils ein oder wenige Gene neu in eine Pflanze eingebracht werden. Nicht möglich ist damit jedoch die Kombination zweier unterschiedlicher Pflanzen. Wie kam es dann aber zur Tomoffel, die Tomate und Kartoffel in sich vereinigen sollte?

3.3.4 Aus zwei mach eins - die Protoplastenfusion

Diese schon etwas ältere aber dennoch moderne Methode sei hier nur deshalb erwähnt, weil damit ebenso kuriose wie allgemein bekannte Pflanzenarten wie die eben erwähnte Tomoffel geschaffen worden sind. Dabei werden Pflanzenzellen von ihrer Zellwand befreit und die daraus entstehenden Protoplasten, die nur noch durch eine Zellmembran zusammengehalten werden, miteinander fusioniert. Dies kann mit Zellen verschiedener Arten wie eben der Tomate und der Kartoffel geschehen. Jedoch erhält man dabei nur sehr selten nützliche neue Arten. So waren bisher auch die Früchte und die Knollen der erzeugten Tomoffeln nicht

genießbar. Zudem sind die entstehenden Pflanzen in der Regel nicht vermehrungsfähig. Es kann bei dieser Methode auch nicht kontrolliert werden, welche Teile der beiden fusionierten Genome verloren gehen und welche erhalten bleiben. Die Methode zählt deshalb nicht zu den gentechnischen (es wird nicht mit spezifischen Genen gearbeitet) sondern zu den biotechnischen Verfahren in der Pflanzenzüchtung.

4 Die Ziele und deren Einschätzung

Nachdem wir nun in einem kurzen Streifzug das gesellschaftliche Umfeld, die Grundlagen sowie die wichtigsten Techniken der gentechnischen Pflanzenzüchtung kennengelernt haben, wollen wir uns den damit verbundenen Zielen widmen. Tabak und Mais wurden schon als Zielobjekte gentechnischer Veränderungen erwähnt. Im Grunde werden die Techniken heute bei allen für unsere Ernährung wichtigen Pflanzenarten angewandt. In Deutschland liegt der Schwerpunkt auf Mais und Raps. Aber auch Kartoffeln und Zuckerrüben sind Gegenstand intensiver Forschung und in der Öffentlichkeit deshalb auch schon "ins Gerede gekommen". Es werden sehr unterschiedliche Ziele damit verfolgt. Pflanzen gegen Herbizide (allgemein auch "Unkrautvernichtungsmittel" genannt) resistent zu machen, ist dabei der Spitzenreiter (1995 34 %, mit sinkender Tendenz). Qualitätsverbesserungen, Virus- und Insektenresistenzen könnten der Herbizidresistenz jedoch schon bald den Rang ablaufen. Um die für eine Bewertung wichtigen Unterschiede zu verdeutlichen, soll im folgenden auf die Ziele etwas detaillierter eingegangen werden.

4.1 Herbizidresistenz

Bei der Erzeugung von Herbizidresistenzen geht es vor allem darum, Nutzpflanzen gegen bestimmte Totalherbizide resistent zu machen, die z. B. an Bahndämmen eingesetzt werden, um dort jeglichen Pflanzenwuchs zu unterbinden. Damit kann man dann auch in der Landwirtschaft sicherstellen, daß neben der resistent gemachten Nutzpflanze nichts anderes mehr wächst. Für die Einbringung der Resistenzeigenschaften in die gewünschten Zielpflanzen gibt es verschiedene Strategien, die in den folgenden Beispielen kurz umrissen werden.

