

Fachhochschule Hamburg

Fachbereich Ernährung und Hauswirtschaft

GENTECHNIK IM LEBENSMITTELBEREICH AM BEISPIEL SOJA

- Diplomarbeit -

vorgelegt am 01. September 1997

von

Taina Fischer
Hartzloh 26

22307 Hamburg

Referenten:

Betreuender Professor: Prof. Dr. Laszlo Huber

Co-Referentin: Dipl.-Volkswirtin / Dipl.-Sozialökonomin Kerstin Lanje

Gentechnik im Lebensmittelbereich am Beispiel Soja

1	Einleitung und Zielsetzung.....	3
2	Soja in der Landwirtschaft und Ernährung.....	7
2.1	Beschreibung der Pflanze.....	7
2.2	Herkunft der Sojabohne und Entwicklung zur Weltwirtschaftspflanze.....	8
2.3	Die Rolle der Sojabohne in der menschlichen Ernährung und Verwendungsmöglichkeiten.....	10
2.4	Ökologische Folgen des großflächigen Sojaanbaus.....	13
3	Herbizidresistente Sojapflanzen.....	15
3.1	Herkömmliche Unkrautbekämpfungsmethoden und modernes Unkrautmanagement durch Herbizidresistenztechnik bei Sojabohnen.....	15
3.2	Wirkungsweise von „Roundup“.....	17
3.3	Gentechnischer Hintergrund zur Entwicklung der „Roundup-Ready“-Sojabohne.....	20
4	Bedeutung von herbizidresistenten Sojabohnen für die Landwirtschaft.....	22
4.1	Wirtschaftliche Bedeutung von Herbiziden in der Landwirtschaft.....	22
4.2	Wirtschaftliche Interessen an der Einführung der HR-Technik und der Roundup-Ready- Sojabohne.....	23
4.3	Auswirkungen der Roundup-Ready-Sojabohnen auf die landwirtschaftliche Praxis.....	25
4.3.1	Mögliche Verbesserungen bei der Unkrautbekämpfung.....	26
4.3.2	Risiken und Probleme für die Landwirtschaft.....	28
5	Ökologische Risiken des Anbaus herbizidresistenter Sojabohnen.....	34
5.1	Die besondere Situation durch den gentechnischen Eingriff.....	34
5.2	Übertragungsgefahr auf andere Pflanzen.....	35
5.2.1	Vertikaler Gentransfer.....	36
5.2.2	Horizontaler Gentransfer.....	37
5.3	Verwilderungsrisiko.....	41
5.3.1	Wahrscheinlichkeit der Verwilderung.....	41
5.3.2	Mögliche unerwünschte Folgen der unkontrollierten Ausbreitung.....	42

5.4 Einfluß der Herbizidresistenztechnik auf Arten- und Sortenvielfalt.....	45
5.5 Die Problematik des Restrisikos.....	48
5.6 Umweltwirkungen von „Roundup“	49
 6 Die Rolle der „Roundup-Ready“-Sojabohnen für die Ernährungssicherung und für den ökologischen Landbau.....	57
6.1 Die Bedeutung von herbizidresistente Sojabohnen für die Ernährungssicherung.....	57
6.2 Herbizidresistente Sojabohnen und ökologischer Landbau.....	60
 7 Gesundheitliche Risiken.....	66
 8 Zusammenfassung und Stellungnahme.....	72
 Glossar.....	74
Literaturverzeichnis.....	77

1 Einleitung und Problemstellung

Pflanzen und Tiere sind die Grundlage der menschlichen Ernährung. Schon in der Jungsteinzeit begannen die Jäger und Sammler, Tiere in Herden zu halten und die Körner und Früchte wild wachsender Pflanzen zu ernten. Als die Menschen sesshaft wurden, fingen sie an, Tiere und Pflanzen ihren eigenen Bedürfnissen anzupassen. Dies geschah durch Auslese und Kreuzung, also einfacher Züchtungsmethoden. Gleichzeitig wurden auch schon vor 9.000 Jahren Mikroorganismen zum Brauen und Backen eingesetzt (BLL 1995, S. 1).

Die Verfahren der Züchtung und der Lebensmittelverarbeitung wurden bis heute immer weiterentwickelt, um die Versorgung mit ausreichenden und vielseitigen Nahrungsmitteln sicherzustellen. Alle diese Methoden, die auf nicht natürliche Weise in biologische Abläufe eingreifen, werden der Biotechnologie zugeordnet.

Während die klassische Biotechnologie die industrielle Anwendung biologischer Verfahren wie z.B. bei der Brot-, Alkohol-, und Käseherstellung umfaßt, schließt die moderne Biotechnologie u.a. auch gentechnische Methoden mit ein. Damit hat die Gentechnik mittlerweile Einzug in den Lebensmittelbereich gehalten - Enzyme und Mikroorganismen werden so vielfach schon mit gentechnischen Verfahren hergestellt, wie z.B. Chymosin für die Käseherstellung.

Ein Beispiel für Gentechnik in der Tierzucht wäre das Rinderwachstumshormon rBST, welches bei Rindern während der Wachstumsphase zu mehr Fleischansatz und in der Laktationsphase zu erhöhter Milchproduktion führt.

Einzelne Pflanzensorten wurden z.T. gentechnisch so verändert, daß sie widerstandsfähiger wurden gegen Pflanzenschädlinge, Viren oder auch gegen bestimmte Herbizide. So gibt es inzwischen Mais, der gleichzeitig resistent ist gegen eine bestimmte Schädlingsart als auch gegen ein Unkrautvernichtungsmittel.

Im Gegensatz zu den klassischen Zuchtverfahren ist die Gentechnik in der Lage, bestehende Grenzen zwischen den Arten zu überschreiten. Allgemein werden die Chancen und Risiken dieser neuen Technik kontrovers diskutiert. Chancen werden oft im Innovations- und Problemlösungspotential gesehen, Risiken dagegen im Hinblick auf die ökologischen, gesundheitlichen und sozialen Auswirkungen der Technik.

Außer in der Lebensmittelproduktion wird die Gentechnik u.a. auch in Gebieten der Humanmedizin oder Umwelttechnik eingesetzt. Die Bewertung ihres Einsatzes in den einzelnen Gebieten fällt dabei sehr unterschiedlich aus. Bei der Herstellung von Medikamenten oder Impfstoffen werden gentechnische Methoden beispielsweise oft eher akzeptiert oder befürwortet als bei der Produktion von Lebensmitteln.

In dieser Arbeit geht es um eine gentechnisch veränderte Sojasorte, die als Beispiel für mögliche Auswirkungen des Einsatzes der Gentechnik im Lebensmittelbereich herangezogen werden soll. Soja war im November 1996 das *erste* Lebensmittel, das *direkt* gentechnisch verändert wurde und zur Weiterverarbeitung und zum Verkauf in Deutschland zugelassen wurde.

Die gentechnische Veränderung dieser Sojabohnensorte besteht in einer künstlich eingebauten Herbizidresistenz, d.h., die Pflanze ist widerstandsfähig gemacht worden gegen ein bestimmtes Unkrautvernichtungsmittel. Entwickelt wurde die Pflanze von dem US amerikanischen Chemiekonzern Monsanto, der auch gleichzeitig Hersteller des Herbizids „Roundup“ ist, gegen das die neue Sojasorte resistent ist. Als „Roundup-Ready“-Soybean wird die Bohnenpflanze zusammen mit dem Herbizid verkauft, dessen Anwendung sie nun durch die gentechnische Veränderung ohne Schaden übersteht.

Um die Roundup-Ready-Sojabohnen in die EU importieren zu dürfen, mußte Monsanto nach der EU-Richtlinie (90/220/EWG) über die ‘absichtliche Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt’ eine Genehmigung bei der Europäischen Kommission beantragen. Im April 1996 wurde der Firma nach einer exemplarischen Sicherheitsbewertung durch den ‘Beratungsausschuß zu neuartigen Lebensmitteln und Verfahren’ (ACNFP, Advisory Committee on Novel Foods and Processes) in England die Genehmigung für den Import, die Lagerung und die Verarbeitung der Sojabohnen in alle EU-Mitgliedstaaten erteilt. Die jeweils zuständigen nationalen Behörden mußten die Sicherheitsbewertung des ACNFP ihrerseits überprüfen und ihr zustimmen. In Deutschland war hierfür das Robert-Koch-Institut in Berlin zuständig.

Mit der ersten Lieferung der darauf folgenden Sojaernte aus den USA gelangten dann im November 1996 die ersten transgenen Sojabohnen nach Deutschland und lösten eine gewaltige Protestwelle aus, die immer noch anhält. Verbraucher und Verbraucherinnen fühlen sich um das Recht betrogen frei entscheiden zu können, ob sie Gentechnikprodukte in Lebensmitteln „mitverzehren“ wollen oder nicht. Grund für ihren Protest ist zum einen die Tatsache, daß hier ein *Lebensmittelrohstoff* gentechnisch verändert worden ist und zum anderen, daß dieser nicht getrennt geliefert und verarbeitet wird und die Produkte, welche Bestandteile der sogenannten „Gen-Soja“ enthalten, nicht gekennzeichnet werden müssen. Sie fallen nicht unter den

Geltungsrahmen der Novel-Food-Verordnung, die am 15. Mai 1997 in Kraft trat und die die Kennzeichnung neuartiger Lebensmittel regelt. Die Roundup-Ready-Sojabohne war bereits seit 1996 zugelassen und auf dem Markt und gilt daher nicht als neuartiges Lebensmittel.

Der größte Teil des in die EU gelieferten Sojas kommt aus den USA und macht ca 60 % der Gesamteinfuhr aus (Mergel 1986, S. 2). Der Anteil von Roundup-Ready-Sojabohnen betrug davon 1996 etwa 2 %. Für 1997 wird mit einem Anteil von 15 % gerechnet (Agra-Europe 1997, S. 14).

Transport und Verarbeitung erfolgen nicht getrennt. Monsanto gibt dafür logistische und damit wirtschaftliche Gründe an. Eine Trennung sei auch nicht notwendig, weil sich die „neuen Sojabohnen“ nicht von herkömmlichen unterscheiden. Weder bestünden gesundheitliche Risiken wie z.B. ein verändertes Allergiepotential, noch existierten ökologische Risiken wie eine Übertragungsgefahr der Herbizidresistenz auf andere Pflanzen.

Der Nutzen der Herbizidresistenz soll darin liegen, daß insgesamt weniger Unkrautvernichtungsmittel durch gezieltere Einsatzmöglichkeiten auf die Felder aufgebracht werden müssen als bisher. Auch soll das zur resistenten Sojapflanze passende Komplementärherbizid umweltverträglicher als die herkömmlich in Sojakulturen eingesetzten Herbizide sein. Für die Landwirtschaft und die Umwelt ergeben sich so laut der Herstellerfirma erhebliche Vorteile.

Ziel dieser Arbeit ist es, den angegebenen Nutzen und die Unbedenklichkeit für die Gebiete Landwirtschaft, Umwelt und Gesundheit zu hinterfragen und einen Überblick über die möglichen Auswirkungen in diesen Bereichen zu geben. Der Schwerpunkt liegt hierbei in der Betrachtung der ökologischen Risiken, die im Anbau der herbizidresistenten Sojabohnen liegen können.

Ökologische Risiken sind bei einer Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen auf andere Art zu bewerten als bei solchen, die mit herkömmlichen Methoden der Züchtung erzeugt wurden. Der Unterschied zwischen den Verfahren liegt vor allem darin, daß die Züchtung nur eine Mischung des Genpools verschiedener Lebewesen innerhalb einer Art erreichen kann, wohingegen mit der Gentechnik sowohl Artgrenzen als auch Grenzen zwischen unterschiedlichen Organismenreichen überschritten werden können. Dieser Schritt wäre in der Natur unmöglich. In Fällen, in denen es zur Kreuzung von Individuen verschiedener Arten kommen kann, sind deren Nachkommen steril und können sich nicht weiterverbreiten. Die Natur besitzt also bestimmte Regelmechanismen, mit denen genau das verhindert wird, worauf

die Gentechnik aufbaut. Insofern kann die Gentechnik nicht als gradlinige Weiterentwicklung der Züchtung angesehen werden, denn ihre neuartige Qualität besteht gerade in der Überwindung der natürlichen Regelmechanismen.

Über das Verhalten von Organismen in Ökosystemen, die mit Hilfe der Gentechnik erzeugt werden, ist bisher erst wenig bekannt, da es sich um eine noch sehr junge Technik handelt und noch nicht viele Freisetzungen stattgefunden haben. Problematisch ist außerdem die Anwendung von Erkenntnissen aus räumlich und zeitlich begrenzten Versuchen auf eine kommerzielle und großflächige Nutzung. Langzeitfolgen sind so gut wie gar nicht abschätzbar.

Die Auswirkungen des Anbaus der transgenen Sojapflanzen auf die untersuchten Gebiete werden u.a. durch die neuen Einsatzmöglichkeiten des Komplementärherbizids bestimmt. In diesem Fall des Gentechnikeinsatzes kann sich die Betrachtung daher nicht alleine auf die gentechnische Veränderung der Pflanze und deren Folgen beziehen, sondern sie muß die Wirkungen des Herbizids einbeziehen.

Die Vorgehensweise dieser Arbeit besteht im Zusammentragen unterschiedlicher Literaturdaten und deren Auswertung und Diskussion innerhalb meiner Darstellung.

Zum speziellen Thema der herbizidresistenten Sojabohne gibt es bisher erst wenige detaillierte Veröffentlichungen. Die meisten Untersuchungen beziehen sich allgemein auf herbizidresistente Kulturpflanzen und nicht speziell auf Soja. Die leicht zugänglichen Materialien haben in der Regel den Anspruch, eine breite Masse anzusprechen und oft auch die Absicht, beim Leser oder bei der Leserin eine bestimmte Sichtweise entstehen zu lassen. Beides geht oft zu Lasten der sachlichen Richtigkeit und Genauigkeit. Die Materialsuche hat sich insofern teilweise schwierig gestaltet.

Mit meiner Darstellung möchte ich versuchen, verschiedene Aspekte der unterschiedlichen Themengebiete sachlich darzustellen und abschließend zu einer darauf basierenden Gesamteinschätzung zu gelangen.

2 Soja in der Landwirtschaft und Ernährung

2.1 Beschreibung der Pflanze

Die Sojabohne ist die Hülsenfrucht einer aus Ostasien stammenden Kulturpflanze, die dort schon seit rund 5.000 Jahren angebaut wird, und die vom Ende des 18. Jahrhunderts an auch im Westen immer stärker kultiviert worden ist. Die kultivierte Sojapflanze *Glycine max* (L.) Merrill stammt wahrscheinlich von der wilden Art *Glycine ussuriensis* Regel und Maack ab, die heute noch in Japan, Korea und im Nordosten der Volksrepublik China vorkommt. Auch andere Glycinenarten weisen große Ähnlichkeiten mit der kultivierten Sojabohne auf und lassen sich auch mit ihr kreuzen. (Bally 1962, S. 176)

Soja gehört zur Familie der Leguminosen und zur Unterfamilie der Papilionatae (Schmetterlingsblütler) und wird den Bohnengewächsen zugeordnet (Bally 1962, S. 176). Sie ist eine einjährige, aufrecht wachsende Kurztagspflanze von 30 bis 200 cm Höhe. Ihre Laubblätter sind langgestielt, unpaarig gefiedert und dicht mit braunen oder grauen Haaren besetzt. Das Wurzelsystem besteht aus bis zu 2 m langen Pfahlwurzeln und weit verzweigten Feinwurzeln. Sojapflanzen bilden traubig angeordnete Blüten, deren Farbe von weiß bis rot variieren kann. Die Blüten sind selbstfertil, d.h., sie können sich selbst befruchten. Nach der Befruchtung bilden sie dicht behaarte, ein bis fünf Samen - die Sojabohnen - enthaltende Hülsen aus. Größe, Form und Farbe der Bohnen können stark variieren (Schütt 1972, S. 88 / 89, Bertrand et al. 1984, S. 9). Sojabohnen haben den höchsten Nährwertgehalt aller Kulturpflanzen, weshalb sie als Öl- und Eiweißlieferanten zum unentbehrlichen Rohstoff in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie geworden sind.

In ihren Ansprüchen ähnelt die Sojabohne dem Mais und dem Wein, d.h., im Sommer sind hohe Temperaturen vonnöten, gute, lockere und neutrale Böden und mittlere Niederschläge vor allem während der Samenbildung (Franke 1992, S. 141).

Zur Familie der Leguminosen gehörend, wächst die Pflanze in Symbiose mit bestimmten Bakterien (Rhizobien), die mit ihren Wurzeln vergesellschaftet leben und dort kleine sogenannte Knöllchen bilden. Diese Knöllchen binden den Stickstoff aus der Bodenluft und geben ihn dann an die Pflanze ab. Durch diese Symbiose kann die Sojapflanze ihren hohen Stickstoffbedarf selbst decken und benötigt keine externe Stickstoffdüngung. Wenn Soja allerdings zum ersten Mal angebaut wird, müssen die Bakterien entweder bei der Aussaat direkt mit in den Boden gegeben oder das Saatgut muß damit geimpft werden (Bertrand et al. 1984, S. 9 / 10).

2.2 Herkunft der Sojabohne und Entwicklung zur Weltwirtschaftspflanze

Die Heimat der Sojapflanze ist Ostasien. Um das genaue Alter der Sojabohne wird noch gestritten. Ein erster schriftlicher Bericht über Sojabohnen stammt nach Bally (1962, S. 169) aus dem 3. Jahrtausend vor Christus: Damals zählte der Chinesische Kaiser Sheng-Nung in den Pen Ts'ao Kong Mu-Büchern die Sojabohne zu den fünf heiligen Körnerfrüchten neben Reis, Weizen, Gerste und Hirse. Jedes Jahr wurde die Sojabohne mit großen Zeremonien vom Kaiser selbst ausgesät.

In chinesischen Werken aus dem 2. Jahrhundert v. Chr. findet man Beschreibungen zur Bereitung von Sojasaucen, Sojamilch und Sojakäsequark. Tofu galt auch damals schon als leckere Speise und fand sogar als Opfergabe Verwendung. Die Öl-Bereitung aus Sojabohnen wird in den alten chinesischen Berichten nicht erwähnt. Wahrscheinlich hat diese dort erst viel später begonnen.

Während andere ostasiatische Länder die Sojakultur relativ früh übernahmen, wurde sie in Europa erst zu Beginn des 18. Jahrhunderts bekannt. Ein deutscher Botaniker - Engelbert Kaempfer -, der sich von 1691 bis 1692 in Japan aufgehalten hatte, gab die erste Beschreibung der Pflanze und einen Bericht über die vielen Verwendungsmöglichkeiten.

Die ersten planmäßigen Anbauversuche in Europa fanden 1880 durch den Wiener Botaniker Haberlandt statt. Obwohl er immer wieder auf die Nützlichkeit als Nahrungs- und Futtermittel hinwies, faßte die Kultur in Europa nicht richtig Fuß (Bally 1962, S. 170).

In den USA wurde die Sojabohne 1804 zum ersten Mal erwähnt. Der große Aufschwung setzte aber erst im 20. Jahrhundert ein (Bally 1962, S. 174). 1922 wurde eine der ersten Fabriken gegründet, die speziell auf die Sojaverarbeitung und Ölgewinnung ausgerichtet waren. Zwischen 1924 und 1926 betrug die Anbaufläche für Soja in den USA erst ca 770.000 Hektar (ha). Um 1939 waren es bereits 4.2 Millionen ha (Bertrand et al. 1984, S. 48).

Im Laufe der Jahre wurden - ausgehend von den asiatischen Sorten - neue und ertragreichere Sorten gezüchtet, und die Ernte wurde mechanisiert (Bertrand et al. 1984, S. 49).