4.1.1 Beispiel Atrazin-Resistenz

Atrazin wirkt auf das Photosynthesesystem und führt zum Absterben aller grünen Pflanzen, da deren Energieversorgung dadurch zerstört wird. In der Maispflanze gibt es eine natürlich vorkommende Resistenz gegen dieses Pflanzenvernichtungsmittel. Es wurde deshalb lange Zeit hauptsächlich auf Maisfeldern ausgebracht und führte vielerorts zu einer Beeinträchtigung des Grundwassers, da es im Boden kaum abgebaut wird. Atrazin ist in höheren Konzentrationen auch für den Menschen schädlich. Eine Resistenz dagegen kann z. B. durch das Enzym Glutathion-S-Transferase erzeugt werden, das das Pflanzengift inaktiviert. Wird das Gen für dieses Enzym aus dem Mais isoliert und z. B. in das Ti-Plasmid von *Agrobacterium tumefaciens*

ciens eingebracht, kann es darüber in andere Pflanzen (z. B. Tabak, wie bei den ersten derartigen Experimenten geschehen) transferiert werden. Diese sind dann ebenfalls gegen Atrazin resistent. Bei dem gesamten Vorgang handelt es sich also letztlich um einen Gentransfer von einer Pflanze zur anderen, wobei jedoch Artgrenzen übersprungen werden. Da Atrazin wegen seiner Mensch und Umwelt schädigenden Nebenwirkungen z. B. in Deutschland nicht mehr eingesetzt wird, wird auch die Herstellung Atrazin-resistenter Pflanzen in der Zukunft kaum mehr gefragt sein. Solche könnten dann allenfalls noch als Modellsysteme für Schauversuche dienen.

4.1.2 Beispiel Basta[®]-Resistenz

Basta[®]-resistente Pflanzen sind gerade im Jahr 1995 stark in die öffentliche Diskussion geraten, da auf Versuchsfeldern in Bayern und Baden-Württemberg solche Pflanzen freigesetzt (d. h. bewußt in die Umwelt gebracht) werden sollten, um deren Verhalten unter solchen Bedingungen zu studieren. Die Aussaatversuche wurde von Gegnern jedoch stark gestört, wobei es auch zu Felderverwüstungen kam.

Basta[®] mit dem Wirkstoff Phosphinothricin (PPT) ist ebenfalls ein Totalherbizid. Seine Wirkung beruht darauf, daß die für den Stoffwechsel essentielle pflanzliche Stickstofffixierung durch eine Hemmung des Enzyms Glutaminsynthetase (baut Stickstoff in Aminosäuren ein) stark gestört wird, wobei sich Ammoniumionen in der Pflanze anreichern und ab einer bestimmten Konzentration als Gift wirken. PPT gilt als biologisch abbaubar und ist zudem für den tierischen und menschlichen Stoffwechsel ungefährlich, da weder Tiere noch Menschen das Enzym Glutaminsynthetase selbst produzieren, sondern den Bedarf an der Aminosäure Glutamin durch die Aufnahme pflanzlicher Nahrung decken.

Eine Resistenz gegen PPT kann durch das Enzym PPT-Transacetylase erzeugt werden. Dieses verändert die chemische Struktur von PPT so, daß es die Glutaminsynthetase nicht mehr hemmen kann, weil es von dieser nicht mehr gebunden wird. Das Bakterium *Streptomyces hygroscopicus* besitzt ein solches Enzym. Das Gen dafür wurde isoliert und z. B. mit der Partikelbeschuß-Methode unter anderem in Tomaten-, Kartoffel-, Raps- und Maispflanzen transferiert. Hier handelt es sich also um eine Genübertragung von einem Bakterium auf Pflanzen. Das ist wegen unterschiedlichen Genableseregulation in Bakterien und Pflanzen ein komplizierteres Unterfangen als eine entsprechende Übertragung eines Gens von Pflanze zu Pflanze. Um zu testen, ob die derart gentechnisch veränderten Pflanzen tatsächlich resistent gegen Basta[®] bzw. PPT sind und ob eine solche Resistenz für den Bauern praktikabel und für die Umwelt nicht schädlich ist, müssen geeignete Versuche auf Feldern durchgeführt werden. Über solche Freilandversuche herrscht aber zumindest in Deutschland noch kein Konsens, so daß es immer wieder zu den oben erwähnten Feldbesetzungen und Zerstörungen kommt. Eine transparentere Öffentlichkeitsarbeit seitens der Versuchsbetreiber könnte hier zumindest das Diskussionsklima verbessern, denn ohne den Austausch von Sachargumenten wird es in

solchen Fragen wohl kaum eine Einigung geben.

4.1.3 Beispiel Roundup - Glyphosat-Resistenz

Auch bei Roundup oder Glyphosat, wie sein chemischer Name lautet; handelt es sich um ein Totalherbizid, das auf den pflanzlichen Aminosäurestoffwechsel wirkt und deshalb für Menschen und Tiere unschädlich ist. Es zerfällt leicht und wird daher nicht im Boden angereichert. Durch die Hemmung eines Enzyms (EPSP-Synthetase), das bei der Synthese aromatischer Aminosäuren in Pflanzen nötig ist, führt das Gift zum Absterben aller nicht-resistenten Pflanzen. Werden jedoch sehr große Mengen der EPSP-Synthetase in den Pflanzenzellen produziert, so bleibt das Herbizid wirkungslos. Verändert man entsprechend die Kontrollregion vor dem Gen, die reguliert, wie oft die Information abgelesen und in ein Protein umgesetzt werden soll, so kann man die Pflanze dazu bringen, dieses Enzym verstärkt zu produzieren, wodurch sie gegen Glyphosat resistent wird.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, ein gegenüber Glyphosat toleranteres Enzym in Zellkulturen oder Bakterien (*Salmonella typhimurium*) dadurch zu erzeugen, daß man Pflanzenzellen oder Bakterien so lange in Gegenwart des Pflanzengifts wachsen läßt bis sich bestimmte Stämme durchsetzen, denen das Gift nichts mehr anhaben kann. Aus diesen isoliert man dann das durch natürliche Mutation veränderte Gen für die tolerantere EPSP-Synthetase und transferiert es in die resistent zu machende Pflanze. Auf diese Weise erhält man ebenfalls gegenüber Roundup resistente Pflanzen.

In beiden Fällen wurde kein für die Pflanze völlig neues Gen in deren Genom eingebaut, sondern nur die Regulation eines schon vorhandenen Gens verändert bzw. ein schon vorhandenes Gen in etwas veränderter Form nochmals integriert. Artgrenzen müssen dabei nicht übersprungen werden. Doch diese Form der Resistenzbildung unter Einsatz der Gentechnologie birgt auch eine große Gefahr in sich. Denn wenn es gelingt, Nutzpflanzen auf diese Weise resistent zu machen, dann ist es auch möglich, daß in der Landwirtschaft unerwünschte Pflanzen bei starkem Glyphosat-Einsatz auf natürliche Weise über denselben Weg resistent werden. Dazu genügt es dann, daß - wie im Laborfall durch Selektion - ein paar Buchstaben im EPSP-Synthetase-Gen oder dessen Kontrollregion verändert bzw. ausgetauscht werden. In diesem Fall wäre ein ständiger Wettlauf der Technikentwicklung mit der natürlichen Resistenzbildung die unausweichliche Folge.

4.2 Insektenresistenz

Ein zweites großes Problem für die Landwirtschaft ist der Ernteausfall durch Insektenfraß. Zahlreiche synthetische Gifte werden deshalb gegen Insekten gespritzt. Dagegen macht man sich bei der biologischen Schädlingsbekämpfung die Eigenschaft eines Bakteriums (*Bacillus thuringiensis*) zunutze, Insekten durch die Ausscheidung eines Giftes (das Endotoxin Bt) zu töten.

Das Endotoxin Bt kommt in verschiedenen *Bacillus thuringiensis*-Stämmen in etwas unterschiedlicher Form vor und diese Typen wirken jeweils spezifisch auf ganz bestimmte Insekten, wie Kartoffelkäfer oder Raupen oder Maiszünsler und andere. Das Gift zerstört die Darmwand der betroffenen Insekten, die daraufhin sterben. Für andere Insekten, Vögel und auch Säugetiere ist das Endotoxin ungiftig. Außerdem zerfällt es schnell unter dem Einfluß von Sonnenlicht und ist deshalb auch für die Natur langfristig nicht schädlich. Dies erfordert auf der anderen Seite jedoch ein häufiges Nachsprühen solange eine Insektenplage anhält.