Der zweite Weltkrieg und die veränderten Bedingungen in der 1949 ausgerufenen Volksrepublik China hatten eine nachlassende Einfuhr von Sojabohnen, -öl und -kuchen¹ aus Ostasien zur Folge (Bally 1962, S. 174). In den USA wurden daraufhin der Sojaanbau und die Verarbeitung durch Absatzgarantien und Subventionen forciert, und schließlich wurden auch Überschüsse erwirtschaftet. Der Exportsektor wurde aufgebaut, und innerhalb von nur zehn

¹ Sojapreßkuchen bzw. Sojakuchen ist der proteinreiche Rückstand, der bei der Ölgewinnung anfällt

Jahren übernahmen die USA Chinas Stellung auf dem internationalen Sojamarkt fast vollständig (Bertrand et al. 1984, S. 58).

Der Marshallplan von 1947 zum Wiederaufbau Europas und das „Gesetz über Handel und Hilfe“ von 1954 trugen dazu bei, neue Absatzmärkte zu schaffen. Mit diesem Gesetz sollten die amerikanischen Agrarüberschüsse abgebaut und die Verbindungen zu befreundeten Ländern verstärkt werden. Ländern, die von Naturkatastrophen heimgesucht werden, sollte geholfen werden können. Die Lebensmittelhilfe wurde zum Instrument der Außenpolitik.

Europa, Japan, die Länder des Ostblocks sowie des Nahen Ostens wurden durch diese „Nahrungsmittelhilfen“ vom amerikanischen Soja abhängig (Bertrand et al. 1984, S. 61 / 62).

In den sechziger Jahren wurde im Rahmen des GATT (Allgemeines Zoll- und Handelsabkommen) der Abbau von Zöllen und Mengenbeschränkungen für Soja beschlossen.

Die USA wollten Europa außerdem dazu bringen, den eigenen Getreide- und Ölfruchtanbau einzustellen und die entsprechenden Produkte nur noch aus den USA zu importieren. Dafür sollte Europa sich verstärkt auf die Viehzucht spezialisieren (Bertrand et al. 1984, S. 65).

Als die Vereinigten Staaten 1973 aufgrund einer Eiweißknappheit im eigenen Land ein Exportembargo über Sojabohnen und Sojapreßkuchen verhängten, wurde den Importländern ihre Abhängigkeit deutlich vor Augen geführt. So war z.B. ein großer Teil der europäischen und japanischen Geflügel- und Schweinezucht durch dieses Embargo von Futtermittelknappheit bedroht. (Bertrand et al. 1984, S. 78).

Nach dem Embargo konzentrierten sich auch Brasilien, Paraguay und Argentinien mit Nachdruck auf Soja-Anbauprogramme. In Brasilien brauchte die Ausbreitung der Sojabohne nur 15 Jahre. Zu Beginn der achtziger Jahre war sie dann auch hier zur wichtigsten Exportpflanze des Landes geworden und Brasilien trat bald in einen harten Konkurrenzkampf mit den USA auf den Sojaölmärkten der Welt. Auf dem sowjetischen Markt lösten die Brasilianer die US amerikanische Konkurrenz ab, als sie 1980 das von Präsident Carter verhängte amerikanische Embargo gegen die UdSSR umgingen (Bertrand et al. 1984, S. 80 / 87).

Der sich auch heute immer noch ausweitende Sojaanbau führte in den Anbauländern z.T. zu großen strukturellen Veränderungen. Folgen in den ärmeren Ländern waren oft Landflucht, Abhängigkeit und Hunger. Hier wird hauptsächlich für den Export produziert, wodurch die Produktion für die eigene Lebensmittelversorgung vernachlässigt wird.

Soja macht heute einen Anteil von 50 % der Ölsaatenproduktion auf dem Weltmarkt aus.

Hauptproduzent sind nach wie vor die USA. Aufgrund der großen wirtschaftlichen Bedeutung der Sojabohne besitzen sie damit eine Machtstellung auf dem internationalen Markt.

Neben den USA sind Brasilien, China und Argentinien die nächstgrößten Anbauländer.

	Anbaufläche (1000 ha)	Erträge (kg/ha)	Produktion (1000 Mio. t)
Weltproduktion	62653	2182	136725
USA	24738	2815	69626
Brasilien	11494	2162	24855
China	10277	1589	16329
Argentinien	5603	2020	11318

Tab.1: Sojaproduktion 1994 nach: FAO: Produktion Yearbook Vol 48, 1994, Rome: FAO

2.3 Die Rolle der Sojabohne in der menschlichen Ernährung und Verwendungsmöglichkeiten

In Asien ist die Sojabohne schon lange fester Bestandteil der alltäglichen Ernährung und gehört dort zu den wichtigsten Nahrungsmitteln. In den westlichen Ländern der Erde hat sie dagegen zuerst nur zögernd Einzug in die Nahrungsmittelproduktion genommen. Inzwischen ist sie allerdings auch hier kaum noch wegzudenken.

Ihre wirtschaftliche Bedeutung beruht auf der Doppelnutzung als Öl- und Eiweißpflanze. Das Eiweiß ist biologisch hochwertig, da es essentielle Aminosäuren wie z.B. Isoleuzin, Leuzin, Valin, Lysin und Arginin in hohen Konzentrationen enthält (Geisler 1991, S. 97/98). Die Fettsäurezusammensetzung ist ebenfalls vorteilhaft: Der Anteil an mehrfach ungesättigten Fettsäuren beträgt 61 % (American Soybean Association 1996, S. 3). Roh ist Soja allerdings ungenießbar, da es natürliche Bitterstoffe und auch Giftstoffe, wie z.B. Trypsin²-Inhibitoren, enthält (Die Verbraucher Initiative e.V. 1996, S. 10).

²Trypsin ist das wichtigste eiweißverdauende Enzym im Darm

Sojabohnen enthalten

30 bis 50 % Eiweiß,

14 bis 24 % Fett,

15 bis 23 % Kohlenhydrate

und daneben eine Vielzahl anderer Stoffe, wie z.B. Vitamine und Mineralstoffe (Pater/Terpinc 1993, S. 13).

Aufgrund ihrer Inhaltsstoffe kann die Sojabohne vielfältig genutzt werden: So wird sie in der Nahrungsmittelindustrie für die verschiedensten Zwecke verwendet, und ihre Bestandteile werden vielfach auch bei der Herstellung technischer Produkte eingesetzt (siehe 2.2.1). Heute enthalten zwischen 20.000 und 30.000 Lebensmittelprodukte Bestandteile aus Sojabohnen. Diese sind auf der Zutatenliste allerdings meist versteckt gekennzeichnet, z.B. als pflanzliche Fette, Emulgatoren, Lecithin, Ballaststoffe etc.

Der bei der Ölgewinnung zurückbleibende Sojapreßkuchen wird zum größten Teil zu Viehfutter weiterverarbeitet und geht so auf dem Umweg über das Tier ebenfalls wieder in die menschliche Ernährung ein. Allerdings muß, um ein Kilo tierisches Eiweiß zu erzeugen, die sieben- bis zehnfache Menge an pflanzlichen Proteinen verfüttert werden (Schomann 1993, S. 175).

Verwendungsmöglichkeiten:

Der größte Teil der Sojabohnen gelangt zur Weiterverarbeitung in die Ölmühlen, wo der Fettanteil vom übrigen Schrot getrennt wird. So werden 20 Prozent Sojaöl und 80 Prozent Sojaschrot gewonnen. Dieser Vorgang wird als *Trituration* bezeichnet und beinhaltet mehrere Vorgänge:

Zuerst werden die vom Staub befreiten und enthülsten Körner zerquetscht und so ein großer Teil des Öls gewonnen. Der verbleibende Rückstand, der auch Sojakuchen oder Sojapreßkuchen genannt wird, enthält dann aber immer noch viel Öl. Um dieses zu extrahieren, wird der Sojakuchen mit Hexan als Lösungsmittel behandelt. Anschließend wird das so gewonnene Öl im Vakuum auf 120° C erhitzt, um die Fettstoffe wieder von dem Lösungsmittel zu trennen. Aus 100 kg Bohnen erhält man so 72 kg entölten Sojakuchen und 18 kg Öl. Daneben fallen 10 kg Hülsen und übrige Reste an (Bertrand et al. 1984, S. 10, Die Verbraucher Initiative e.V. 1996, S. 4). Aus dem Rohöl lassen sich vor der Reinigung Lecithin, Fettsäuren, Glycerole und Sterole isolieren.

Produkte aus Sojaöl::

Nahrungsprodukte: Speiseöl, Bestandteil von Mischölen, Mayonnaise, Brat- und Backfetten, Salatsaucen und Brotaufstrichen.

Medikamente: Bestandteil von Antibiotika, Heil- und Arzneimitteln.

Technische Produkte: Bestandteil von Dichtungsmitteln, Desinfektionsmitteln, Isoliermaterial, Schädlingsbekämpfungsmitteln, Linoleumträgermaterial, Schmierfetten, Maschinenölen, Druckfarben, Schutzstoffen, Plastik, Kitt, Seifen und Lacken.

Sojalecithin wird verwendet als

Emulgator, Dispersionsmittel und Bestandteil von Medikamenten;

Antischaummittel für die Hefe-, Bier-, und Schnapsherstellung;

Dispersionsmittel bei der Farben-, Tinten-, Insektenpulver- und Gummiherstellung;

Hilfsmittel zur Benzingewinnung und Lederverarbeitung.

Emulsionsmittel bei der Kosmetik-, Farbstoff-, Mischfutter-, Textilien- und Chemiekalienproduktion.

Produkte aus Sojakuchen:

Sojaschrot wird verwendet als Grundstoff für Futtermittel³, Düngemittel, Vitaminpräparate und Pharmazeutika.

Entfettetes Sojamehl ist enthalten in Back-, Konditorei-, Teig- und Fleischwaren, Frühstücksflocken, Fertiggerichten, Milchmixgetränken, Kindernahrung, Suppen und Brotaufstrichen sowie in Klebemitteln, Pestiziden, Speziallamellen, Linoleum, Farben und Hefen.

Sojaeiweiß wird verwendet in Fleischprodukten, Kunstfleisch, Frappes, Fondants, Sojamilch und Mixgetränken sowie in Klebstoffen, Schaummitteln für Feuerlöscher, Imprägnierungsmitteln und bei der Faserverarbeitung.

Produkte aus ganzen Bohnen:

Fermentationsprodukte wie z.B. Sojasauce, Sojapaste, Miso, Natto, Tempeh, Sojadrinks, Tofu, Sojamilch und Sojakäse,

Gebackene Sojabohnen, Sojabutter, Vollfettsojamehl.

Vollfettsojamehl ist enthalten in Backwaren, Backmischungen, Bonbons, Tortengüssen, Suppen, Saucen, Fleisch- und Fischprodukten.

³ In der Futtermittelproduktion wird aus dem Schrot ein eiweißreiches Kraftfutter hergestellt, das vor allem an Geflügel, Schweine und Rinder verfüttert wird.

Geröstete Sojabohnen oder "Sojanüsse" sind enthalten in Bonbons, Konditoreiwaren, Keksg Gebäck, Biskuits, Keksfüllungen, Sojakaffee, Sojanußbutter und Gewürzen.

Puffsoja ist enthalten in Bonbons, Süßwaren, Nahrungsmitteln und Sojaflocken.

(Bertrand et al. 1984, S. 14 / 15 und Pater / Terpinc 1993, S. 21 / 22).

2.4 Ökologische Folgen

Der ausgeweitete Sojaanbau hat in den Anbauländern tiefgreifende ökologische Folgen nach sich gezogen, die vor allem aus den riesigen Monokulturflächen resultieren, auf denen Soja angebaut wird. Bei dieser modernen Form der landwirtschaftlichen Bearbeitung wird der Boden durch eine Aufhebung des Fruchtwechsels oder einer zu engen Fruchtfolge (bei der lediglich Soja und Weizen im Wechsel hintereinander gepflanzt werden) einseitig ausgelaugt. Dadurch entfallen positive Effekte wie die natürliche Unkrautunterdrückung durch die Vorfrucht und spezielle Soja-Schädlinge sowie Pflanzenkrankheiten breiten sich schneller aus. Um trotzdem eine hohe Ernte zu erzielen, werden in hohem Maße Düngemittel, Herbizide, Insektizide und Fungizide eingesetzt. Bis zu siebenmal in einer Wachstumsperiode spritzen amerikanische Sojafarmer chemische Unkrautvernichtungsmittel auf die Sojafelder (Die Verbraucher Initiative e.V. 1996, S. 2). Die Pestizide vernichten allerdings neben den Schädlingen auch Nützlinge wie z. B. die natürlichen Feinde der Schädlinge. Über die Nahrungskette oder direkt bei der Applikation der Pflanzenbehandlungsmittel werden schließlich auch größere Tiere wie z.B. Vögel mitvergiftet. Bei den Anbaupflanzen handelt es sich um wenige verschiedene Hochleistungssorten, die von großen Saatgutunternehmen angeboten werden. Aufgrund dieser schmalen genetischen Basis sind sie sehr stark anfällig für Schädlinge und Pflanzenkrankheiten. Die Felder müssen teilweise künstlich bewässert werden, was zu Versalzung der Böden führen kann (Die Verbraucher Initiative e.V. 1996, S. 3). Oft erfolgt auch eine unsachgemäße Handhabung bei der Anwendung. Lieberg (1988, S. 122) nennt als Beispiele hierfür Überdosierung, Arbeiten ohne Atemschutz, Mißbrauch von Landarbeitern als Markierungsposten für Sprühflugzeuge, mangelnde Hinweise auf potentielle Gefahren sowie geringe Kenntnisse über die Wirkungszusammenhänge der Stoffe. Daraus ergeben sich folgende Konsequenzen:

- latente Vergiftungserscheinungen, akute Vergiftungen und Tod durch Vergiftung sind unter Landarbeitern keine Seltenheit,

- Belastung und Verseuchung der Gewässer in Sojaanbaugebieten durch Pflanzenbehandlungsmittel,
- gesundheitsgefährdende Ausmaße der Trinkwasserbelastung in ländlichen Regionen zu Zeiten der Applikation,
- Rückstände von chlorierten Kohlenwasserstoffen in Lebensmitteln.

(Lieberg 1988, S. 123).

Ein weiteres Problem, das vor allem auf Brasilien zutrifft, bringt die Abholzung von Waldflächen zugunsten der Gewinnung von neuem Ackerland mit sich. Der Wald fällt in erster Linie dem ausgeweiteten Sojaanbau zum Opfer und ist im Süden des Landes schon fast ganz vernichtet.

Lieberg schreibt (1988, S. 119): „Mit dem Wald ging auch dessen Funktion als Wasserspeicher verloren. Da die Wasser-speicherfähigkeit der Ackerböden nicht im geringsten an die der Waldböden heranreicht, werden in der Folge aus hohen Niederschlägen regelrechte Überschwemmungen und aus Trockenperioden Dürrezeiten.“

Die ausgeräumte Landschaft und die moderne Bearbeitung der landwirtschaftlich genutzten Flächen schaffen zusammen mit den Einwirkungen von Wind und Wasser die Voraussetzungen für eine starke Bodenerosion (1988, S. 119). Vor allem kurz nach der Aussaat, wenn die Sojakeime noch wenig Wurzeln gebildet haben, kommt es zu schweren Abschwemmungen fruchtbaren Bodens (Pater / Terpinc 1993, S. 35). Nach Angaben des brasilianischen Landwirtschaftsministeriums gehen in Brasilien jährlich mehr als eine Mrd. Tonnen fruchtbare Erde durch Erosion verloren (Lieberg 1988, S. 120). Dafür sind die Gewässer in den Soja-Regionen stark verschlammt (Pater / Terpinc 1993, S. 35).

Wenn zwischen Ernte und Entstehung einer neuen Pflanzendecke Monate liegen, in denen der Boden ungeschützt den Einwirkungen von Sonnenstrahlung, Niederschlägen, Tag- und Nachttemperatur ausgesetzt ist, werden die oberen Bodenschichten pulverisiert und die unteren aufgrund der Schwere der Maschinen verdichtet. Das Regenwasser kann dann kaum noch in die unteren Schichten eindringen und fließt stattdessen oberirdisch ab, wobei es die lockere Ackerkrume mit wegschwemmt (Lieberg 1988, S. 120).

Anfang der achtziger Jahre warnte das brasilianische Landwirtschaftsministerium bereits vor dem weiteren Anbau von Soja mit dem Hinweis auf eine fortschreitende Pre-Desertifikation, da schon auf einer Fläche von insgesamt 5.000 ha sogenannte Kleinstwüsten entstanden waren. Um den Boden vor Erosion zu schützen, wird seit einiger Zeit die „Direktpflanzung“ angewandt, wobei auf das Unterpflügen der Ernterückstände der Vorfrucht verzichtet und die

Sojasaat in die Stoppeln hinein gesät wird. Somit ist eine permanente Bodenbedeckung gegeben und es können bis zu 70% der Bodenverluste eingespart werden.

Die Kehrseite dieses Verfahrens ist allerdings die notwendige Verdreifachung des Herbizideinsatzes (Lieberg 1988, S. 121).

3 Herbizidresistente Sojapflanzen

3.1 Herkömmliche Unkrautbekämpfungsmethoden und modernes Unkrautmanagement durch Herbizidresistenztechnik bei Sojapflanzen

Kulturpflanzen stehen im allgemeinen immer in Konkurrenz mit Wildpflanzen, die auf demselben Feld wachsen, dort aber unerwünscht sind. Sie konkurrieren um die Wachstumsfaktoren Licht, Wasser und Nährstoffe. Wenn eine bestimmte Unkrautdicke überschritten wird, kommt es zu Ertragsverlusten, weil die unerwünschten Wildkräuter die Kulturpflanzen in deren Wachstum behindern. Darüberhinaus können Unkräuter Wirtspflanzen von Krankheitserregern und Schädlingen sein und damit zur Erhaltung und Förderung anderer Schad-erregerpopenationen beitragen. Auch die Ernte wird durch Unkrautwuchs erschwert (Hurle 1992, S. 1). Im Sojaanbau ist das Unkrautproblem besonders groß, weil Soja durch die Fähigkeit, mit Hilfe der Knöllchenbakterien den Stickstoff aus der Luft zu binden, auch für die Begleitflora gute Wachstumsbedingungen schafft. Dies führt teilweise zu erheblichen Ernteverlusten.

Unkräuter sind andererseits aber auch wesentliche Elemente natürlicher Regelmechanismen der Agrobiozönose (Pflanzenpopulation auf landwirtschaftlich genutzten Flächen). Sie wirken sich durch verschiedene nützliche Eigenschaften stabilisierend auf Agrarökosysteme aus:

- Sie dienen als Wirtspflanze für Pilze und Tiere, insbesondere für Nützlinge.
- Durch Bewurzelung können Unkräuter zu einer Verbesserung der Bodenstruktur und des Bodenlebens führen.
- Sie können der Bodenerosion entgegen wirken.
- Sie können Nitrat- und Herbizidauswaschungen reduzieren.

(Hock 1995, S.13)

Trotzdem überwiegen ab einer gewissen Dichte die negativen Konsequenzen der Verunkrautung, deren Reduktion deshalb zu einem bestimmten Zeitpunkt erfolgen muß, um Ertragseinbußen zu vermeiden (Hurle 1992, S. 2/3).

Die Unkrautbekämpfung geschah früher durch handarbeitsintensive Methoden, wie z.B. Jäten und Hacken. Diese Methoden wurden im Zuge der zunehmenden Technisierung der Landwirtschaft durch mechanische Verfahren ergänzt bzw. abgelöst. 1945 erfolgte der Durchbruch der chemischen Unkrautbekämpfung mit der Entwicklung von organischen Herbiziden aus der Gruppe der Phenoxyalkansäuren, was bald zu deren weltweiten Einsatz führte (Hurle 1992, S.1).