Bringt man nun mit Hilfe der oben beschriebenen Techniken das Gen für eine Bt-Art in Nutzpflanzen so ein, daß das Gift ständig produziert wird, so ist es bei Fraß sofort vorhanden, wirkt gegen den Freßschädling und das Nachsprühen entfällt. Auf diese Weise sollen in Zukunft zwischen 40 und 60 Prozent weniger Insektizide eingesetzt werden müssen. Tomate, Kartoffel, Sojabohne, Weizen und andere wurden schon mit dem ursprünglich bakteriellen Insektengift ausgestattet.

Wenn nun aber immer mehr Pflanzen selbst dieses Gift zu ihrem Schutz produzieren, steigt auch die Wahrscheinlichkeit, daß sich Insekten durchsetzen, die wiederum resistent gegen das Endotoxin sind. Solche Bt-Endotoxin-Resistenzen sind auch schon in Getreidesilos auf Hawaii aufgetreten, obwohl dort dieses Gift nur als biologisches Schädlingsbekämpfungsmittel gespritzt wurde. Auch solche biologischen Bekämpfungsmittel sind natürlich nutzlos, sobald es gegen das Gift resistente Insekten gibt.

Durch eine Reihe von Gegenmaßnahmen kann die Entstehung von Resistenzen bei Insekten jedoch zumindest für eine Weile hinausgezögert werden. Wenn man z. B. neben den Pflanzen, die man ernten möchte und die deshalb das Endotoxin Bt tragen, auch immer solche mit anbaut, die das Gift nicht produzieren, dann ist für die potentiellen Schädlinge immer noch genug Nahrung vorhanden, so daß es nicht zu einer Selektion derjenigen Insekten kommt, die resistent gegen das Gift sind. Solche würden als einzige überleben, wenn es nur noch die für ihre nichtresistenten Konkurrenten tödlichen Pflanzen gäbe. Es können auch Pflanzen mit mehreren verschiedenen Bt-Endotoxin-Typen angebaut werden, da es sehr unwahrscheinlich ist, daß Insekten zugleich gegen mehrere dieser Typen Resistenzen ausbilden. Schließlich kann man das nun pflanzliche Endotoxin-Gen mit einer Kontrollregion versehen, die es erlaubt, das Ablesen des Gens nur dann anzuschalten, wenn sich die Freßschädlinge zu sehr vermehrt haben. So kann man die Menge des Giftes in der Natur reduzieren und damit auch die Wahrscheinlichkeit der Resistenzausbildung vermindern. Das Gen kann dann im Bedarfsfall z. B. durch Besprühen der Felder mit einfachen Chemikalien wie Salicylsäureanaloga (dem Aspirin ähnlich) angeschaltet werden und die Pflanzen sind geschützt, während sie sonst das Gift gar nicht produzieren.

Am Ende bleibt natürlich immer ein Nahrungskettenproblem, da Insekten nicht nur Schädlinge, sondern zugleich auch Nahrung z. B. für Vögel sind. Wenn es nur noch wenige

Insekten gäbe, dann fehlte auch deren Freißfeinden die Ernährungsgrundlage. Doch dieses Problem besteht schon heute in jeder Monokultur, die z. B. mit chemischen Insektiziden besprüht wird. Dazu wäre das hier beschriebene Verfahren dann noch die bessere Alternative.

Eine schädliche Wirkung auf Menschen ist aufgrund der sehr spezifischen Wirkung der Endotoxin-Arten nicht zu erwarten; dennoch sollten - um alle Zweifel auszuräumen - für jeden Bt-Endotoxin-Typ Tests mit realistischen Mengen (wie sie im Nahrungsmittel zu erwarten sind) gemacht werden analog zu jenen, die für Medikamente vor der Markteinführung vorgeschrieben sind.

4.3 Virusresistenz

Auch Pflanzen können von Viren befallen werden. Große Ernteaufälle und deren starke qualitative Beeinträchtigung erzeugen z. B. der Tabak-Mosaik-Virus (TMV) bei Tabak und Kartoffel, der Kartoffel-Virus-X (Potatoe-Virus-X, PVX) bei der Kartoffel, der Wassermelonenmosaikvirus 2 bei Kürbissen oder der Erreger der Wurzelbärtigkeit (Rhizomania) bei Zuckerrüben. Obgleich das pflanzliche Immunsystem dem menschlichen oder tierischen in seiner Funktionsweise nicht vergleichbar ist, können doch auch Pflanzen einen analogen Immunschutzeffekt ausbilden. Wurde z. B. eine Pflanze schon einmal von einem Virus befallen und hat dies überlebt, so wird es einem weiteren Virus der gleichen Art nicht gelingen, sich erfolgreich in dieser Pflanze zu vermehren. Für eine solche Immunisierung reicht es aus, daß ein Protein aus der Hülle des Virus (Viren bestehen nur aus Erbsubstanz und einer diese schützenden Proteinhülle) in die Pflanzenzellen gelangt. Gegen dieses Protein wird der Immunschutz aufgebaut und dieser erstreckt sich wiederum auf das gesamte Virus. Diesen Effekt kann man sich zunutze machen, indem man Gene für entsprechende Virus-Hüllproteine isoliert, diese in die zu immunisierenden Pflanzen einbringt, so daß jene in allen Pflanzenzellen das Protein bilden und dadurch gegen die zugehörigen Viren immun werden. Das Hüllprotein allein ist dabei weder für die Pflanze noch für Menschen oder Tiere, die sich später von solchen Pflanzen ernähren, schädlich. Ein möglicherweise vorhandenes allergenes Potential für entsprechend empfindliche Menschen sollte jedoch durch eindeutige Untersuchungen der Nahrungsmittel, die zum Zeitpunkt des Verzehrs noch das Virusprotein enthalten (also z. B. Gemüse, nicht aber Zucker), ausgeschlossen werden.

4.4 Eigenschaftsänderungen

Neben den bisher beschriebenen mit Hilfe der Gentechnik eingeführten diversen Resistenzen können selbstverständlich auch andere Eigenschaften oder Qualitäten von Pflanzen verändert oder neu eingeführt werden. Das bekannteste Beispiel ist die "Anti-Matsch-Tomate", die unter dem Handelsnamen Flavr Savr[®] zuerst auf dem amerikanischen Markt ihren Siegeszug antrat und nun auch in die Regale europäischer Verbrauchermärkte kommen soll. Warum gerade

diese Tomate zum Inbegriff des Frevels an der Natur wurde, verwundert etwas, wenn man weiß, welche genetische Veränderung an ihr vorgenommen wurde. Hier ist nämlich nicht die Information für ein neues in der Tomate zuvor nicht vorkommendes Protein eingeführt, sondern das vorhandene Gen für das Enzym Polygalacturonase, das beim normalen Reifungsvorgang die Zellwände weich macht, abgeschaltet worden. Dazu wurde die sogenannte "Anti-Sense"- oder Gegensinn-Technik angewandt. Das Gen für die Polygalacturonase wird dabei nochmals aber in Gegensinn-Richtung in das pflanzliche Genom eingebaut. Dadurch wird der Übersetzungsmechanismus vom Gen zum Protein blockiert, das Enzym kann nicht gebildet werden, die Zellwände der Tomate bleiben fest und diese kann an der Pflanze bis zur vollen Röte ausreifen und danach trotzdem in fester Form lange Transportwege überstehen. Dadurch soll ein besserer Geschmack erreicht werden. Dem Verbraucher ist es andererseits jedoch kaum mehr möglich, das Alter einer Tomate im Regal über deren Festigkeit abzuschätzen, da diese über einen längeren Zeitraum sowohl rot als auch fest bleibt. Dies ist aus Verbrauchersicht aber wohl der einzige Nachteil; von Gefährlichkeit für den Konsumenten kann keine Rede sein. Ob man eine solche Tomate wirklich braucht oder ob man nicht lieber frische beim nächsten Bauern - sofern man in der Nähe eines solchen wohnt - kauft, ist dabei eine ganz andere Frage und hat schließlich auch nichts mit Gentechnik zu tun.