Heute ist die chemische Unkrautbekämpfung mit Herbiziden im Gegensatz zu manuellen und mechanischen Verfahren relativ gesehen preisgünstiger, und sie zeichnet sich durch gute Wirksamkeit und hohe Wirkungssicherheit aus (Hurle 1992, S. 3).

Erst durch Langzeitbeobachtungen und allgemein gestiegenes Umweltbewußtsein fanden die ökologischen Nebenwirkungen der Herbizide mehr und mehr Beachtung, und es entstand ein erheblicher Druck auf die Hersteller. Daher ist die chemische Industrie mittlerweile darum bemüht, besonders „umweltverträgliche“ Pflanzenschutzmittel zu entwickeln, die besser abbaubar sind und eine vergleichsweise geringe Persistenz besitzen. Diese Herbizide gehören jedoch fast ausschließlich zur Gruppe der Breitbandherbizide (Gassen/Minol 1996, S. 403/404). Sie greifen an zentraler Stelle in den Pflanzenstoffwechsel ein und sind damit prinzipiell für alle Pflanzenarten toxisch - eben auch für die Nutzpflanzen. Der Anwendung dieser Herbizide waren somit bisher enge Grenzen gesetzt (Heß 1994, S. 76). Sie wurden bisher in Feldkulturen nur vor dem Keimen (Auflaufen) des Saatgutes eingesetzt.

Mit Hilfe der Gentechnik wurden mittlerweile verschiedene Nutzpflanzen resistent gegen den Wirkstoff von jeweils einem solchen Breitbandherbizid gemacht, d.h. die Pflanzen tolerieren eine bestimmte Aufwandmenge des Herbizids, während alle anderen Pflanzen davon abgetötet werden. Dies erweitert den Anwendungsbereich der sogenannten nicht-selektiven Herbizide in landwirtschaftlichen Kulturen (van den Daele 1996, S. V [Vorwort]). Mit der Herbizid-resistenz-Technik soll eine neue Form des „Unkrautmanagements“ ermöglicht werden, nämlich der Einsatz von Totalherbiziden während der Wachstumsphase der jeweiligen Kulturpflanze. Dies soll den Anwendungsbereich der angeblich umweltverträglicheren Herbizide erweitern und den Herbizidverbrauch insgesamt verringern. Das kann erreicht werden, weil diese Herbizide ein größeres Wirkungsspektrum haben und damit den Einsatz mehrerer verschiedener Unkrautvernichtungsmittel ersetzen. Durch die Möglichkeit der Anwendung während der Vegetationsperiode entfällt außerdem die Vorbehandlung der Felder.

Der US amerikanische Chemiekonzern Monsanto hat mit gentechnischen Verfahren eine Sojabohnensorte hergestellt, die resistent ist gegen den Wirkstoff Glyphosat, dem Wirkstoff des Breitbandherbizids „Roundup“, das bereits seit mehr als zwanzig Jahren von derselben Firma verkauft wird. Die dagegen resistente Sojabohnensorte wurde von Monsanto „Roundup-Ready“-Soybean genannt. Sie verträgt den Einsatz von Roundup nun also auch während der gesamten Vegetationsperiode. Bisher konnte das Herbizid im Sojaanbau nur vor dem Keimen der Pflanzen angewendet und als sogenanntes Voraufbauherbizid genutzt werden. Bei einem Einsatz nach dem Auflaufen des Saatgutes hätte es neben den unerwünschten Unkräutern auch die jungen Kulturpflanzen mitvernichtet.

Die Roundup-Ready-Sojabohne und das Komplementärherbizid Roundup werden zusammen von der Firma Monsanto vermarktet und verkauft.

3.2 Wirkungsweise von „Roundup“

Der Wirkstoff des Breitbandherbizids Roundup ist Glyphosat ($C_3H_8NO_5P$ oder N-[Phosphonomethyl]-Glycin). Er hemmt die Biosynthese essentieller Aminosäuren in der Pflanze (Bobbink 1996, S. 1/Monsanto, S. 2).

Obwohl das Herbizid schon 1971 auf den Markt gebracht wurde, konnte erst 1980 der primäre Wirkungsort des Glyphosats in der Pflanze identifiziert werden. Steinrücken und Amrhein fanden heraus, daß der Wirkstoff das sechste Enzym des Shikimatweges hemmt, nämlich die 5-Enolpyruvylshikimat-3-phosphat-Synthase (EPSPS) (Johanning 1987, S. 1 und 4). Die EPSP-Synthase überträgt normalerweise einen Enolpyruvylrest aus Phosphoenolpyruvat (PEP) auf die 5-Hydroxygruppe des Shikimat-3-phosphats (S-3-P). Produkte dieser Reaktion sind Enolpyruvylshikimat-3-phosphat sowie anorganisches Phosphat. Durch die Hemmung der EPSP-Synthase durch Glyphosat kommt es zur Akkumulation von Shikimisäure in der Pflanze (Joop 1985, S. 4/5) sowie zur Unterbrechung der Synthese der aromatischen Aminosäuren Phenylalanin, Tyrosin und Tryptophan, die wiederum für die Synthese von Proteinen notwendig und bei den meisten Pflanzen für Wachstum und Überleben essentiell sind (Bobbink 1996, S. 1).

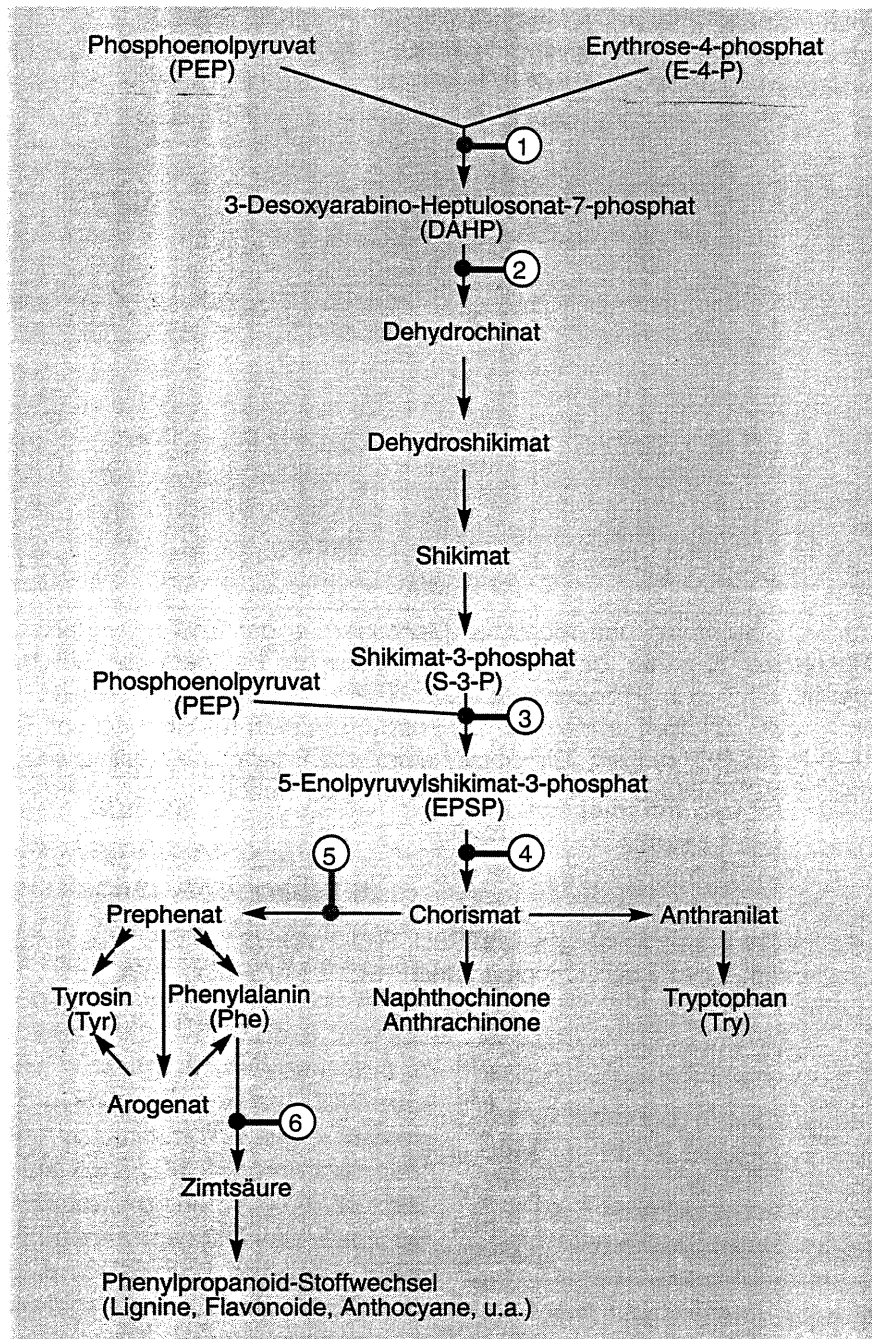


Abb. 1: Synthese von aromatischen Aminosäuren im Shikimatweg (aus Hock, 1995, S. 191)

Roundup ist ein nicht selektives Blattherbizid mit systemischer Wirkung, d.h., bei Aufbringung auf die grünen Pflanzenteile gelangt das Herbizid in die Stengel und Blätter und verteilt sich von dort in der gesamten Pflanze bis in die Wurzeln. Die Blätter welken, färben sich gelb und später braun und gleichzeitig zersetzt sich das Wurzelwerk (Monsanto 1, S. 2). Roundup tötet als nicht selektives Breitbandherbizid unerwünschte Pflanzen gleichermaßen ab wie auch Kulturpflanzen, die mit dem Mittel in Berührung kommen. Eine Ausnahme bilden hier Gewächse mit verholzten Stämmen, da Glyphosat nur über die grünen Pflanzenteile wirkt (Monsanto 1, S. 2).

Bisher wurden glyphosathaltige Unkrautbekämpfungsmittel angewandt

- zur Vorbereitung des Ackers vor der Aussaat einer neuen Kultur (auch bei Direktsaat),
- zur Rekultivierung von stillgelegten Flächen,
- zur Einzelpflanzenbekämpfung in bestimmten Kulturen,
- zur Unkrautbekämpfung im Weinbau, bei Kernobst, in Baumschulen, in Laub- und Nadelholzkulturen und
- auf Wegen und Plätzen mit Holzgewächsen.

(Monsanto 2, S. 9/10)

Im Sojaanbau konnte Roundup bisher nur vor der Aussaat bzw. bis zur Keimung der Sojapflanzen eingesetzt werden (Information Sojabohne, 1996, S. 5). Da Roundup nur über die grünen Pflanzenteile wirkt, bleiben ungekeimte Samen nach Angaben von Monsanto unbeeinflusst (Monsanto 1, S. 2).

Die neu entwickelte Roundup-Ready-Sojabohne ist nun durch den Einbau des Gens für die EPSP-Synthase aus einem gegen Glyphosat unempfindlichen Bodenbakterium widerstandsfähig gegen das Herbizid gemacht worden. Die Produktion der essentiellen Aminosäuren des Shikimatweges läuft bei ihr trotz der Hemmung des pflanzlichen EPSPS-Enzyms weiter, nämlich über das zusätzlich produzierte bakterielle EPSPS-Enzym (CP4-EPSPS) (Information Sojabohne, KI 1, 1996, S. 2).

Auf Feldern, die mit der Roundup-Ready-Sojabohne bepflanzt sind, kann Roundup also auch nach dem Keimen der Pflanzen gespritzt werden, ohne diese zu vernichten. Die Unkräuter dagegen sterben ab, weil sie nicht mehr in der Lage sind, die für ihr Wachstum notwendigen Aminosäuren zu produzieren.

3.3 Gentechnischer Hintergrund zur Entwicklung der „Roundup-Ready“-Sojabohne

Da die Erbinformation aller Lebewesen auf die gleiche Art gespeichert ist, kann DNA verschiedener Organismen im Reagenzglas neukombiniert werden. Als Hilfsmittel dienen hierbei Enzyme, die in den Zellen auch natürlicherweise die Funktionen des Auf-, Ab- oder Umbaus von Nucleinsäuren erfüllen.

Mit Hilfe von Restriktionsendonucleasen (Restriktionsenzymen) wird die DNA an bestimmten Stellen geschnitten. Die Enzyme erkennen spezifisch eine Folge von 4 bis 6 Nucleotiden, heften sich an diese Sequenz und katalysieren die Spaltung der DNA genau an dieser Stelle (BLL 1995, S. 30). Meist liegen diese Schnitte in den beiden Strängen der Doppelhelix um einige Nucleotide versetzt, so daß sogenannte „klebrige Enden“ entstehen. Zwei Moleküle mit solchen Enden können sich verbinden, wenn ihre überstehenden Basen komplementär sind (Vogel 1992, S. 156/94).

Um verschiedene DNA-Fragmente anschließend zu einem neuen DNA-Molekül zu ligieren, werden Ligasen eingesetzt. Sie verbinden die Zucker-Phosphat-Ketten zweier DNA-Moleküle, wenn diese sich durch Basenpaarung aneinandergelagert haben (Vogel 1995, S. 42). Sie katalysieren also die Verknüpfung des Phosphatrestes eines Nucleotides mit dem Zuckerrest (Desoxyribose) eines anderen (BLL 1995, S. 30).

Für den Einbau rekombinanter DNA in einen Organismus werden sogenannte Vektoren benötigt, also Transportmoleküle, mit deren Hilfe ein fremdes Gen in eine Zelle gelangt und dort in das entsprechende Protein übersetzt wird. Als Vektoren werden entweder bestimmte Viren oder Plasmide eingesetzt (BLL 1995, S. 31). Plasmide sind ringförmige DNA Moleküle, die sich in Bakterienzellen vermehren können und häufig von Natur aus die Gene für eine Antibiotikaresistenz tragen (Vogler 1992, S. 96).

Zur Herstellung der Roundup-Ready-Sojabohne wurde von Monsanto eine kommerzielle Züchtungsvariante des Saatgutunternehmens Asgrow Seed Company verwendet. Sie trägt die Bezeichnung *Glycine max L. var. A 5403*. Die Glyphosat-tolerante Sojabohnenlinie erhielt davon abgeleitet die Bezeichnung GTS 40-3-2 (Padgett et al 1994, S. 46/47).

Der Sojabohnenlinie A 5403 wurde das Plasmid PV-CMGT04 eingesetzt, das sich von dem sogenannten pUC119 Plasmid aus *Escherichia coli* ableitet und das npt-II-Gen⁴ für die Kanamycin-Antibiotikaresistenz enthält, das unter Kontrolle eines mikrobiellen Promoters steht (Padgett et al. 1995, S. 1452).

⁴neomycin phosphotransferase type II gene

Zum Einsatz der Fremd-DNA muß das ringförmig geschlossene Plasmid nun mit Hilfe eines Restriktionsenzym an einer Stelle geöffnet werden. Die Fremd-DNA wird mit dem gleichen Enzym behandelt. Durch Ligasen werden Plasmid und DNA-Fragmente anschließend miteinander in neuer Kombination verbunden. Die Plasmide werden dann in *Escherichia coli*-Bakterien eingeschleust und mit den Bakterien vermehrt (BLL 1995, S. 35).

Um der Sojabohnenlinie A 5403 die Herbizid-Toleranz zu verleihen, wurde dem Plasmid in zweifacher Kombination jeweils die Gene für das Chloroplastentransitpeptid (CTP) aus der *Petunie* sowie für die 5-Enolpyruvylshikimat-3-phosphat-Synthase (EPSPS) aus dem Bodenbakterium *Agrobacterium spec.* eingebaut. Diese Gene stehen jeweils unter der Kontrolle des Promoters E35S aus dem *Blumenkohlmosaikvirus* (Cauliflower Mosaic Virus CaMV), der als Startsequenz für die Synthese der Proteine CTP und EPSPS fungiert. Als Stop-Sequenz wirkt ein Nopalinsynthase Terminator. Außerdem wurde dem Plasmid als zusätzliches Markergen das *gus*-Gen für die β -Glucuronidase aus einem *coli* Bakterium eingesetzt. Dieses Enzym wandelt in der Nachweismethode ein bestimmtes Substrat in eine blaue Fällung. Durch diese Reaktion kann geprüft werden, ob der Einbau der Fremd-DNA in das Plasmid erfolgreich gewesen ist (Padgett 1995, S. 1452). Nach Vermehrung der rekombinanten Plasmide in Wirtsbakterien (*E. coli*) und Selektion⁵ der Bakterien, die ein Plasmid aufgenommen haben, das die neue Erbinformation in sich trägt, müssen diese mittels gentechnischer Verfahren in die Zielpflanze eingebracht werden.

Monsanto wandte hierfür die Partikelgunnmethode an. Für die Übertragung von Genen werden bei dieser physikalischen Methode mit DNA benetzte schwere Partikel (Mikrogeschosse) mit einer Partikelpistole in hoher Geschwindigkeit direkt in die Pflanzenzellen oder in Organellen hineingeschossen (Koschitzky/Maßfeller 1994, S. 14). Im Falle der Sojabohnen wurden hierfür mit DNA beschichtete Goldpartikel eingesetzt (Padgett et al. 1994, S. 50). Die notwendigen Geschwindigkeiten werden durch Stoß- oder Druckwellen erreicht. Die Goldpartikel verbleiben nicht in der Zielzelle, die DNA wird lediglich abgeladen. Der Einbau der Fremd-DNA ist zufällig und nicht zielgerichtet. Ob das integrierte Fremdgen anschließend in ein aktives Protein übersetzt wird, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Aufgrund der mechanischen Belastung kann es z.B. zu Schädigungen der integrierten Fremd-DNA kommen. Die Erfolgsquote bei diesem Verfahren ist relativ gering. In der Praxis muß der Vorgang bis zu tausendmal wiederholt werden. Anschließend müssen aus den beschossenen transgenen Zellen oder Organellen wieder intakte Pflanzen regeneriert werden (BLL 1995, S. 44).

⁵mit Hilfe der Antibiotikaresistenz

Das Plasmid wurde in mehreren Teilen in das Genom der Pflanzenzellen eingebracht. Das eine Genkonstrukt enthielt die EPSPS- und CTP-Gene sowie deren Regulationseinheit (Promotor und Terminator), das andere Genkonstrukt enthielt darüber hinaus auch noch das *gus*-Marker-gen. Im Verlauf der weiteren konventionellen Züchtung eliminierte die Zelllinie 40-3-2 das zweite Genkonstrukt (welches das *gus*-Gen enthielt). Auch enthielten die Zelllinien nach der Transformation nicht mehr das Antibiotikaresistenzgen. Es wird jedenfalls davon ausgegangen, daß die GTS 40-3-2 nur ein neu eingeführtes Genkonstrukt enthält, weil sich andere nicht mehr nachweisen ließen.

Das neue Genkonstrukt umfaßt ca. 2600 Basenpaare und beinhaltet den pflanzlichen E35S-Promotor, das Petunien-Chloroplasten-Transitpeptid und die bakterielle EPSPS-Synthase sowie Teile des Nopalin-Synthase Terminators. Es ist stabil in das Genom integriert worden und verhält sich wie ein dominantes Gen, wird also wie andere Gene weitervererbt (Padgett 1995, S. 1451).

4 Bedeutung der herbizidresistenten Sojabohnen für die Landwirtschaft

4.1 Wirtschaftliche Bedeutung von Herbiziden in der Landwirtschaft

In der industrialisierten Landwirtschaft ist menschliche Arbeitskraft teuer, der Einsatz von Herbiziden dagegen relativ preiswert. Die chemische Unkrautbekämpfung ist also die finanziell günstigere Alternative. Daraus ergibt sich die große wirtschaftliche Bedeutung der Herbizide (Hock 1995, S. 4). Gerade im Sojaanbau spielen sie eine große Rolle, weil das Unkrautproblem hier oft schwerwiegender ist als in anderen Kulturen (Siehe 3.1).

Neben den unter 3.1 besprochenen Konkurrenzfaktoren der Unkräuter erschweren diese auch die maschinelle Ernte. Damit der Einsatz der Mähdrescher und der anderen teuren Erntemaschinen effektiv bleibt, dürfen keine Unkräuter die Beerntung erschweren. Der Feuchtigkeitsgehalt des Ernteguts muß außerdem so gering wie möglich sein. Unkräuter erhöhen den Feuchtigkeitseintrag in der Regel jedoch durch den Wassergehalt, der mit ihrer Biomasse in das Erntegut gerät.

Für bestimmte Ackerbaumethoden wie das Direktsaatverfahren, welches besonders im Sojaanbau zur Erosionsminderung angewendet wird, werden wirkungsvolle Herbizide benötigt, um den Unkraut-Aufwuchs zu verhindern (Hock 1995, S. 4).

Herbizide besitzen allerdings hauptsächlich in den Industrienationen eine derart große Bedeutung. In weniger entwickelten Ländern, wo es noch viele Klein- und Mittelbetriebe gibt und wo der Mischkulturanbau überwiegt, erfolgt die Unkrautregulierung meistens durch Handarbeit. Hier herrscht eher ein Arbeitskräfteüberangebot, die finanziellen Mittel für Herbizide fehlen dagegen meistens (Wolff 1997 S. 70).

Unter den weltweit eingesetzten Pflanzenschutzmitteln sind fast die Hälfte Herbizide. 1990 betrug ihr Anteil am Umsatz des Pflanzenschutz-Weltmarktes 49 %, der der Fungizide dagegen 20 % und der Insektizide 29 %. (Die übrigen 2 Prozent verteilen sich auf sonstige Pflanzenschutzmittel.) In Nordamerika belief sich 1990 der Anteil der Herbizide sogar auf 73 %. Von den in Sojakulturen eingesetzten Pflanzenschutzmitteln tragen die Herbizide den Hauptanteil zum Gesamtumsatz bei, während Fungizide und Insektizide nur ungefähr 1/8 ausmachen. Der größte Herbizidmarkt findet sich in den USA. Danach folgen Frankreich, Japan, Deutschland und Brasilien. Das umsatzgrößte Herbizid war 1990 und 1992 Glyphosat. Der jährliche Umsatz liegt hier mit umgerechnet deutlich über einer Mrd. DM an der Spitze des Gesamtumsatzes der Herbizide (Hock 1995, S. 1/2/3).

Das weltweit bekannteste Glyphosatherbizid ist Roundup von Monsanto. Die Firma bestreitet damit zwischen 15 und 17 % ihres Gesamtumsatzes (Bobbink 1996, S. 1).

4.2 Wirtschaftliche Interessen an der Einführung der HR-Technik und der Roundup-Ready-Sojabohne

Die konventionelle Landwirtschaft ist also unter den heute vorherrschenden Bedingungen durch verschiedene Faktoren auf chemische Unkrautvernichtungsmittel angewiesen. Auch die chemische Industrie ist durch die starke Fixierung auf Pestizide im allgemeinen und Herbizide im Besonderen abhängig vom weiteren Herbizideinsatz in der Landwirtschaft.

Die Agrochemieunternehmen sind allerdings unter massiven Druck geraten. Einerseits zwingen sinkende Erlöse durch niedrige Erzeugerpreise die Landwirte zu sparsamerem Umgang mit Herbiziden. Eine Unkrautbekämpfung findet deshalb oft erst oberhalb einer wirtschaftlichen Schadensschwelle statt - wenn also eine kritische Dichte an Unkraut erreicht ist (Hurle 1992, S. 2). Außerdem hat ein wachsendes Umwelt- und Gesundheitsbewußtsein zur schwindenden Akzeptanz des allgemeinen Pestizideinsatzes geführt. In den Industrieländern und bei Verbrauchern der mittleren und höheren Einkommensgruppen überall in der Welt werden

heute veränderte Erwartungen an Nahrungsmittel gestellt. Bedenken werden unter anderem in Bezug auf Gesundheitswert und Umweltverträglichkeit erhoben. Diese Forderungen beeinflussen wiederum rückwirkend die Agrar- und Ernährungswirtschaft (OECD 1992, S. 108/115).

Auf der Weltkonferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro (UNCED) wurde ein Aktionsplan für nachhaltig umweltgerechte Entwicklung - die Agenda 21 - beschlossen. Dort wird im Rahmen der Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft der integrierte Pflanzenschutz gefordert. Auch dieser hat zum Ziel, die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln auf ein Minimum zu reduzieren (Projektstelle Umwelt & Entwicklung 1995, S. 14).

Während sich die Märkte für Pflanzenschutzmittel - unter denen die Herbizide bei den meisten Agrochemikalienherstellern die Produktführer sind - in den 60er Jahren verdreifacht und in den 70er Jahren vervierfacht haben, hat sich das Wachstum dieser Märkte in den letzten Jahren erheblich verlangsamt.

Durch herbizidresistente Nutzpflanzen soll nun der Markt für Herbizide wieder ausgeweitet werden (OECD 1992, S. 114/115). Die Firmen versuchen, sich Marktanteile für ihre Herbizide zu sichern, indem sie diese zusammen mit dem Saatgut der entsprechend resistenten Kulturpflanzen verkaufen. Die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages erwartete in ihrem Bericht über die Chancen und Risiken der Gentechnologie ein Verschwinden vieler der 815 sich auf dem Markt befindenden Herbizide und dafür einen mengenmäßig größeren Einsatz der Komplementärherbizide (Catenhusen/Neumeister 1990, S. 63/64).

Durch die HR-Technik können bereits bekannte Wirkstoffe am Markt gehalten, bzw. ihr Einsatz kann erweitert werden, anstatt daß neue Pflanzenschutzpräparate entwickelt werden müssen. Dies ist für die jeweiligen Unternehmen insofern günstiger, als sich neues Saatgut mit einem geringeren Forschungsaufwand und kürzeren Entwicklungszeiten herstellen läßt als neue Pestizide. Die Produktion einer neuen Saatgutvariante kostet im Endeffekt ungefähr 2 Mio. US -Dollar, die Entwicklung eines neuen Pestizids dagegen ca. 40 Mio. Dollar (Wolff 1997, S. 71/35).

Monsantos Roundup nimmt unter den chemischen Unkrautvernichtungsmitteln schon jetzt eine Spitzenstellung ein, wobei es bis vor kurzem noch keine einzige für Glyphosat tolerante Kultur gab (Hock 1995, S. 189). Im Jahr 2000 läuft allerdings das amerikanische Patent aus, und auch andere Firmen können dann Roundup herstellen. Der Konzern versucht jetzt, die Käufer

weiterhin an sein Herbizid zu binden. Zum einen wurde eine neue, optimierte Variante von Roundup entwickelt, die unter dem Namen Roundup Ultra verkauft wird (Bobbink 1996, S. 1). Sie enthält das sogenannte Bi-aktiv-System, das aus einem 'hinsichtlich Toxikologie und Umweltverhalten optimierten Netzmittel' besteht, sowie einem 'molekularen Spezialaktivator'. Sie sollen für eine schnelle Durchdringung der Blattoberfläche sorgen und die Wirkung auf die zu störenden Stoffwechselvorgänge unterstützen. Als weitere anwendungstechnische Vorteile nennt Monsanto:

- Es ist kein Zusatz von schwefelsaurem Ammoniak erforderlich,
- eine verbesserte Regenfestigkeit ab 2-3 Stunden nach der Anwendung,
- mischbar mit Ammonium-Nitrat-Harnstoff-Lösung (AHL),
- kurze Wartezeit zwischen Spritzung und Bodenbearbeitung,
- Spritzung ist auch auf taufeuchten Unkräutern möglich.

(Monsanto 2, S. 11)

Zum anderen werden die dagegen resistenten Roundup-Ready-Sojabohnen angeboten bzw. im Doppelpaket mit Roundup Ultra zusammen verkauft (Bobbink 1996, S. 1).

Monsanto reagiert mit den herbizidresistenten Sojabohnen auf den Druck der Landwirte, die aus ökonomischen und umweltrelevanten Gründen sowie auch aus Gründen der Verbraucherakzeptanz grundsätzlich dazu bereit sind, den Herbizideinsatz zu verringern.

Wenn insgesamt mehr Sojafarmer Roundup benutzen als vor der Einführung der Roundup-Ready-Sojabohnen, verliert Monsanto auch dann nicht, wenn tatsächlich der einzelne Landwirt oder die einzelne Landwirtin weniger davon auf die Felder spritzt.

4.3 Auswirkungen der Roundup-Ready-Sojabohnen auf die landwirtschaftliche Praxis

Durch die neue Art des Umgangs mit dem Komplementärherbizid Roundup in dagegen resistenten Sojakulturen ergeben sich einige Veränderungen bei der Unkrautbekämpfung.

Monsanto verspricht den Landwirten und Landwirtinnen große Einsparungen im Herbizidverbrauch und ein erleichtertes Unkrautmanagement durch gezielteren Pflanzenschutz.

Die Umweltverträglichkeit von Roundup und der ökologische Nutzen der genmodifizierten Sojabohne werden dabei immer wieder stark betont (siehe Information Sojabohne 1996, KI 1). Ähnlich argumentieren auch die Befürworter der HR-Technik. Im folgenden möchte ich die

möglichen Verbesserungen bei der Unkrautbekämpfung durch die Roundup-Ready-Sojabohnen erläutern und anschließend die zu befürchteten Risiken und Probleme darstellen, die sich für die Landwirtschaft ergeben können.

4.3.1 Mögliche Verbesserungen bei der Unkrautbekämpfung

Verminderter Herbizideinsatz:

Die Firma Monsanto betont, daß sich durch die HR-Technik die eingesetzte Herbizidmenge um bis zu 30 % vermindern ließe. Begründet wird diese Aussage damit, daß bisher im Sojaanbau bis zu fünf verschiedene selektive Herbizide eingesetzt werden und nun nur noch eines nötig sei - nämlich das Totalherbizid Roundup. Dieses bräuchte auch nicht mehr wie bisher prophylaktisch vor der Aussaat auf das Feld aufgebracht werden, sondern nur noch bei Bedarf, wenn eine bestimmte Unkrautdichte - die sogenannte Schadensschwelle - erreicht ist. Heute werden nach Angaben von Monsanto 52 % der Herbizide vorbeugend und 48 % bei tatsächlichem Bedarf eingesetzt.

1993/94 wurden pro Hektar Soja-Anbaufläche 1,13 kg Herbizide versprüht. Im Versuchsanbau benötigte man dagegen mit herbizidresistenten Sojabohnen nur 0,74 kg (Information Sojabohne, KI 1, 1996, S. 2).

Geringerer Kostenaufwand:

Der durchschnittliche Kostenaufwand für die Unkrautbekämpfung betrug 1993/94 pro Hektar 53,42 US-Dollar. Dieser soll sich mit dem neuen System auf 23,30 US-Dollar reduzieren. Das neue Saatgut ist dafür zwar etwa 25 Prozen teurer als als das nicht gentechnisch veränderte, aber die Einsparungen durch den verringerten Herbizideinsatz bei gleichbleibenden Ernteerträgen sollen sich dennoch für die Farmer lohnen (Information Sojabohne 1996, KI 1, S. 2).

Besondere Umweltverträglichkeit des Herbizids:

Nach Angaben von Monsanto hat Roundup trotz seiner hohen Wirksamkeit auch bei längerfristiger Anwendung keine negativen ökologischen Auswirkungen. Glyphosat wird demnach schnell durch Mikroorganismen im Boden zu Kohlendioxid, Ammoniak und Phosphat abgebaut (Information Sojabohne, KI 1, 1996, S. 2). Untersuchungen zu den gesundheitlichen, sicherheitstechnischen und umweltrelevanten Auswirkungen haben laut Monsanto ergeben, daß

Roundup nicht krebserregend ist, keine Schäden an Nachkommenschaft und Erbgut bewirkt, und daß es ungiftig für Fische und Fischnährtiere ist, ebenso für Bienen und viele Nutzinsekten (Monsanto 1, S. 9; Monsanto 3, S. 1).

Nutzung der positiven Unkrauteffekte:

Durch die HR-Technik besteht die Möglichkeit, durch ein längeres Belassen der Unkräuter im Bestand deren ökologischen Vorteile stärker zu nutzen. Diese wären z.B. die Förderung des Vorkommens von Nützlingen und die allgemeine Stabilisierung von Agrarökosystemen (Hurle 1992, S. 3/). Durch den hinausgezögerten Herbizideinsatz kann laut Monsanto auch der Bodenerosion entgegen gewirkt werden. Der dichte Pflanzenbewuchs durch Unkräuter hält die Erde zwischen der Saat fest, bis die Sojapflanzen handgroß sind. Durch den Roundup-Einsatz wird die gesamte Unkrautdecke dann in eine Mulchschicht umgewandelt, die ebenfalls eine Schutzfunktion übernimmt (Information Sojabohne, KI 1, 1996, S2/3). Auch das zur Minderung der Erosionsgefahr eingesetzte Direktsaatverfahren kann durch wirkungsvollere Unkrautbekämpfung mit dem Totalherbizid erleichtert werden (van den Daele et al. 1994, Heft 12, S. 49).

Optimierung des Applikationszeitpunktes:

Bei der Unkrautbekämpfung mit glyphosathaltigen Mitteln muß vor allem bei mehrjährigen Unkrautarten die Behandlung zu einem Zeitpunkt erfolgen, in der die Wildkräuter sich in einem sehr empfindlichen Wachstumsstadium befinden, damit der Transport des Pflanzengiftes bis in die Wurzeln gewährleistet ist (Bobbink 1996, S. 2). Wird ein Feld wie bisher nur vor dem Keimen der Saat mit Roundup behandelt, können die Unkräuter, die danach auflaufen, nicht erfaßt werden, weil die Sojapflanzen sich dann zur selben Zeit wie die jungen Unkräuter in dieser empfindlichen Phase befinden und von Roundup vernichtet werden würden. In Roundup-Ready-Sojabohnen-Kulturen kann Roundup dagegen als Nachauflaufherbizid genau zu dem entscheidenden Zeitpunkt eingesetzt werden, an dem seine Wirksamkeit am größten ist. Die Aufwandmenge kann dadurch reduziert werden, weil der Wirkstoff besser aufgenommen und in der Pflanze verteilt wird (Hurle 1992, S. 4).

Geringere Ertragsverluste:

Die Unkräuter sollen mit Roundup einfacher und wirkungsvoller bekämpft werden als durch bisherige Nachauflaufherbizide, wobei die resistenten Sojapflanzen von Roundup weniger

geschädigt werden als herkömmliche Sorten durch den Einsatz von selektiven Herbiziden (vgl. van den Daele et al. 1996, S. 184). Dadurch werden die Ertragseinbußen durch Unkrautwuchs sowie die Verluste wegen Schädigung der Kultur durch Herbizide vermindert.

Arbeitserleichterung und Flexibilitätsgewinne:

Eine Arbeitserleichterung wird dadurch erreicht, daß nur ein Herbizid eingesetzt wird und dieses nicht mit anderen Wirkstoffen gemischt werden muß und auch Problemunkräuter von dem Totalherbizid miterfaßt werden. Gleichzeitig kann das neue System die Zeitspanne für die Behandlung im Nachauflaufverfahren erweitern. Bei Bedarf kann sogar eine unterlassene Behandlung nachgeholt werden, ohne daß Schäden an der Sojapflanze befürchtet werden müssen (van den Daele et al. 1996, S. 184).

4.3.2 Risiken und Probleme für die Landwirtschaft

Die genannten Möglichkeiten und Verbesserungen für die landwirtschaftliche Praxis durch die HR -Technik werden von Kritikern und Befürwortern kontrovers diskutiert. Die Roundup-Ready-Sojabohne ist *eine* Nutzpflanze, die durch gentechnische Verfahren gegen ein Unkrautvernichtungsmittel resistent gemacht worden ist. Sie steht in einer Reihe mit anderen transgenen Pflanzen, die gegen unterschiedliche Herbizide von verschiedenen Firmen resistent gemacht wurden. Die Chancen und Risiken dieser Technik werden von mehreren Seiten untersucht. Die Abteilung 'Normbildung und Umwelt' des Wissenschaftszentrums Berlin hat zum Beispiel von 1991 bis 1993 ein Verfahren zur Technikfolgenabschätzung für den Anbau von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz mitorganisiert und begleitet. Alle wichtigen Problemfelder der HR-Technik wurden mit Hilfe von Gutachten untersucht und diskutiert.

Umweltschutz- und Verbraucherverbände, Institutionen wie das Öko-Institut Freiburg, Greenpeace und die Verbraucherzentralen in Deutschland haben sich ebenfalls mit dem Thema auseinandergesetzt und entsprechendes Informationsmaterial herausgegeben. Die öffentliche Diskussion geriet durch die Importgenehmigung der Roundup-Ready-Sojabohne für Europa im Jahr 1996 in Gang, als damit zu rechnen war, daß die erste Lieferung der neuen Ernte im November 1996 einen Anteil von 2 % genmodifizierter Soja enthalten würde.

Nachfolgend sollen die möglichen Risiken aufgezeigt werden, die von nicht-kommerzieller Seite geäußert werden.

Probleme durch höhere Wirksamkeit von Glyphosat gegenüber selektiven Herbiziden:

Der Einsatz von Glyphosat in Ackerkulturen während der Vegetationsperiode wird durch die herbizidresistenten Sojabohnen erst ermöglicht. Das Totalherbizid kann dadurch wie bisherige selektive Herbizide im Nachauflauf eingesetzt werden. Bei unsachgemäßer Anwendung können allerdings größere negative Auswirkungen auf die Umwelt als durch die bisherigen Methoden der chemischen Unkrautbekämpfung auftreten (Hurle 1992, S. 28).

Die bisherige Anwendung verschiedener selektiver Herbizide soll auf Roundup als einziges eingesetztes Unkrautvernichtungsmittel reduziert werden. Die Vorsaatbehandlung der Felder entfällt. Zwar kann durch beides die Herbizidmenge vermindert werden, doch findet hier lediglich ein Mengenvergleich statt, der die unterschiedliche toxikologische Wirksamkeit der Mittel und deren ökologische und gesundheitliche Auswirkungen außer acht läßt (Naumann 1996, S. 6). Roundup zählt zwar zu den als „umweltfreundlich“ eingestuften Herbiziden, doch gibt es Studien, die entgegen den Aussagen von Monsanto die Giftwirkung von Glyphosat auf Insekten, Regenwürmer, Fische, Vögel, Säugetiere und auch Menschen bestätigen (Bobbink 1996, S. 3/4). (Siehe 5.6)

Erhöhung des Herbizideinsatzes:

Da die herbizidresistente Sojaapflanze höhere Konzentrationen des Komplementärherbizids verträgt, kann es bei unsachgemäßer Handhabung zu einer Erhöhung des Herbizideinsatzes kommen (UBA 1997, S. 85). Die natürlichen Anwendebarrrieren für den Gebrauch von Herbiziden entfallen, weil keine Grenzen mehr durch die Empfindlichkeit der Kulturpflanze gegeben sind. Die Farmer müssen diese Grenze selbst setzen. Hier liegt vor allem in Entwicklungsländern ein erhöhtes Mißbrauchspotential vor. Die bisherigen Erfahrungen mit dem Pestizideinsatz in Entwicklungsländern deuten darauf hin, daß die Technik hier nicht optimal eingesetzt werden wird (Wolff 1997, S. 75). Gründe sind hierfür vor allem Ausbildungsdefizite, fehlendes Know-how und mangelndes ökologisches Bewußtsein (Neubert/Knirsch 1996, S. 213). Deshalb wäre eine umfassende Information der Landwirte und Landwirtinnen nötig (UBA 1997, S. 85). Dazu fehlen in den Ländern aber oft die organisatorischen Kapazitäten und bei Konzernen wie Monsanto das nötige Personal. Auch kann man bezweifeln, daß Chemiekonzerne an einer Aufklärung zum sparsamen Einsatz des Herbizids innerhalb der HR-Technik primär interessiert sind. Jörg Naumann schreibt (1996, S. 6), daß Monsanto in den Informationen für Soja-Farmer in Argentinien bereits einen höheren Einsatz von Roundup empfiehlt, nämlich: vor der Aussaat; nach Auflaufen der Sojaapflänzchen und

immer dann, wenn Unkraut auftaucht. Dies wäre ein Beispiel für eine bewußte Fehlinformation und würde zwangsläufig den Mißbrauch der Technik zur Folge haben.