Eine verzögerte Reifung der Tomate kann nicht nur durch das eben beschriebene Abschalten eines "Weichmacherenzym"-Gens erreicht werden, sondern auch durch die Blockierung der Produktion des Pflanzenhormons Ethylen, eines einfachen chemischen Moleküls, das den Reifungsprozeß stimuliert. Auch hier wird durch Gegensinn-Technik das Gen für ein Enzym abgeschaltet, wodurch der Weg von einem Vorläufermolekül zum Ethylen unterbrochen wird. Fehlt dieses Pflanzenhormon, wird der Reifungsprozeß verlangsamt und kann durch eine spätere Begasung mit Ethylen wieder beschleunigt werden. So bleibt dem Menschen die Steuerung der Tomatenreifung überlassen. Ethylenbegasung wird übrigens schon lange eingesetzt, um unreif transportierte Früchte schließlich doch "reif" im Supermarktregal anbieten zu können.

Auch bei dieser Methode wird also kein neues Protein in eines unserer Nahrungsmittel eingeführt. Allerdings sind solche Eingriffe in ein regulatorisches System, wie es hormonelle Botenstoffe darstellen, sicherlich vorsichtiger zu bewerten als das Abschalten eines Enzyms mit nur einer bekannten Funktion. Regulatorische Wege sind oft verzweigt, so daß ein Eingriff an einer Stelle mehrere verschiedene Folgewirkungen haben kann. Solche sollten erst ausgeschlossen oder gegebenenfalls aufgeklärt werden, bevor ein entsprechend verändertes Nahrungsmittel auf dem Markt zugelassen wird.

4.4.1 Andere Länder - andere Ziele

Während in Europa und in den USA im Zusammenhang mit gentechnisch veränderten

Nahrungsmitteln vor allem von Verbraucherverbänden vehement auf mögliche Probleme für Allergiker hingewiesen wird, versuchen japanische Forscher, die ansonsten sehr zurückhaltend gentechnische Methoden im Lebensmittelsektor anwenden, mit Hilfe dieser Technik erfolgreich allergenfreien Reis zu züchten. Ein anderer kultureller Hintergrund hat offenbar auch andere Ziele und Einschätzungen zur Folge. So ist es denn auch kaum erstaunlich, daß es auf dem europäischen Kontinent stärker motivierte Vorbehalte gegen gentechnisch veränderte Lebensmittel gibt als in den USA oder auch in Großbritannien. Die Gründe dafür dürften im unterschiedlichen kulturhistorischen Hintergrund zu finden sein. Die aktuelle Diskussion um den sogenannten Rinderwahnsinn BSE und vor allem der Umgang mit diesem Problem illustriert dies gerade sehr anschaulich.

4.5 Pflanzen als Produktionsstätten

Die Eigenschaften von Pflanzen können schließlich soweit verändert werden, daß sie auch als Produktionsstätten für bestimmte Rohstoffe nutzbar werden. So kann aus Raps Laurinsäure für die Herstellung von Kaffee-Weißern oder Haar-Produkten oder Erucasäure zur Nylon13-13-Synthese gewonnen werden. Der Stärkeanteil Amylopektin kann in der Kartoffel soweit erhöht werden, daß diese als Grundstoff für die Papier- und Textilindustrie oder sogar für die Herstellung von Kunststoffersatz dienen kann. Plastik (z. B. aus Polyhydroxybuttersäure, PHB) dagegen kann, nach einer Übertragung entsprechender Gene aus dem Bakterium *Alcaligenes eutrophus* in Pflanzen wie Ackerschmalwand, aus diesen gewonnen werden. Es hat den großen Vorteil, daß es wie herkömmliche Plastikmaterialien verwendbar aber zugleich gut kompostierbar ist und so in den biologischen Kreislauf zurückgeführt werden kann.

Ein hitzestabiles Enzym aus dem Bakterium *Clostridium thermocellum*, das Lignin zersetzt (Xylanase), kann nach der Übertragung des Gens dafür auch in größeren Mengen in Tabak produziert werden und wäre sehr nützlich für die Papier- und Futtermittelindustrie, da es auch bei den dort notwendigen höheren Temperaturen eingesetzt werden kann.

Auch Medikamente wie z. B. monoklonale Antikörper für die Krebstherapie können in größeren Mengen z. B. aus entsprechend veränderten Sojabohnen gewonnen werden. Und schließlich versucht man sogar Impfstoffe z. B. gegen Malaria in Tabakpflanzen zu produzieren. Dies könnte dann soweit gehen, daß man die Impfung durch den Verzehr eines Nahrungsmittels, das den Impfstoff enthält, vornehmen kann - natürlich unter der Voraussetzung, daß die orale Einnahme des Impfstoffes auch wirksam ist.

Die Liste ließe sich hier noch fast beliebig fortsetzen mit schon ausprobierten oder auch noch weitgehend utopischen Beispielen. Die große Bandbreite der Möglichkeiten dürfte aber schon durch die hier kurz angerissenen Beispiele deutlich geworden sein. Das Feld wird gerade erst abgesteckt. Die Thematik wird uns noch lange beschäftigen und eindeutige Entscheidungen

über den Einsatz werden zunächst immer schwerer zu fällen sein.

5 Schlußbemerkungen

Allgemein ausgedrückt bedeutet jede gentechnische Veränderung eines pflanzlichen Organismus einen Eingriff in dessen komplexes Wirkungsgefüge, das wir in seiner Ganzheit erst in Ansätzen zu verstehen beginnen. Dies heißt, daß wir über alle möglichen Folgewirkungen einer solchen Veränderung keine absolute Gewißheit haben können. Vor der Markteinführung eines derart veränderten Nahrungsmittels sollten deshalb Testreihen durchgeführt werden, die jenen bei Medikamenten entsprechen. Auszunehmen wären davon aber aufgereinigte Lebensmittel wie z. B. Zucker, die keine der veränderten Pflanzenbestandteile mehr enthalten; ebenso gereinigte Enzyme, die z. B. mit einer entsprechend veränderten Hefe, für die ein hohes Erfahrungswissen bezüglich ihrer Verwendbarkeit im Nahrungsmittelsektor vorhanden ist, produziert werden. Schließlich brauchen auch beim Joghurt schon getestete Bakterienstämme, die nun auch für das Joghurt verwendet werden sollen, nicht mehr im gleichen Umfang getestet werden. Eine 100 %ige Sicherheit wird es allerdings auch dann nicht geben, wie es sie auch vor der Entwicklung der Gentechnik nicht gab. Auch früher gab es neugezüchtete Sorten, die wieder vom Markt genommen werden mußten, weil sie für den Menschen unverträglich waren. Ein bekanntes Beispiel dafür war eine Kartoffelsorte, die einen sonst nur in den grünen Teilen der Kartoffelpflanze vorkommende vergleichsweise hohe Konzentration (0,05 %) an Solanin in der Knolle (normal 0,002 - 0,01 %) enthielt. Solanin ist ein pflanzliches Gift, das in Nachtschattengewächsen vorkommt und beim Menschen in Konzentrationen ab 0,05 % Störungen von Magen- und Darmbeschwerden bis hin zu Nieren- und Nervenschäden hervorrufen kann.

Jede Anwendungsmöglichkeit, die - wie wir gesehen haben - sehr unterschiedlich im Eingriff und in der Zielsetzung sein kann, sollte jeweils auf ihren Nutzen und möglichen Schaden hin überprüft werden, bevor ihr Einsatz positiv oder negativ entschieden wird. Drastisch ausgedrückt: für einen verantwortungsbewußten Einsatz von Gentechnik verbietet sich zwar jede Puscherei und Schlamperei, jedoch nicht die Anwendung von Gentechnik an sich. Und schließlich zwingt uns niemand, alles zu tun, was machbar ist, wenn wir es nicht wollen.