Ein weiteres Problem besteht in der möglichen Verdrängung des Mischkulturanbaus, der vor allem in Entwicklungsländern von Kleinbauern betrieben wird. Bei dieser ökologisch sinnvollen Anbaumethode würde die zweite Kultur von Roundup angegriffen werden, solange nur Sojabohnen gegen das Herbizid resistent sind. Wenn der Mischkulturanbau aufgegeben würde um Roundup anwenden zu können, hätte dies einen Herbizideinsatz auf Flächen zur Folge, auf denen vorher die Unkrautregulierung per Hand geschah (vgl. Wolff 1997, S. 70/74). Generell könnten mechanische Methoden der Unkrautbekämpfung weiter verdrängt werden (van den Daele et al. 1996, S. 185).

Entwicklung resistenter Unkräuter:

Wenn sich der Anbau von Roundup-Ready-Sojabohnen-Bohnen durchsetzt, ist damit zu rechnen, daß sich der prozentuale Anteil des Glyphosat-Einsatzes erhöht. Andere Herbizide würden dadurch im Sojaanbau durch das Komplementärherbizid verdrängt werden, wenn dieses den zur Verfügung stehenden selektiven Nachauflaufherbiziden technisch und ökonomisch überlegen ist (van der Daele et al. 1994, S. 50/66). Hier besteht die Gefahr, daß sich bei ständigem Einsatz des gleichen Herbizids resistente Unkräuter entwickeln können. Dies geschieht in der Natur durch Mutation und Selektion resistenter Biotypen aus einer Unkrautart. Ursache hierfür ist der starke Selektionsdruck durch die Anwendung des gleichen Wirkstoffes (Hurle 1992, S. 9).

Wenn sich Resistenzen abzeichnen, wird die Dosierung des Herbizids vermutlich zunächst erhöht werden, weil sie als solche erst erkannt werden, wenn 1/3 der Fläche befallen ist. Durch die erhöhte Dosierung wird wiederum die Selektion beschleunigt (van den Daele 1994, S. 83). Die resistenten Arten hätten keine Gegenspieler in der Agrobiozönose, die sie zurückdrängen könnten. Sie wären nicht mehr mit Roundup bekämpfbar und ließen sich nur mit neuen Wirkstoffen und/oder Wirkstoffkombinationen bekämpfen (Hurle 1992, S. 9). Gegen einen neuen Wirkstoff wären die Roundup-Ready-Bohnen dann aber nicht resistent, so daß deren versprochene Vorteile in dieser Hinsicht nicht mehr zum Tragen kämen. Roundup müßte mit einem selektiven Wirkstoff gemischt werden, der die Sojapflanzen nicht angreift. Dann wäre auch das Argument der einfachen Anwendung durch nur ein Herbizid hinfällig und ebenso das Versprechen des verminderten Herbizideinsatzes. Das Gegenteil würde erreicht werden: eine sich immer schneller drehende Giftspirale in der Landwirtschaft. Neue und wirkungsvollere Herbizide müßten eingesetzt werden (Tappeser/Wurz 1996, S. 17, Bobbink 1996, S. 2), oder

es müßten weitere Resistenzgene in die Nutzpflanze eingebracht werden. Ein „Resistenzwettbewerb“ zwischen Kulturpflanzen und Wildkräutern würde beginnen (Wolff 1997, S. 75). Roundup wird seit über 20 Jahren eingesetzt. Bis vor kurzem waren noch keine resistenten Unkrautarten bekannt. Das Risiko für eine Glyphosat-Resistenzentwicklung durch Unkrautmutanten, die zum Ausgangspunkt resistenter Unkrautpopulationen werden könnten, wird relativ gering eingestuft (van den Daele et al. 1994, Heft 12, S. 80). Allerdings konnten in Laborexperimenten schon resistente Zelllinien selektiert werden. Durch eine erhöhte Aktivität des EPSPS-Enzyms entwickelten z.B. Zellkulturen von Tabak eine größere Resistenz gegen Glyphosat (Hock 1995, S. 194).

Monsanto hatte bisher die Meinung vertreten, daß eine Resistenzentwicklung bei Unkräutern nicht zu erwarten sei. Doch 1996 wurde in Australien ein gegen Glyphosat resistentes Unkraut gefunden. Es handelt sich dabei um das Ryegrass (Roggengras), welches dort in landwirtschaftlichen Kulturen das am weitesten verbreitete Unkraut ist (Bobbink 1996, S. 2, Tappeser/Wurz 1996, S. 17). Genauso könnten in anderen Regionen durch die Konzentration auf Roundup im Sojaanbau resistente Unkräuter entstehen, die zu hartnäckigen Problemunkräutern in der Landwirtschaft werden würden.

Wirkungslücken und Problemunkräuter:

Glyphosat ist ein sehr wirkungsvolles Totalherbizid, doch kann dieser Wirkstoff nicht die Idealvorstellung eines *kompletten* Wirkungsspektrums erfüllen. Dies hieße, daß alle Unkräuter, Ausfallgetreide etc. in allen Kulturen erfaßt werden würden. Die Wirksamkeit dieses Wirkstoffes ist jedoch - wie unter Punkt 4.3.1 beschrieben - in hohem Maße vom Entwicklungsstadium der zu bekämpfenden Pflanzen abhängig (Hurle 1992, S. 27).

Manche Pflanzen reagieren außerdem weniger empfindlich auf den Wirkstoff, weil entweder zu wenig davon aufgenommen wird oder er nicht ausreichend weit in der Pflanze verteilt wird. Diese Pflanzen werden unterschiedlich stark geschädigt, stehen aber immer noch in Konkurrenz zu den Kulturpflanzen (Bobbink 1996, S. 2).

Brombeerpflanzen sind z.B. relativ unempfindlich gegenüber Glyphosat, Acker- und Sumpfschachtelhalm, kleine Brennessel und Weißklee lassen sich gar nicht durch den Wirkstoff bekämpfen (Monsanto 3, S. 7/9).

Problemunkräuter relativieren die Vorteile der HR-Technik ähnlich wie resistent gewordene Unkräuter. Es muß entweder eine höhere Dosierung oder eine Wirkstoffkombination angewandt werden.

Geringere Verschiebbarkeit des Applikationszeitpunktes:

Durch die Herbizidtechnik sollen die Farmer an Flexibilität bei der Unkrautbekämpfung gewinnen, weil Roundup zu jedem Zeitpunkt vom Auflaufen bis zur Ernte ausgebracht werden kann. Sogar ein vorerst unterlassener Einsatz soll problemlos nachzuholen sein. Praktisch gesehen läßt sich der Applikationszeitpunkt allerdings nicht nennenswert verschieben, ohne eine höhere Dosierung vorzunehmen als im früheren Wachstumsstadium der Unkräuter nötig wäre. Auch wäre dann die Schadensschwelle schnell überschritten, bei der die Sojapflanzen der Konkurrenz der Unkräuter unterliegen würden. Darüber hinaus könnte es zu Schädigungen durch das Befahren der Sojafelder kommen, sofern die Spritzbrühe nicht per Flugzeug ausgebracht wird. Vor allem bei größeren Betrieben kann der Landwirt oder die Landwirtin evtl. sogar gerade unter Zeitdruck kommen, weil Glyphosat eben in einem bestimmten Wachstumsstadium am wirksamsten ist und bestimmte Witterungsbedingungen oder Arbeitsspitzen die Applikation genau zu diesem Zeitpunkt unmöglich machen könnten (van den Daele et al. 1994, Heft 12, S. 54/55). Denn um in die Pflanze einzudringen und dort verteilt zu werden, muß Roundup mindestens eine bis sechs Stunden an der Pflanze haften (Bobbink 1996, S. 2). Eine Regenfestigkeit verspricht Monsanto ab zwei bis drei Stunden, wobei dies als Mindestwert anzusehen ist (Monsanto 2, S. 11).

Die Möglichkeit, Roundup theoretisch zu jedem Zeitpunkt einsetzen zu können, gibt den Farmern zwar Gelegenheit, gerade nach Schlechtwetterperioden einen Herbizideinsatz nachzuholen, doch führt diese Praxis wiederum zu geringerer Wirkungseffizienz von Roundup, wenn die empfindliche Phase der Unkräuter überschritten ist. Dies führt wieder zu höheren Dosierungen.

Kein Schutz vor Bodenerosion:

Probleme der Bodenerosion in der Landwirtschaft sind im allgemeinen nicht auf den Herbizideinsatz zurückzuführen, sondern auf den großflächigen Monokulturanbau und Fehler bei der Bodenbearbeitung sowie der Standort- und Fruchtartenwahl (van den Deale et al. 1996, S. 152). Auch die HR-Technik wird für Sojaanbauflächen keine Lösung dieser Probleme mit sich bringen. Positive Effekte durch das längere Stehenlassen der Unkräuter in der Kultur und durch die Mulchschicht, die durch das Abtöten der Unkräuter entsteht, könnten höchstens die Folgen der ungünstigen Landbautechnik kompensieren, insgesamt liegen die Auswirkungen auf die Bodenerosion aber in einer nicht relevanten Größenordnung (van den Deale et al. 1996, S. 152).

Unterstützung der konventionellen Landwirtschaft:

Die Roundup-Ready-Sojabohne erweitert die Möglichkeiten des Herbizideinsatzes im Sojaanbau und hat damit nur in der konventionellen Landwirtschaft Sinn, weil dort Herbizide eingesetzt werden. Dieses System der Intensivlandwirtschaft mit und Hohertragssorten ist angewiesen auf einen hohen Aufwand von Düngung und Pflanzenschutzmitteln. Aus Ertragsgründen wird hier in großen Monokulturen und sehr engen Fruchtfolgen angebaut (van den Daele 1994, Heft 12, S. 48).

Da z.B. im ökologischen Landbau keine Herbizide eingesetzt werden, besteht hier auch kein Bedarf nach dagegen resistenten Sojabohnen (Ökosoj e.V. 1996, S. 2). Zudem haben die ökologischen Anbauverbände bislang in ihren Richtlinien den Verzicht auf Gentechnik festgelegt und ihren Vertragspartnern den Einsatz gentechnisch veränderter Organismen oder deren Produkte verboten.

Durch herbizidresistente Sojabohnen wird also die konventionelle Landwirtschaft gestützt und es wird weiter auf die Anwendung chemischer Unkrautbekämpfungsmittel gesetzt (Katzek 1996, S. 3).

Auch für den bodenschonenden Mischkulturanbau, bei dem verschiedene Nutzpflanzen auf demselben Feld angebaut werden, hat die Roundup-Ready-Sojabohnen keinen Nutzen, solange sie die einzige Roundup-resistente Pflanze ist. Das Komplementärherbizid würde die anderen Kulturpflanzen ebenso wie die Unkräuter vernichten. Hier müßten also alle angebauten Kulturen eine Resistenz gegen dasselbe Herbizid aufweisen, damit keine der Nutzpflanzen geschädigt wird (Neubert/Knirsch 1996, S. 212).

Neue Abhängigkeiten:

Wer Roundup-Ready-Saatgut kauft, muß der Firma Monsanto vertraglich zusichern, daß er oder sie ausschließlich Roundup und keine anderen glyphosathaltigen Mittel zur Unkrautbekämpfung einsetzt. Aus der Ernte darf kein eigenes Saatgut gewonnen werden und Vertretern des Unternehmens muß aus Kontrollzwecken zu jederzeit Zugang zu den Feldern gewährt werden (Greenpeace 1997, S. 1). Landwirte und Landwirtinnen, die das transgene Saatgut kaufen, binden sich damit an die chemische Industrie und werden gewissermaßen von ihr abhängig und kontrollierbar.

5 Ökologische Risiken des Anbaus herbizidresistenter Sojabohnen

5.1 Die besondere Situation durch den gentechnischen Eingriff

Zur Herstellung der Roundup-Ready-Sojabohne wurde Erbmateriale über natürliche Rekombinationsgrenzen hinweg miteinander verbunden. Unter natürlichen Bedingungen und auch durch konventionelle Züchtungsmethoden wäre es nicht möglich gewesen, Genabschnitte des *Cauliflower Mosaic Virus*, der *Petunie* und des *Bodenbakteriums Agrobacterium sp.* in die Sojapflanze hineinzubringen. Durch gentechnische Methoden ist es allerdings möglich, in der Natur bestehende Artenschränke zu durchbrechen. Hierin liegt die besondere Qualität der Gentechnik, und je nach Perspektive und Einstellung werden darin die Chancen und Risiken dieser Technik gesehen.

Die Roundup-Ready-Sojabohne ist ein gentechnisch veränderter Organismus (GVO) im Sinne des Gentechnikgesetzes und der EU-Richtlinie 90/220/EEC. Über das Verhalten von transgenen Organismen in natürlichen Ökosystemen ist bisher erst wenig bekannt. Vor allem zu möglichen Langzeitwirkungen gibt es z.Zt. aufgrund der erst sehr geringen Erfahrungen mit Freisetzungen von GVO noch keine gesicherten Erkenntnisse (UBA 1996, S. 5). Es muß mit überraschenden Wirkungen in der Umwelt gerechnet werden, die nicht aus den Erfahrungen mit natürlich oder durch konventionelle Züchtung entstandenen Organismen abgeleitet werden können (Weber 1996, S. 62), denn: „Nur ein Teil der beobachtbaren Eigenschaftsveränderungen kann mit der Funktion, die das übertragene Gen im Spenderorganismus hat - bzw. damit, was man darüber weiß, - in Verbindung gebracht werden. Weitere durch den gentechnischen Eingriff hervor-gerufene Eigenschaftsveränderungen sind einer synergetischen Risikokonzeption zufolge auf Veränderungen von Kontextbezug zurückzuführen, die die genetische Information mit-bestimmt. Solche Effekte entziehen sich Prognosen und sind - wenn überhaupt - nur im Nachhinein experimentell ermittelbar“ (Weber 1995, S. 111). Unvorhersehbare Ereignisse können z.B. durch sogenannte Positions- oder pleiotrope Effekte auftreten.

Ökologische Daten wurden in den letzten 10 Jahren im Rahmen von Freisetzungsverfahren oft gar nicht erhoben. Es gibt also keine ausreichende Datenbasis, die eine Beurteilung des ökologischen Risikos zuläßt (Tappeser/Wurz 1996, S. 23).

Von daher könnte man den Anbau der herbizidresistenten Sojabohnen auch als laufenden Langzeitversuch betrachten, dessen Risiken momentan noch nicht abzusehen sind. Das

Problem hierbei ist allerdings, daß die Rückholbarkeit der Trans-Gene aus der Umwelt und damit eine Korrekturmöglichkeit hier nur bedingt gegeben ist (UBA 1996, S. 1).

Aus den genannten Gründen und aufgrund der Unsicherheit über die möglichen Folgen einer Ausbreitung der Trans-Gene muß wegen der Nebenwirkungen des gentechnischen Eingriffs grundsätzlich mit größeren ökologischen Auswirkungen gerechnet werden.

Im folgenden möchte ich die möglichen ökologischen Risiken darstellen, die durch den großflächigen Anbau herbizidresistenter Sojabohnen und den damit verbundenen veränderten Einsatz des Komplementärherbizids Roundup entstehen.

5.2 Übertragungsgefahr auf andere Pflanzen

Herbizidresistenzen sind nur in der Kultur der jeweiligen Nutzpflanze erwünscht, hier also in der Sojakultur. Eine Übertragung der gentechnisch inserierten Merkmalseigenschaft auf andere Organismen muß als Risiko gewertet werden, da über das Umweltverhalten der Trans-Gene erst zuwenig bekannt ist und ihr Transfer weitreichende Probleme mit sich bringen könnte, die man zum Teil gar nicht vorhersehen und abschätzen kann. Im Fall von Herbizidresistenzgenen kann der Transfer auf Wildpflanzen sowohl Probleme auf landwirtschaftlich genutzten Flächen bereiten oder auch Populationsverschiebungen an anderen Standorten nach sich ziehen. Diese Populationsverschiebungen können sich auf Pflanzen, deren Schädlinge und Nützlinge sowie auf die mit ihnen vergesellschaftete Mikroflora beziehen. Die Parameter der zukünftigen Evolution der Nutz- und Wildpflanzen können durch die mit Hilfe der Gentechnik in sie eingebrachten oder durch Gentransfer in die Umwelt gelangten Trans-Gene verändert werden (Weber 1995, S. 113).

Möglichkeiten für eine Übertragung der gentechnisch erzeugten Herbizidresistenz sind

- *vertikaler Gentransfer*: die pollenvermittelte Übertragung von Erbgut auf verwandte Arten;
- *horizontaler Gentransfer*: die nicht pollenvermittelte Übertragung von Erbmaterial auf einen Organismus anderer Art.

5.2.1 Vertikaler Gentransfer

Der Transfer von Genen zwischen Angehörigen einer Pflanzenart erfolgt beim vertikalen Gentransfer durch die Mechanismen der geschlechtlichen Vermehrung. Bei Samenpflanzen ist der Pollen üblicherweise der Vektor zur Übertragung der genetischen Information von einem Individuum zum anderen. Er wird von den männlichen Geschlechtsorganen der Pflanze gebildet und muß auf die Narbe eines Individuums der gleichen Art treffen und dort auskeimen. Von den weiblichen Geschlechtsorganen werden später die Samen gebildet.

Eine Voraussetzung zum Auskeimen ist die spezifische Erkennungsreaktion zwischen Pollen und Narbe. Beide müssen einander entsprechen und zusammen passen. Dies ist allerdings nicht ausschließlich nur bei der selben Art möglich, sondern kann auch bei nah verwandten Arten zutreffen (Catenhusen/ Neumeister 1990, S. 224/225, v. Sengbusch 1995, S. 155). Das Kreuzen genetisch verschiedener individueller Populationen wird Hybridisierung genannt. Zwar gibt es viele biologische Barrieren, die eine interspezifische Hybridisierung verhindern können, doch bleibt diese trotzdem ein weit verbreitetes Phänomen. Allerdings können Hybridpflanzen unter Umständen steril sein. Das gilt auch für einen großen Teil der heutigen Kulturpflanzen, deren Hochertragssorten oft sterile Hybridpflanzen sind (Brandt, 1995, S. 201). Viele Hybridpflanzen können sich aber auch fortpflanzen und Ausgangspunkt für die Entstehung neuer Varietäten sein (Catenhusen/Neumeister 1990, S. 225).