5.1 Ein letztes Wort zum Thema "Zweite Grüne Revolution"

Trotz vieler Versprechen, den Hunger in der Welt mit Hilfe der neuen Techniken beseitigen zu können, ist Pflanzen-Gentechnik vor allem eine Technik für die Erste Welt, jedoch kaum für Entwicklungsländer. Damit wäre sie auch keine zweite Grüne Revolution im Sinne der ersten. Vielmehr wird sie den Industrieländern ermöglichen, viele Produkte aus jenen Ländern selbst zu synthetisieren und diesen damit heute noch bestehende Exportmöglichkeiten nehmen, denn bislang ist der Austausch von genetischem Material eine Einbahnstraße von

Süd nach Nord. Sie ist auch keine angepaßte Technologie, die - im Rahmen der dortigen Verhältnisse eingesetzt - die dem Hunger vor allem zugrundeliegenden Ursachen beseitigen könnte. Diese bestehen in erster Linie immer noch aus Verteilungs- und Bildungsproblemen. Dennoch hätte die Technik durchaus ein emanzipatorisches Potential für viele sogenannte Entwicklungsländer im Sinne von mehr Gleichberechtigung und Gerechtigkeit auf dem Markt unserer Einen Welt. Zum Beispiel indem damit die genetische Vielfalt in diesen Ländern selbst gesichert, ausgebaut und nach eigenen Bedürfnissen angewendet wird, so daß mit dem Ergebnis, dem genetischen Reichtum, auch Devisen und damit materieller Reichtum erwirtschaftet werden kann. China nutzt diese Technik für seine Ziele (d. h. oft einfach: ausprobieren, was möglich ist) in geradezu unverfrorener - man könnte auch sagen selbstbewußter - Weise und schert sich dabei leider mitnichten um weltweite ökologische Belange, die in Diskussionen hierzulande berechtigterweise eine zunehmend stärkere Rolle spielen. Gegen eine auch gesellschaftlich positive Folgewirkung der Pflanzengentechnik stehen jedoch die gegenwärtigen Bedingungen einer weitgehend globalisierten Wirtschaftsordnung, deren Entwicklung eben nicht an erster Stelle die Bedürfnisse von Menschen, sondern Gewinnmaximierung und Expansion zugrunde liegen.

Letzten Endes sind dies aber dieselben Mechanismen, die auch hier bei uns stärkere Abhängigkeiten z. B. der Landwirte von multinationalen Saatgut- und Chemiekonzernen oder der Verbraucher von Nahrungsmittelkonzernen erzeugen. Die daraus resultierenden Ohnmachtsgefühle führen dann zu den bekannten aufgeheizten Diskussionen und zur vielbeklagten aber im Grunde nicht überdurchschnittlich ausgeprägten technikfeindlichen Atmosphäre in Deutschland. Doch nicht die Technik an sich verursacht dies, sondern die Mechanismen ihrer Verwertung. Auf diesen Punkt sollte deshalb die Diskussion stärker zuge-spitzt werden, um schließlich gesellschaftliche Diskussions- und Entscheidungsprozesse wieder auf eine differenziertere Ebene heben zu können. Positive Ansätze dafür gibt es bereits in Form von Konsens-Gesprächen, Bürgerforen und Ähnlichem. Dabei sitzen z. B. zufällig ausgewählte Bürger mit Vertretern aus der Industrie und der Wissenschaft für etwa eine Woche zusammen und diskutieren eine Problematik, um daraus am Ende Schlüsse für oder gegen eine mögliche Anwendung zu ziehen. In Großbritannien und den Niederlanden wurden solche Verfahren von Lebensmittelkonzernen, in der Bundesrepublik von öffentlichen Stellen (der Akademie für Technikfolgenabschätzung in Stuttgart) ausprobiert und geben zu berechtigter Hoffnung Anlaß, da eines zumindest erreicht wurde: mehr Transparenz in der Debatte um die Gentechnik.