Sojapflanzen sind zwar hauptsächlich Selbstbefruchter, aber die Pollen können trotzdem auch durch Wind und bestäubende Insekten auf andere Sorten und verwandte Wildpflanzen oder Unkräuter übertragen werden. Monsanto behauptet, es sei ausgeschlossen, daß sich die genveränderten Sojapflanzen mit anderen Pflanzen kreuzen. Als Begründung nennt das Unternehmen, daß es in den USA und in Europa keine nahen Verwandten der Sojapflanze gibt. Es ist aber abzusehen, daß der Anbau von bzw. der Handel mit Roundup-Ready-Sojabohnen dauerhaft nicht auf diese Gebiete beschränkt bleiben wird. Werden Anbau und Handel auf weitere Länder ausgeweitet, besteht die Gefahr, daß in bestimmten Regionen Kreuzungspartner vorhanden sind und die rekombinanten Gene in der Umwelt weiterverbreitet werden. So können sich Sojapflanzen z.B. mit anderen Arten der Gattung Glycine kreuzen, die man in Australien und Asien einschließlich Japan findet. Zwischen kultivierten Sojapflanzen und Glycine Soya - einem weit verbreiteten Unkraut in Japan - sind schon Hybridbildungen beobachtet worden (Naumann 1996, S. 6).

Durch den Handel wird das Saatgut der transgenen Pflanzen Hunderte von Kilometern zwischen Herstellern, Landwirten und lebensmittelverarbeitenden Betrieben transportiert. Verluste sind dabei unvermeidlich. Eben weil Soja eine überwiegend selbstbefruchtende Pflanze ist, benötigt sie zur Vermehrung keine nahen artverwandten Pflanzen. Wenn also auch nur wenige Bohnen auf fruchtbaren Boden fallen und keimen, können sie sich relativ leicht unkontrolliert ausbreiten. (Naumann 1996, S. 4)

5.2.2 Horizontaler Gentransfer

Unter horizontalem Gentransfer versteht man die Übertragung von genetischer Information beliebiger Herkunft auf eine Zelle bzw. einen vielzelligen Organismus (v. Sengbusch 1995, S. 151). Die Weitergabe des genetischen Materials geschieht hierbei unabhängig von einer sexuellen Fortpflanzung. Bei transgenen Pflanzen interessiert vor allem die mögliche Weitergabe des in das pflanzliche Genom integrierten Fremd-Gens an Bakterien bzw. Bodenmikroorganismen (Brandt 1995, S. 213).

Zwischen verschiedenen Prokaryonten ist in der Natur schon häufig ein horizontaler Gentransfer nachgewiesen worden. Für einen „Transkingdom“-Gentransfer, bei dem das Erbmateriale zwischen Organismen aus unterschiedlichen Reichen (der Mikroorganismen, Pflanzen oder Tiere) übertragen wird, gibt es bislang erst wenige Nachweise (Broer/Pühler 1992, S. 11). Die parasexuellen Mechanismen, durch die beim horizontalen Gentransfer DNA von einer Zelle auf eine andere übertragen wird, sind Konjugation, Transduktion und Transformation.

Bei der *Konjugation* wird zwischen Donor- und Rezipientenzelle eine Konjugationsbrücke gebildet, über die die genetische Information (z.B. ein Plasmid) übertragen wird.

Bei der *Transduktion* dienen Bakteriophagen (Bakterienviren) als Überträger der genetischen Information.

Eine *Transformation* liegt vor, wenn nackte DNA von einer Donorzelle freigesetzt wird und von einer Rezipientenzelle aufgenommen wird (Broer/Pühler 1992, S. 12).

In den Rezipientenzellen sorgen Restriktionsendonukleasen meistens dafür, daß bevorzugt arteigene DNA überlebt und ins bakterielle Genom integriert wird. Dennoch ist der horizontale Gentransfer bei Prokaryonten stark verbreitet. Broer und Pühler gehen sogar davon aus, daß

die Prokaryonten Restriktion und Modifikation als ein System entwickeln mußten, mit dem sich Bakterien vor Überfremdung mit nicht spezieiseigener DNA schützen, gerade weil der horizontale Gentransfer hier so gut entwickelt ist (Broer/ Pühler 1996, S. 92/93).

Auch bei Pflanzen ist ein horizontaler Gentransfer möglich. Z.B. findet auch die Konstruktion von GVO auf diesem Weg statt, bei der jede genetische Information über Artgrenzen hinweg in Pflanzenzellen eingebracht, dort stabil integriert und zur Expression gebracht werden kann (v. Sengbusch 1995, S. 151).

Unter Freilandbedingungen können Makromoleküle wie DNA oder RNA von Pflanzenzellen aufgenommen werden. Voraussetzung hierfür ist, daß die Zellwand lokal beschädigt ist, damit solche Komplexe mit der Membran direkt in Kontakt treten können. Die Zellen verfügen allerdings über eine Reihe verschiedener Nukleasen zur Abwehr nicht arteigener DNA. Dennoch kommen auf diese Weise z.B. auch Virusinfektionen zustande. In intakten, artenreichen Ökosystemen sind die Pflanzen weniger angreifbar als in Monokulturen (v. Sengbusch 1995, S. 151).

Die gesamte Umgebung lebender Organismen steckt voller DNA aus absterbenden und abgestorbenen Zellen aller im entsprechenden Lebensraum vorkommenden Arten. Wie häufig solche DNA aufgenommen und in das pflanzliche Genom integriert und dann exprimiert wird, ist noch unklar (v. Sengbusch 1995, S. 152).

In pflanzlichen Geweben gibt es allerdings keine Zellwanderung. Fremd-DNA kann, wenn sie in eine Zelle eingedrungen ist und in das Genom integriert wurde und dort zur Expression gelangt, nicht in andere Zellen vordringen. Dazu fehlen ihr die nötigen Selbstreplikations- und Ausbreitungssignale. Es ist daher relativ unwahrscheinlich, daß sie in Meristeme (Bildungsgewebe) gelangt und auf nachkommende Generationen übertragen werden könnte (v. Sengbusch 1995, S. 153).

Ein Nachweis für einen horizontalen „Transkingdom“-Gentransfer konnte bisher erst für den Transfer von Bakterien zur Pflanze gefunden werden (Broer/Pühler 1996, S. 93).

Ausgeschlossen werden kann die umgekehrte Möglichkeit - also eine Übertragung von Pflanzen zu Mikroorganismen - dadurch aber nicht. Zu bedenken ist vor allem, daß sich HR-Gene in wesentlichen Punkten von natürlichen Genen unterscheiden (Broer/Pühler 1996, S. 94). So handelt es sich z.B. in herbizidresistenten Sojapflanzen um ein Genkonstrukt, das neben der Information für die EPSP-Synthase auch mit einem pflanzenviralen Promotor versehen ist. Dieser Promotor kann auch in Prokaryonten aktiv werden und dort die

Expression des Resistenzgens ermöglichen. Außerdem wurde die Fremd-DNA in ein bakterielles Plasmid eingesetzt, um in die Sojapflanze eingebaut zu werden. Da ein Plasmid einen eigenen Replikations-Startpunkt besitzt, kann es sich selbstständig in den Zellen vermehren. Dies ermöglicht die Integration und Weitervererbung der DNA in bakterielle Genome. Die Wahrscheinlichkeit eines Gentransfers aus der Pflanze in bestimmte Bodenbakterien liegt demnach hier wohl höher als bei nicht chimären Genen (vgl. Broer/Pühler 1996, S. 94). Hinzu kommt, daß das Resistenzgen in Roundup-Ready-Sojabohnen ursprünglich auch aus einem Bodenbakterium stammt, nämlich aus dem *Agrobacterium spec.*. Dies erleichtert die Integration im Empfänger genom eines anderen Bodenbakteriums. Unklar ist allerdings, ob der direkte Transfer zwischen den Bodenbakterien ohne den Umweg über die transgene Pflanze hier nicht evtl. wahrscheinlicher ist (van den Daele et al. 1996, S. 97). Allerdings wäre das natürliche EPSPS-Gen nicht mit einem viralen Promotor und einem bakteriellen Plasmid gekoppelt, welche für seine erfolgreiche Expression und die selbstständige Vermehrung im Empfänger genom sorgen würden.

Wenn sich die HR-Gene in einem Bodenbakterium etabliert haben, ist auch die Möglichkeit des Transfers zu anderen Bodenbakterien möglich. Zum Beispiel wäre eine Übertragung auf das *Agrobacterium tumefaciens* denkbar. Wenn die HR-Gene in die T-DNA des Tumor-induzierenden Plasmids (Ti-Plasmid) integriert würden, wären die Voraussetzungen geschaffen, sie in Zellen anderer zweikeimblättriger Pflanzen zu transferieren (Broer/Pühler 1996, S. 94). Das Bakterium hat die natürliche Eigenschaft, über Verletzungen der Pflanze in deren Gewebe einzudringen und dort im Bereich des Wurzelhalses sogenannte "Wurzelhalsgallen" zu erzeugen. Für diese krebsartigen Wucherungen ist das Ti-Plasmid verantwortlich, das in den virulenten Stämmen von *Agrobacterium tumefaciens* enthalten ist. Nach der Gewebsinfektion der Pflanze heften sich die Bakterien an intakte Pflanzenzellen, und die Plasmide gelangen so in die Zellen. Die Plasmid-DNA wird dabei stabil in die chromosomale DNA der Pflanzenzelle integriert. Es kommt hier also auf natürliche Weise zu einer „gentechnischen“ Veränderung. Das Plasmid kodiert die Information für das Tumorwachstum und die Synthese von *Opinen*, die das Wachstumssubstrat für die Bakterien sind. Die tumorartigen Zellen produzieren also den Nährstoff für die sich ständig weitervermehrenden Bakterien (Koschatzky/Maßfeller 1994, S. 11). Die Anwesenheit des Chloroplastentransitpeptids im künstlichen Genkonstrukt würde den Transport des Resistenzgens zu den Chloroplasten - dem Wirkungsort der EPSPS-Synthase - gewährleisten.

Nicht auszuschließen ist auch eine Erleichterung des Transfers in andere Pflanzen, wenn diese durch Pestizideinsatz in ihrer Konstitution beeinträchtigt sind und feine Zellwandschädigungen aufweisen.

Wenn sich die Transgene aus der Roundup-Ready-Sojabohne in Mikroorganismen etablieren sollten, die normalerweise empfindlich gegenüber Glyphosat sind, dann kann dies zu einem Selektionsvorteil gegenüber anderen Bodenbakterien führen, solange Roundup appliziert wird bzw. der Wirkstoff Glyphosat im Boden aktiv ist. Die resistenten Mikroorganismen würden sich zeitweise im Boden anreichern (Broer/Pühler 1996, S. 94/95). Der Selektionsdruck durch den Herbizideinsatz führt dann zur Selektion einer neuen Bakterienpopulation und damit zur Verschiebung in der Populationsdynamik von Bodenmikroorganismen. Die Anreicherung von glyphosatresistenten Mikroorganismen könnte zu Änderungen der chemischen Stoffflüsse im Boden führen, falls aus den Bakterien Stoffwechselprodukte freigesetzt werden, die es bislang im Boden nicht oder nicht in dem Maße gegeben hat. Eine Störung der Bodenfunktionen wie etwa der Bodenatmung können als Folge nicht ausgeschlossen werden (van den Daele et al. 1996, S. 100/101).

Auch schon die bloße Veränderung von Populationsgleichgewichten unter den Mikroorganismen kann Auswirkungen auf die ökologischen Funktionen der Bodenmikroflora haben, die unter anderem für die Fruchtbarkeit des Bodens bestimmend sind (Weber 1996, S. 62).

Unabhängig vom Anbau herbizidresistenter Sojabohnen bringt auch die gängige landwirtschaftliche Praxis durch Bodeneingriffe wie die Anwendung von Herbiziden und durch Pflügen, Düngen, Frucht- und Sortenwechsel einige der oben genannten Aspekte mit sich. Allerdings kann nicht widerlegt werden, daß ein Gentransfer durch transformierte HR-Gene ein Risiko mit einer „neuen Qualität“ mit sich bringt. Wenn die Bakterien Stoffwechselprodukte in den Boden bringen, die in anderer Weise „neu“ sind als die Veränderungen, die durch bisherige Bodeneingriffe eingebracht worden sind, wäre es denkbar, daß sie auch andere Folgen haben als bisherige Eingriffe. Diese Folgen könnten auf unvorhersehbare Weise zu einem Schaden führen (van den Daele et al. 1996, S. 101). Aufgrund der nicht gegebenen Reversibilität könnte ein solcher Schaden unabsehbare Ausmaße annehmen.

Ein horizontaler Transfer der HR-Gene auf andere Pflanzen könnte auf Flächen, die mit Glyphosat behandelt werden, unter Selektionsdruck eine neue Unkrautart entstehen lassen (van den Daele 1996, S. 101). Die Folgen wären hier dieselben wie bei einer Übertragung der Transgene durch den vertikalen Gentransfer.

5.3 Verwilderungsrisiko

Unter „Verwilderung“ versteht man die „Ausbreitung von Kulturpflanzen oder ihrer Gene außerhalb ihres vorhergesehenen Anbaubereiches. Dabei treten die verwilderten Pflanzen entweder als Unkräuter in anderen landwirtschaftlichen Kulturen auf oder sie dringen in naturnahe Ökosysteme außerhalb der Landwirtschaft ein.“ (van den Daele et al. 1996, S. 109). Die transgenen Pflanzen sowie die rekombinanten Gene können sich theoretisch über die unter Punkt 5.1 beschriebenen Wege in der Umwelt weiterverbreiten. Darüber hinaus können auch durch *genetischen Rückschlag* Unkräuter aus solchen Kulturpflanzen entstehen, die normalerweise aufgrund ihres hohen Domestikationsgrades auf die menschlichen Anbaumethoden angewiesen sind. So können auch Nutzpflanzen mit einer ausgeprägten Domestikation die Konkurrenzfähigkeit gegenüber Wildpflanzen wiedererlangen, *wenn es zu einer Mutation eines oder mehrerer Gene kommt, und sie damit dem natürlichen Selektionsdruck wieder gewachsen sind.*

Darüber hinaus ist es nicht möglich, alle bei der Ernte ausgebrachten und dort gewachsenen Pflanzenteile quantitativ wieder zu ernten - also verbleiben Pflanzen- und Wurzelreste sowie abgestorbene Pflanzenteile mit z.T. noch intakter genetischer Information im Boden. Hieraus können sich in späteren Jahren Nachkommenschaften entwickeln (v. Sengbusch 1995, S. 145).

5.3.1 Wahrscheinlichkeit der Verwilderung

Die Wahrscheinlichkeit der Verwilderung transgener Nutzpflanzen wie der Roundup-Ready-Sojabohne und deren ökologische Auswirkungen sind kaum vorhersagbar. Zwar können experimentelle Untersuchungen an der transgenen Kulturpflanzen durchgeführt werden, jedoch können selbst aufgrund von umfangreichen Freilandversuchen keine *langfristigen* Prognosen über mögliche unerwünschte ökologische Folgen eines *großflächigen* Anbaus getroffen werden, da solche Versuche immer räumlich und zeitlich begrenzt sind (Sukopp & Sukopp 1995, S. 41). Eine andere Möglichkeit zur Abschätzung des Verwilderungsrisikos bieten Analogiemodelle, die auf einer möglichst breiten statistischen Grundlage zuverlässige Aussagen über die langfristigen ökologischen Auswirkungen der Verwilderung von Kulturpflanzen ermöglichen. Da aber über das Verhalten von transgenen Kulturpflanzen bislang kaum Untersuchungen vorliegen, kann hier bisher nur auf die Erkenntnisse zurückgegriffen werden, die über konventionell gezüchtete Kulturpflanzen vorliegen. Es gibt zahlreiche Beschreibungen

zu den ökologischen Langzeit-Effekten einer Verwilderung herkömmlicher Kulturpflanzen; jedoch beschreiben diese nur die (hauptsächlich ökonomischen) Schäden in der Land- und Forstwirtschaft und nicht in natürlichen und naturnahen Ökosystemen. Um auch dort die möglichen Schäden beurteilen zu können, kann das Modell der Einführung und Einbürgerung nicht einheimischer Arten - das sogenannte „exotic species model“ - herangezogen werden (Sukopp & Sukopp 1995, S. 51). Der Analogieschluß beruht darauf, daß die Freisetzung von Organismen mit neuen Eigenschaften für die bestehenden Ökosysteme generell ein potentiellies Risiko darstellt. Allerdings gilt dies hier unabhängig von der Ursache der Neuartigkeit der Organismen (Weber 1996, S. 65). In die Analogie fließt also nur die Beschaffenheit des Genotypus ein, nicht aber die Art und Weise seiner Entstehung. Diese Abtrennung eines besonderen Risikos bei der Ausbringung gentechnisch manipulierter Pflanzen schränkt die Gültigkeit des Modells bei einer ökologischen Betrachtung stark ein (Sukopp & Sukopp 1995, S. 52). Trotzdem wird das exotic species model immer wieder herangezogen, da es von allen ökologischen Analogiemodellen angeblich die Anforderungen am besten erfüllt, die an ein solches Modell gestellt werden (Sukopp & Sukopp 1996, S. 105).

Es wird also deutlich, daß weder experimentelle Untersuchungen mit transgenen Pflanzen noch Analogiemodelle, die sich auf statistische Daten aus Erfahrungen mit der Verwilderung von Kulturpflanzen oder auf die Einführung und Einbürgerung nicht einheimischer Arten beziehen, die tatsächliche Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß der ökologischen Folgen einer Verwilderung transgener Pflanzen zuverlässig vorhersagen können. Die Behauptung von Monsanto, das ökologische Risiko einer Verwilderung sei ausgeschlossen, muß also aufgrund mangelnder Überprüfbarkeit angezweifelt werden.

5.3.2 Mögliche unerwünschte Folgen der unkontrollierten Ausbreitung

Da die Gefahr besteht, daß sich die rekombinanten Gene unkontrolliert ausbreiten oder die transgenen Sojapflanzen durch Hybridisierung verwildern, müssen in der Risikoabschätzung auch die daraus möglicherweise resultierenden Folgen diskutiert werden. Ebenso wie aber die Wahrscheinlichkeit einer Verwilderung kaum zuverlässig vorhergesagt werden kann, sind auch deren eventuelle nachteiligen Auswirkungen erst unzureichend bekannt.

Negative Parameter wären

- *verstärkte Unkrauteffekte,*
- *Invasion in natürliche oder naturnahe Ökosysteme,*
- *erhöhte Konkurrenzfähigkeit,*
- *Effekte auf Biozönosen.*

(vgl. Tappeser/Wurz 1996, S. 8)

Verstärkte Unkrauteffekte durch transgene Unkrautformen würden in erster Linie zu landbautechnischen Problemen bei der Unkrautbekämpfung und zu ökonomischen Verlusten führen (van den Daele et al. 1996, S. 109), denn es entstände ein neues Problemunkraut, das nicht mehr durch das Komplementärherbizid vernichtet werden könnte. Dies bedeutet Wirkungslücken des Herbizids Roundup. Es müßte daraufhin mit einem anderen Unkrautvernichtungsmittel zusammen appliziert werden, um weiterhin erfolgreich im Roundup-Ready-Sojafeld eingesetzt werden zu können.

Darüber hinaus können sich die resistenten Wildarten auch auf anderen landwirtschaftlich genutzten Flächen (anderen Kulturen, Äckern, Grünland) ausbreiten und dort als hartnäckige Unkräuter Ertragsverluste nach sich ziehen. Ebenso können sie sich auf weitere vom Menschen gestörte Standorte wie z.B. Straßenränder, Brachland und Gewerbeflächen ausweiten (van den Daele et al. 1996, S. 112).

Eine *Invasion* von transgenen Sojapflanzen oder deren Hybride hieße, daß die Pflanzen in *natürliche oder naturnahe Ökosysteme* eindringen und sich dort etablieren würden. Sie könnten sich aufgrund des Selektionsdrucks überall dort behaupten, wo Roundup eingesetzt bzw. durch Abdrift hingelangt und dadurch andere Pflanzen angreift. Eine Einwanderung in Ökosysteme, auf die dies nicht zutrifft, ist dagegen relativ unwahrscheinlich. Allerdings kann auch diese Möglichkeit nicht ganz ausgeschlossen werden, da die resistenten Pflanzen zunächst auch neutral in anderen Ökosystemen bestehen können und dort evtl. Jahrzehnte lang nur in geringer Anzahl existieren, bevor sie ein explosives Wachstum der Population zeigen (Weber 1995, S. 118). Erfahrungen im Rahmen des „exotic species model“ haben z.B. vielfach gezeigt, daß zwischen der Einführung einer nicht einheimischen Art und deren Ausbreitung eine erhebliche zeitliche Verzögerung bestehen kann. Am Beispiel von 184 fremdländischen Gehölzarten, die nach Brandenburg eingeführt wurden, ist dies sehr genau untersucht worden. Das time-lag beträgt im Durchschnitt 147 Jahre. Die Extreme liegen bei 8 und 388 Jahren. Bei

ein- und zweijährigen Arten sowie bei Stauden ist allerdings mit einer kürzeren Zeitspanne zu rechnen. So lag das time-lag für 15 untersuchte ein- oder zweijährige Arten im Durchschnitt bei 32 Jahren (Sukopp & Sukopp 1995, S. 55).

Auch wenn es sich bei diesen Untersuchungen nicht um gentechnisch veränderte Arten handelt, machen diese Zahlen deutlich, daß eine zeitlich begrenzte Betrachtung, wie sie bei Freisetzungsversuchen transgener Pflanzen stattfindet, nicht zur Analyse des Risikos unerwünschter ökologischer Auswirkungen ausreicht.

Monsanto sagt, die neuen Sojabohnen seien in über 10 Jahren intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf ihre Sicherheit hin getestet worden (Information Sojabohne 1996, KI 1, S. 1). In dieser Zeitspanne könnten ökologische Risikoaspekte einer Verwilderung aber wohl kaum vollständig abgeschätzt werden. Davon abgesehen sind diese auch gar nicht untersucht worden⁶.

Hinzu kommt, daß auch Ökosysteme in struktureller sowie funktioneller Hinsicht Änderungen unterliegen, die meistens erheblich schneller erfolgen als die evolutionäre Veränderung von Organismen. Dies trifft vor allem für Ökosysteme zu, die stark vom Menschen beeinflußt sind (Sukopp & Sukopp 1995, S. 55). Die Sicherheitsforschung für transgene Pflanzen geht vom gegenwärtigen Ist-Zustand der Umwelt aus, wobei diese sich gerade durch die Gentechnik noch massiver verändern wird als bisher. Von daher können unerwartete Wechselwirkungen nicht ausgeschlossen werden (Sukopp 1997, Vortrag).

Invasionen gelten als die wichtigste Ursache für Artensterben (Tappeser/Wurz 1996, S. 22), denn auch Kulturpflanzen können noch über das genetische Potential verfügen, um natürliche Lebensgemeinschaften zu beeinflussen. Durch gentechnisch vermittelte *erhöhte Konkurrenzfähigkeit* können diese Potentiale zum Teil noch ergänzt werden (Weber 1996, S. 62).

Einleuchtend ist dies vor allem bei Veränderungen, die die Fitneß erhöhen wie z.B. Insektenresistenz, Virusresistenz, Resistenz gegen abiotische Streßfaktoren (van den Daele et al. 1996, S. 109). Aber auch die Herbizidresistenz kann den Pflanzen einen Konkurrenzvorteil bieten

⁶ Aus der Dokumentation, die den zuständigen Behörden mit dem Zulassungsantrag für die Genehmigung der Roundup-Ready-Sojabohnen vorgelegt wurde, geht hervor, daß lediglich Aspekte der Allergenität, der Nahrungsmittelsicherheit und die Eignung für Tierfutterzwecke der Bohnen, sowie Glyphosat-Rückstände und deren Toxizität untersucht und für die Risikobewertung dokumentiert wurden (siehe Padgett et al. 1994). Feldversuche sind in Argentinien, Kanada, Costa Rica, Puerto Rico und den USA durchgeführt worden. Vereinzelte Feldversuche in Japan stellten die einzige Untersuchung im Fernen Osten da. 1994 wurden zwar auch in Spanien und Italien Versuche durchgeführt, wurden aber im Antrag nicht aufgeführt und somit nicht ausgewertet. Die Daten der Abschätzung des Umweltrisikos, die in die Bewertung einfließen, stammen lediglich aus den USA, Kanada, Costa Rica und Puerto Rico. Damit wird die ökologische Situation in Regionen außer acht gelassen, in denen mit Soja verwandte Wildarten vorkommen. Bei den Experimenten ging es außerdem vor allem um die Untersuchung der landwirtschaftlichen Eigenschaften und nicht um die ökologischen Auswirkungen (Bobbink 1996, S. 4/5).

(siehe oben). Sofern ein ausreichender Selektionsdruck durch die Anwesenheit von Glyphosat besteht, könnten die durch das Herbizid ohnehin schon hervorgerufenen negativen Auswirkungen auf die Struktur von Lebensgemeinschaften wie z.B. die Veränderungen der Artenzusammensetzung, das Spektrum der Lebensformen und der Schichtung noch verstärkt werden. Eine Verdrängung von Arten einschließlich der assoziierten Flora und Fauna kann zur Minderung der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen und zum Verlust genetischer Ressourcen führen (UBA 1996, S. 11).

„Die Bedrohung der Artenvielfalt durch herbizidresistente transgene Pflanzen wird teils über die Zementierung eines an Agrochemikalien gebundenen Anbaus vermittelt, teils über die verstärkte Konzentration der Züchtung - und damit auch des Anbaus - auf wenige Kulturpflanzen und -sorten, teils über die ökologischen und evolutionären Verhaltenspotentiale der transgenen Pflanzen selbst bzw. der Wildpflanzen und Mikroorganismen, auf die die Transgene übertragen werden können.“ (Weber 1996, S. 66) (siehe auch 5.4).

Weitere *Effekte auf Biozönosen* können Einflüsse auf Insekten, den Boden, Bodenprozesse sowie weitere Organismen sein. Denn eine Veränderung in der Artenzusammensetzung kann unter Umständen die fundamentalen Funktionen von Ökosystemen beeinträchtigen, da die neuen Arten nicht zwangsläufig die Funktionen der von ihnen verdrängten Arten übernehmen (Sukopp & Sukopp 1996, S. 105). Schon der Transfer der Resistenzgene auf eine einzelne Wildpflanzenart könnte über die netzartige Struktur der Beziehungen in Biozönosen sehr komplexe, dauerhafte Veränderungen innerhalb der Lebensgemeinschaft bewirken (Weber 1996, S. 64). Davon wären eben auch die in Wechselwirkung mit den jeweiligen Arten stehenden Organismen betroffen. Veränderungen von biochemischen Parametern in Pflanzen können Ereignisse der Artbildung und des Aussterbens von Insekten und mit ihnen in Wechselwirkung stehenden Pflanzen beeinflussen. Auch die Spezifität der Interaktionen zwischen Pflanzen und vielen Mikroorganismen beruht auf Verbindungen des sekundären Pflanzenstoffwechsels (Weber 1996, S. 64).

5.4 Einfluß der Herbizidresistenztechnik auf Arten- und Sortenvielfalt

Der pflanzliche Genpool wird durch die Gesamtheit der auf der Welt vorkommenden Kultur- und Wildpflanzen gebildet. Wenn eine Pflanze ausstirbt, die Art also weltweit verschwindet, sind diese Genressourcen unwiederbringlich verloren. Sowohl Wildpflanzen wie auch Nutzpflanzen können vom Aussterben bedroht sein (Catenhusen/Neumeister 1990, S. 74).

Der Begriff „Genetische Verarmung“ wird als Sammelbegriff für den Verlust von Arten und den Verlust landwirtschaftlich genutzter Sorten sowie der Variabilität zwischen einzelnen Sorten benutzt (Umbach et al. 1996, S. 169).

Großflächige landwirtschaftliche Bewirtschaftungsmethoden und die damit verbundene Zersplitterung und Beseitigung von Lebensräumen vieler Organismen werden als die hauptsächliche Ursache des Verlustes von Wildpflanzen gesehen. Der Rückgang von Nutzpflanzenarten und -sorten wird auf die landwirtschaftlichen und züchterischen Praktiken zurückgeführt, wenn diese sich auf wenige Arten und Sorten konzentrieren (Catenhusen/Neumeister 1990, S. 74). Dies geschieht zwangsläufig, da die Züchter auf die jeweils leistungsstärksten Sorten als Grundlage für die Weiterzucht zurückgreifen, weil sie sich hauptsächlich am Ziel der wirtschaftlichen Produktion orientieren. So werden traditionelle Sorten, Arten und Rassen, die bei der Ertragssteigerung züchterisch nicht mithalten können, an den Rand gedrängt und sterben teilweise aus (Projektstelle Umwelt & Entwicklung 1995, S. 18).

Die Konzentration auf einige wenige Kulturpflanzen führte dazu, daß heute 90 % des menschlichen Nahrungsmittelangebotes, das aus Pflanzen gewonnen wird, von nicht mehr als einem Dutzend Kulturpflanzenarten stammt (UBA 1997, S. 70). Innerhalb dieses engen Spektrums konzentriert sich der Anbau weiterhin auf wenige Hohertragssorten. Hinzu kommen juristische Regelungen mit definitorischen Voraussetzungen wie das Sortenschutzgesetz, das z.B. im Interesse der Qualitätssicherung des Saatgutes die Homogenität der Sorten vorschreibt (Wolff 1997, S. 43 und van den Daele et al. 1996, S.177).

Eine solche Einschränkung der biologischen Vielfalt begünstigt aber vor allem Schaderreger-Plagen und eine Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten. Die Kulturpflanzen sind durch die genetische Einheitlichkeit wesentlich anfälliger, wodurch wiederum die Abhängigkeit von intensiven Pflanzenschutzmaßnahmen steigt (UBA 1997, S. 70 und Wolff 1997, S. 43).

Pflanzengenetische Ressourcen stellen außerdem die Basis der modernen Pflanzenzüchtung und somit auch der Landwirtschaft dar. Sie besitzen eine fundamentale Bedeutung für die Welternährung (Wolff 1997, S. 42), denn die Vielfalt der Pflanzen bildet das Ausgangsmaterial für alle bekannten und unbekannten Zuchtziele und Verwendungszwecke. Bei der Pflanzenzüchtung werden immer wieder neue Eigenschaften benötigt, wobei die Züchter auf das Einkreuzen von Wildformen oder anderen Kulturpflanzen angewiesen sind (Catenhusen/Neumeister 1990, S. 74).

Während traditionelle Landsorten sich durch ein großes Spektrum an genetischer Variation innerhalb der Sorten und damit durch eine starke Bandbreite an Eigenschaften auszeichnen, besitzt Saatgut, das durch moderne Pflanzenzüchtung erzeugt wurde, als übereinstimmendes Merkmal eine starke Homogenität. Reinlinien- und Hybridzüchtung führen hier zu relativ einheitlichen Hohertragssorten. Da transgene Pflanzen in künstlichen Zellgewebeskulturen produziert und vermehrt werden und das Erbgut dieser so hergestellten Pflanzen nicht nur ähnlich, sondern absolut identisch ist, wird der Effekt der Homogenität des Saatguts noch verstärkt. Die genetische Variabilität wird also noch weiter eingeschränkt als dies in der konventionellen Pflanzenzüchtung ohnehin schon der Fall ist (Wolff 1997, S. 42).

Pflanzenzüchtung bedeutet Neukombination der Eigenschaften aus bereits vorhandenem Material, also eigentlich eine Erweiterung des Genpools. Die Anwendung der Gentechnik wird hier oft als eine ergänzende Methode angesehen, neue Variationen und Merkmale zu schaffen (Umbach et al. 1996, S. 171/172). Allerdings haben gerade die Erfolge wissenschaftlicher Pflanzenzüchtung in der Vergangenheit massiv zur genetischen Einheitlichkeit in der modernen Landwirtschaft beigetragen, weil sich der Anbau auf die leistungsstärksten Sorten konzentriert hat (Mabille 1996, S. 26). Auch die Roundup-Ready-Sojabohne ist eine neue Sorte mit neuen Eigenschaften (Herbizidresistenz). Aber auch sie geht aus einer kommerziellen Hohertragsorte hervor (Padgett et al. 1994, S. 46) und stellt in dem Sinne keine wesentliche Bereicherung des Genpools dar. Wenn der Anbau der transgenen Bohnen tatsächlich ökonomische und arbeitstechnische Vorteile mit sich bringen sollte, kann wirtschaftlicher Druck diesen so weit forcieren, daß nicht transgene Sorten zunehmend verdrängt werden würden (Weber 1996, S. 61).

Während die Züchtungspraxis Einfluß auf die genetische Sortenvielfalt nimmt, hat der Anbau von Roundup-Ready-Sojabohnen vor allem durch den veränderten Herbizideinsatz Auswirkungen auf die biologische Vielfalt der Ackerbegleitflora.

Da das Totalherbizid wird nun mindestens einmal im frühen Nachauflauf und bei Bedarf auch wiederholt eingesetzt wird, führt dies zu einer geringeren Restverunkrautung im Acker als der Einsatz selektiver Herbizide. Es findet also eine quantitative Veränderung der Ackerbegleitflora statt (van den Daele et al 1996, S. 175). In qualitativer Hinsicht kommt es zu Verschiebungen im Artenspektrum der Unkräuter, da auch konkurrenzschwache Arten, die bisher oft toleriert wurden, miterfaßt und dagegen später keimende Arten begünstigt werden. Die Unkrautsamenbank kann nachhaltig verringert werden. Dies kann zum dauernden Ausfall

einzelner Unkrautarten auf den mit Glyphosat behandelten Flächen führen (van den Daele et al 1996, S. 175).

Weil Glyphosat im Wesentlichen alle Pflanzen angreift, sind auch seltene Pflanzenarten durch glyphosathaltige Herbizide bedroht. Eine Liste des 'US Fish and Wildlife Service' identifizierte 74 vom Aussterben bedrohte Arten, die jetzt schon durch die Anwendung von Glyphosat im Anbau von neun verschiedenen Feldfrüchten gefährdet sind (Cox 1995/2, S. 18). Die Liste berücksichtigt dabei noch nicht den verstärkten Einsatz des Mittels und den veränderten Einsatzzeitpunkt durch die HR-Technik.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß der Anbau von herbizidresistenten Sojabohnen theoretisch zu einer weiteren genetischen Verarmung von Kultursorten und Wildarten führen könnte. Ob das Ausmaß dieser Verdrängung zu einem vollständigen Verlust einer Anbausorte oder einer Unkrautart führen wird, ist nicht abzusehen. Unter dem Gesichtspunkt des genetischen Ressourcenschutzes würde erst ein solcher vollständiger Verlust einer Art als Schaden gelten. Für die Züchtung genügt die Erhaltung der Arten auf irgendwelchen Standorten oder Reservaten, wo auf sie zurückgegriffen werden kann (van den Daele 1996, S. 173).

Aus Sicht des Naturschutzes ist die Erhaltung des bestehenden Artenspektrums dagegen auf einer möglichst vielfältigen Palette von Standorten das Ziel. Hier gilt deshalb auch schon der regionale Verlust einer seltenen Art als Schaden, der - wie oben beschrieben - durchaus durch den Daueranbau von herbizidresistenten Sojabohnen und dem kontinuierlichen Einsatz des Komplementärherbizids erreicht werden kann (van den Daele 1996, S. 173).

Transgene Sojabohnen werden auf lange Sicht allerdings nicht die einzigen großflächig angebauten gentechnisch veränderten Kulturpflanzen sein. Die Auswirkungen aller transgenen Pflanzen zusammen auf die Artenvielfalt wird wahrscheinlich größer sein als die der Roundup-Ready-Sojabohne allein, doch kann deren großflächiger Anbau letztendlich wahrscheinlich ihren Teil zur Gen-Erosion beitragen.

5.5 Die Problematik des Restrisikos

Bei den bisher angesprochenen Risikoaspekten handelt es sich um denkbare Folgen, deren Bedeutungen und Eintrittswahrscheinlichkeiten im Vorfeld einer Freisetzung transgener Organismen wie der Roundup-Ready-Sojabohne bedacht und überprüft werden müssen. Doch

auch wenn man die Chancen und Risiken einer Freisetzung daraufhin sehr genau untersucht, kann es gerade bei gentechnischen Eingriffen zu Überraschungseffekten kommen, die man auf der Grundlage des verfügbaren wissenschaftlichen Wissens und Erfahrungswissens nicht erwartet hat. Es muß also von einem gewissen Restrisiko ausgegangen werden, das immer bestehen bleiben wird, selbst wenn die Sicherheits- und Begleitforschung zu dem Ergebnis relativer Unbedenklichkeit des gentechnisch veränderten Organismus kommt.

Als Restrisiko wird der Bereich der Unsicherheit jenseits der praktischen Vernunft bezeichnet, d.h., Ungewißheiten jenseits dieser Schwelle haben ihre Ursachen in den Grenzen des menschlichen Erkenntnisvermögens (Nöh 1996, S.2).

Da das menschliche Wahrnehmungs- und Urteilsvermögen begrenzt ist, und weil Chancen und Risiken menschliche Bewertungskategorien sind, fließen in jede Betrachtung bewußt oder unbewußt die Interpretationen bisher gemachter Erfahrungen und Wünsche mit ein. Diese Tatsache kann sowohl Methodenwahl, Versuchsaufbau, Beobachtungen als auch die Interpretation von Ergebnissen in der Sicherheitsforschung von GVO beeinflussen.

Möglicherweise fehlt dem Menschen darüber hinaus die nötige Phantasie und Erfahrung, um möglichst viele und relevanten Risikofragen stellen zu können.

Oft ist eben auch das „Zeitfenster“ menschlicher Beobachtung zu klein, um die relevanten Informationen über toxikologische, ökologische und auch evolutionäre Wirkungen zu gewinnen (vgl. Weber 1996, S. 59/60 und 1995, S. 116).

5.6 Umweltwirkung von Roundup

Wie unter 4.3.1 schon erwähnt, wird Roundup von Monsanto als ein sehr umweltverträgliches Herbizid beschrieben, das auch bei längerfristiger Anwendung keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt haben soll. Es ist weder giftig für Fische und Fischnährtiere, noch für Bienen und Nutzinsekten, sagt Monsanto (Monsanto 1, S. 9 und Monsanto 4, S. 1).

Auch Hock betont in seinem Buch „Herbizide“ (1995, S. 190) die gute Umweltverträglichkeit des Wirkstoffs Glyphosat, die unter anderem durch das weitgehend für Pflanzen spezifische Target-Enzym begründet ist.

Sandermann dagegen schreibt, Glyphosat würde mit seinem gut verstandenen Wirkungsmechanismus und der geringen Bodenpersistenz *zunächst* positiv erscheinen. Allerdings habe Monsanto einige Daten nicht offen gelegt bzw. falsche Daten publiziert. Auch besonders die neuen Fragen, die sich beim großflächigen Einsatz transgener Nutzpflanzen stellen, bei denen

Roundup als Komplementärherbizid eingesetzt wird, ließen sich momentan noch nicht beantworten (Sandemann 1993, S. 3). Diese Fragen sind auch für einen steigenden Einsatz von Roundup im Sojaanbau durch dagegen resistente Sojapflanzen noch nicht geklärt.

Monsanto spricht von einem ausgezeichneten Sicherheitsprofil von Roundup und begründet dies damit, daß das Herbizid ein Enzym blockiert, welches ausschließlich im Pflanzenstoffwechsel zu finden ist (Information Sojabohne 1996, KI 2, S. 2). Zwar ist die EPSP-Synthase, welche von Glyphosat gehemmt wird, überwiegend für die biosynthetische Aminosäureproduktion in Pflanzen spezifisch, doch kommt das Enzym in ähnlicher Form auch in vielen Mikroorganismen und Bodenpilzen vor und erfüllt hier die gleiche Aufgabe (Cox 1995/1, S. 15). Schließlich stammt das CP4-EPSPS-Gen in den glyphosatresistenten Sojabohnen ja auch aus einem Bodenbakterium (siehe 3.3). Die Empfindlichkeit gegenüber Glyphosat liegt bei einem mikrobiellen Enzym in der Regel allerdings niedriger als bei höheren Pflanzen (Hock 1995, S. 192). Trotzdem besitzt das Herbizid auch eine antimikrobielle Wirkung. Durch den gesteigerten Glyphosateinsatz muß daher mit Verschiebungen von Populationen der Bodenmikroorganismen gerechnet werden und wahrscheinlich auch mit einer Resistenzentwicklung unter den Mikroorganismen (Sandemann 1993, S. 12).

Entgegen der oft verbreiteten Ansicht halten einige Autoren und Autorinnen die Wirkungsweise von Glyphosat für noch nicht vollständig verstanden. Cox schreibt im Journal of Pesticide Reform Nr. 3, daß Glyphosat evtl. neben dem EPSPS-Enzym noch zwei weitere Enzyme des Shikimatweges hemmt, nämlich die Chorismat-Mutase und die Prephenat-Synthase (Cox 1995/1, S. 15). Auch die Ursache der Hemmung der Chlorophyll-Bildung durch Glyphosat ist bislang noch nicht bekannt (Ohnesorge 1993, S. 69).

Glyphosat kann auch andere Enzyme beeinflussen, die nicht mit dem Shikimatweg verbunden sind. Nachgewiesen ist dies z.B. für Zuckerrohr, wo es die Aktivität eines Enzyms (acid invertase) für den Zuckerstoffwechsel reduziert (Cox 1995/1, S. 15). Außerdem greift Glyphosat auch Enzym-Systeme an, die bei Tieren und Menschen zu finden sind. Eine Injektion in den Bauch von Ratten führt z.B. zu abnehmender Aktivität zweier Entgiftungsenzyme (cytochrome P-450; monooxygenase) und der Darmaktivität eines weiteren Entgiftungsenzyms (aryl hydrocarbon hydroxylase). Injektionen sind zwar nicht der Weg, auf dem Tiere mit Glyphosat in Berührung kommen, und sie wirken auch zehn- bis zwanzigmal stärker toxisch auf Ratten als orale Aufnahmen des Pflanzengiftes, doch diese Studien zeigen die potentiellen Effekte von Glyphosat auf Säugetiere. Folgen einer Einspritzung innerhalb des

Bauchfellraumes sind Fieber, Atemstillstand und Verkrampfung und ab einer bestimmten Dosis Tod der Tiere (Cox 1995/1, S. 16).

Bei *oral* Aufnahme von Glyphosat haben Laboruntersuchungen mit Versuchstieren eine mittlere tödliche Dosis (lethal dose, der Wert, bei dem 50 Prozent der Versuchstiere sterben, LD₅₀ Wert) für Ratten von ungefähr 4320 mg/kg Körpergewicht ermittelt. Der *dermale* LD₅₀ Wert für durch Gifteinwirkung verursachte Hauterkrankungen ist für Kaninchen bei etwas über 2000 mg/kg KG ermittelt worden (Cox 1995/1, S. 16).

Damit der Wirkstoff im Herbizid optimal zur Wirkung kommt, müssen ihm weitere Stoffe wie Dispersionsmittel, Emulgatoren und Lösemittel zugesetzt werden. Diese Formulierungshilfsstoffe sorgen dafür, daß Glyphosat besser und länger an den Blättern haftet und von der Pflanze schneller aufgenommen wird. Im Fall von Roundup sind diese Hilfsstoffe toxischer als Glyphosat selbst und wirken auch giftig auf Menschen und Tiere (Cox 1995/1, S. 16, Bobbink 1996, S. 1). Zwei Studien aus den Jahren 1990 und 1991 haben die nötige Mengen von Roundup mit der nötigen Menge an Glyphosat alleine und dem Inhaltsstoff POEA (polyethoxylated tallowamine surfactant) verglichen, die bei Ratten den Tod verursacht. Ergebnis der Studie war, daß sich die nötige Menge der beiden Stoffe zusammen um 1/3 von der tödlichen Dosis jeder einzelnen Komponente unterschied. Die Roundup-Formulierung war wiederum giftiger als POEA allein (Cox 1995/1, S. 16).

POEA verursacht Augen- und Hautreizungen, greift den Verdauungstrakt an und erzeugt Übelkeit, Erbrechen und Durchfall. Ein in Roundup verwendetes Neutralisierungsmittel (isopropylamine) wirkt extrem zerstörerisch auf Gewebe und Schleimhäute sowie die oberen Atemwege. Eine Inhalation kann tödliche Krampfanfälle, chemisch induzierte Lungenentzündung und Flüssigkeitsansammlung in den Lungen erzeugen. Andere Symptome sind Keuchen, Kehlkopfentzündung, Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen. Bei längerem Kontakt mit dem Mittel kann es zu verbrennungsähnlichen Verletzungen der Haut kommen (Cox 1995/1, S. 17).

Monsanto wirbt für Roundup in seinen Produkt-Broschüren damit, daß das Mittel ungiftig für Fische und Fischnährtiere sei, nicht bienengefährlich (Monsanto 4, S. 1) und nicht schädlich für nützliche Insekten wie Laufkäfer und Schlupfwespen (Monsanto 3, S. 1). Untersuchungen der International Organisation for Biological Control ergaben hingegen, daß an Blättern eingetrocknetes Roundup über 50 % dreier Nützlingsarten töteten - Schlupfwespen, Marienkäfer und Florfliegen. Von einer weiteren Käferart wurden mehr als

80 % getötet. Da Nützlinge für die natürliche Begrenzung oder Bekämpfung von Schädlingen sorgen, sind sie für Umwelt und Landwirtschaft von wichtiger ökologischer bzw. ökonomischer Bedeutung. Ebenso ergaben Feldstudien in North Carolina, die den Einfluß eines kommerziellen Glyphosat- Produktes auf eine Käfer-Nützlingsart (large carabid beetle) in Winterweizenfeldern untersuchten, negative Auswirkungen auf die Populationsgröße nach der Herbizidanwendung (Cox 1995/2, S. 16).

Glyphosat und glyphosathaltige Produkte töten auch eine Vielzahl anderer Gliederfüßer. Z.B. wurden über 50 % der Test-Population einer Milbenart getötet, die der Wirkung von Roundup ausgesetzt worden sind. Es handelte sich dabei um eine räuberische Milbenart, die für die natürliche Begrenzung von Schädlingmilben sorgt. In anderen Laboruntersuchungen verursachte Roundup eine Abnahme der Überlebensfähigkeit und des Körpergewichts einer Lausart (woodlouse), welche eine wichtige Funktion für die Humusbildung und die Durchlüftung des Bodens erfüllt (Cox 1995/2, S. 17). Untersuchungen in Neuseeland haben ergeben, daß das Wachstum und die Überlebensfähigkeit von Regenwürmern auf landwirtschaftlichen Flächen durch Glyphosat signifikant verschlechtert wird. Auch Regenwürmer sind wichtig für eine gute Bodenstruktur und Durchlüftung (Bobbink 1996, S. 4).

Eine Roundup-Anwendung in Hecken (Grün- und Weidelandbegrenzung) reduzierte die Anzahl der darin lebenden Spinnen; allerdings ist dies evtl. auch auf die Vernichtung der Pflanzen zurückzuführen, die die Tiere für das Spinnen ihrer Netze bevorzugen (Cox 1995/2, S. 17).

In Maine/USA ist nach Glyphosatbehandlung auch die Zahl der pflanzenfressenden Insekten zurückgegangen. Diese zählen zwar gewöhnlich nicht zu den Nutzinsekten, doch dienen sie als eine wichtige Nahrungsquelle für Vögel und kleinere insektenfressende Säugetiere (Cox 1995/2, S. 17).

In hohen Dosen wirkt Glyphosat auch direkt giftig für Vögel. Die größere Gefahr liegt hier aber in der Zerstörung und Veränderung der Flora und Fauna durch das Pflanzengift, also der Grundlage für Nahrung, Schutz und Nestbaumöglichkeiten. Ähnliches gilt für kleinere Säugetiere wie Mäuse, Kaninchen und Hasen (Bobbink 1996, S. 4), die jedoch, wie aus den weiter oben genannten Tieversuchen abzuleiten ist, auch durch orale Aufnahme oder Hautkontakt durch das Mittel angegriffen werden.

Auch Wasserinsekten können durch Glyphosat angegriffen werden, wobei die kritischen Mengen variieren. So ergab eine Studie, daß 55 ppm (parts per million) Glyphosat ausreichen, um Mückenlarven zu töten. Andere Studien kamen zu Werten von 650 bis 5600 ppm, die von dem Mittel Rodeo (ein ebenfalls glyphosathaltiges Mittel von Monsanto, welches in den USA auch zur Bekämpfung von unerwünschten Pflanzen in Gewässern zugelassen ist) benötigt werden, um Mückenlarven zu töten. Ein Teil dieser Abweichung ist auf die unterschiedliche Wasserhärte zurückzuführen. Eine kommerzielle Flußkrebbsart (red swamp crayfish) verträgt weniger als 47 ppm Roundup im Wasser. Der Wasserfloh *Daphnia pulex* stirbt schon bei einer Konzentration von Roundup zwischen 3 und 25 ppm. Junge Wasserflöhe sind dabei anfälliger als ausgewachsene Individuen (Cox 1995/2, S. 17).

Akut toxisch ist Roundup entgegen den Behauptungen von Monsanto auch für Fische, und zwar in der Regel auch giftiger als der Wirkstoff Glyphosat alleine. Da das Herbizid über Niederschläge und Abdrift in Gewässer gelangen kann, ist die Fischtoxizität von großer Bedeutung (Bobbink 1996, S. 4). Roundup darf bis zu einem Abstand von 5 m in Gewässernähe angewandt werden (Monsanto 1, S. 7). Es ist bei einem so geringen Abstand kaum auszuschließen, daß das Pflanzengift in Gewässer hineingelangt.

Die Fischgiftigkeit schwankt zwischen einem LC_{50} Wert (die Konzentration, bei der 50 Prozent der Versuchstiere sterben) zwischen 3,2 ppm und 52 ppm (Cox 1995/2, S. 17). Einflußgrößen auf diesen Wert sind die unterschiedlichen Anfälligkeiten der verschiedenen Fischarten, das Alter der Fische (jüngere sind anfälliger als ältere), der Ernährungszustand (gut genährte Fische sind weniger anfällig als hungrige), die Härte und die Temperatur des Wassers. Während Glyphosat in weichem Wasser 20 mal giftiger ist als in hartem Wasser, ist Roundup in hartem Wasser toxischer als in weichem. Die Giftigkeit steigt im allgemeinen mit einer Erhöhung der Wassertemperatur. Dieser Effekt wird noch verstärkt, wenn ufernahe Gegenden mit dem Herbizid behandelt werden. Dauert hier die Anwendung mehrere Jahre lang an, wird die schattenspendene Vegetation vernichtet. Dies läßt die Wassertemperatur ansteigen und schafft somit die Voraussetzungen für eine erhöhte Giftwirkung des Herbizids (Cox 1995/2, S. 18).

Die Abhängigkeit der Toxizität von einer solche Fülle von Faktoren kann leicht zu falschen Aussagen von Untersuchungen führen. Je nach Ziel der Untersuchung können die Ergebnisse entsprechend beeinflusst werden, so daß die Giftigkeit des Herbizids leicht verharmlost werden kann.

Nachteilige Auswirkungen hat Glyphosat auch für wichtige Bodenfunktionen.

Verschiedene Studien aus Iowa (USA), Australien und Kanada haben z.B. gezeigt, daß übliche Glyphosatprodukte die Stickstoff-Fixierung in Böden beeinträchtigen können.

Auch die Knöllchenbakterien, die vergesellschaftet mit den Wurzeln von Leguminosen leben, den Stickstoff aus der Luft binden und ihn den Pflanzen zur Verfügung stellen, werden durch Glyphosat beeinflusst. Diese Effekte können sehr dauerhaft sein. So wurde im Test die Bildung von Knöllchenbakterien an Kleewurzeln für 120 Tage durch die Glyphosatbehandlung gehemmt. Andere Tests mit für Sojabohnen spezifischen kultivierten Knöllchenbakterien haben ebenfalls gezeigt, daß die Stickstoff-Fixierung durch Glyphosat behindert wird (Cox 1995/2, S. 18).

Auf bestimmte nützliche Pilze, die in oder an Pflanzenwurzeln leben, übt Glyphosat eine meist wachstumshemmende Wirkung aus. Die Giftigkeit auf Mykorrhiza liegt zwischen 1 und 100 ppm. Mykorrhiza sind Pilze, die im Wurzelbereich der Pflanze für eine bessere Nährstoff- und Wasseraufnahme sorgen und die Pflanze toleranter gegenüber Kälte und Trockenheit machen (Cox 1995/2, S. 19, Bobbink 1996, S. 4).

Auch die Anfälligkeit für Pflanzenkrankheiten wird durch Glyphosat-Anwendungen erhöht. Dies geschieht zum einen durch die Verringerung der pflanzeigenen Abwehrkräfte durch die Hemmung der Synthese bestimmter Stoffe, die Infektionen verhindern können und zum anderen durch abnehmende Proportionen der Bodenpilze, die antagonistisch auf pathogene Pilzstämme wirken (Cox 1995/2, S. 20 und Carlisle/Trevors 1988, S. 413).

Um die negativen Auswirkungen auf die Umwelt durch Roundup bzw. Glyphosat abschätzen zu können, müssen die *Persistenz* im Boden, die Möglichkeiten einer *Auswaschung* in Grundwasser und Oberflächengewässer sowie die *Abdrift* bei der Applikation in die Betrachtung mit einbezogen werden.

Persistenz: Nach Monsanto wird Roundup schnell durch Bodenmikroorganismen abgebaut (Information Sojabohne 1996, KI 1, S. 2). Der im Boden gebundene Wirkstoff von Roundup wird demnach „nach und nach von den Bodenteilchen freigesetzt und dann von Mikroorganismen in durchschnittlich 40 Tagen zu Kohlendioxid, Phosphor und Wasser abgebaut“ (Monsanto 1, S. 7).

Unabhängige Studien kamen allerdings oft zu Werten, die eine längere Persistenz beweisen. Ausschlaggebend für die unterschiedlichen Werte ist wahrscheinlich die Art des Bodens. So wurden in finnischen Äckern Halbwertszeiten von 249 Tagen gemessen, in finnischen Wäldern

bis zu 296 Tage, 335 Tage in kanadischen Wäldern und zwischen einem und drei Jahren in elf untersuchten schwedischen Waldböden. Und selbst bei einem relativ schnellen Abbau von Roundup bleibt anschließend das Abbauprodukt AMPA (Aminomethyl-Phosphonsäure) bestehen, dessen Halbwertszeit weitaus größer ist als die von Glyphosat (Cox 1995/2, S. 16).

Roundup soll sich sofort nach der Applikation an Bodenteilchen binden (Monsanto 1, S. 7). Lange Zeit wurde angenommen, daß diese Bindung an Bodenpartikel irreversibel sei und das Herbizid somit über keine Mobilität im Boden verfüge und sich also auch nicht auswaschen ließe. Dagegen spricht jedoch eine Studie, in der 80 % des aufgetragenen Glyphosats innerhalb von zwei Stunden entwichen waren. Die Schlußfolgerung der Studie lautete: "Dieses Herbizid kann eine ausgedehnte Mobilität in der Bodenumwelt haben..." (Cox 1995/2, S. 16).

Auswaschungen ins Grundwasser können daher nicht ausgeschlossen werden.

Auswaschungen ins Grundwasser über die Bodenpassage sind also möglich. Roundup kann außerdem gebunden an Bodenpartikel oder durch Niederschläge von frisch gespritzten Pflanzen direkt in Oberflächengewässer gespült werden. Glyphosat wurde sowohl in Grundwasser wie auch in Oberflächengewässern nachgewiesen. Hier ist die Halbwertszeit allerdings geringer als im Boden. Zwei kanadische Studien kamen zu Werten zwischen 12 und 60 Tagen. Die Persistenz in Sedimenten ist wiederum länger. Rückstände des Glyphosat-Herbizids Accord konnten z.B. nach der Applikation in Waldseen noch nach 400 Tagen in deren Sedimenten nachgewiesen werden. Untersuchungen von Teich-Sedimenten in Michigan und Oregon ermittelten ebenfalls eine Persistenz von mehr als einem Jahr (Cox 1995/2, S. 16). Die Analyse von Glyphosat im Wasser ist sehr aufwendig und teuer. Die Entnahme von Proben aus Grundwasser und Oberflächengewässern und deren Analyse findet nur selten statt. Die tatsächliche Belastungssituation ist also nicht bekannt (Bobbink 1996, S. 5).

Abdrift: Eine randscharfe Verteilung von Herbiziden auf die gewünschte Fläche ist im allgemeinen nicht möglich. Eine Abdrift ist kaum zu vermeiden. Dies trifft auch für Glyphosat zu, wobei hier der dadurch entstehende Schaden oft weitaus größer sein kann als bei vielen anderen Herbiziden.

Die Anfälligkeit für Glyphosat variiert stark zwischen den verschiedenen Pflanzen. Einige Wildarten sind fast hundertmal empfindlicher als andere, so daß auch kleine Mengen ausreichen können, um sie zu schädigen. Mehrjährige Pflanzen können - wenn die Menge an Glyphosat nicht ausreichend war, um sie abzutöten - so stark geschädigt werden, daß

bestimmte Symptome über einige Jahre hinweg bestehen bleiben (Cox 1995/2, S. 15). Solche Symptome können sein: Hemmung des Pollenschlauchwachstums, Änderung der Kohlenhydratverteilung im Chloroplasten, Transporthemmung der Photosynthese und damit indirekte Hemmung der Photosynthese sowie erhöhte Pilzanfälligkeit (Böger 1996, S. 78).

Weil Glyphosat sich in der ganzen Pflanze verteilt, können auch Pflanzenteile betroffen sein, die nicht direkt mit dem Wirkstoff in Berührung gekommen sind (Cox 1995/2, S. 15).

Wie weit Glyphosat bzw. Roundup außerhalb der Zielfläche landet, ist von mehreren Faktoren abhängig. Eine weite Abdrift wird z.B. gefördert durch die Applikation aus der Luft (per Flugzeug oder Hubschrauber), hohe Windgeschwindigkeiten (über 10 km/h) und Spritzdüsen, die Roundup in viele winzig kleine Tröpfchen zerstäuben.

Bei der bodennahen Applikation von Glyphosat entweichen zwischen 14 und 78 % . Bei Untersuchungen mit einem am Traktor angebrachten Sprühgerät wurden nach der Ausbringung noch in 20 m Entfernung stehende Sämlinge mitvernichtet. Empfindliche Arten wurden auch im Abstand von 40 m noch abgetötet. Modellversuche zeigten, daß noch empfindlichere Pflanzen selbst bei Entfernungen von 100 m absterben würden. Rückstände von Glyphosat wurden in Windrichtung bis zu 400 m weit entfernt vom Aufbringungsort gemessen.

Zwischen 41 und 82 % des Mittels verfehlen die Zielfläche bei der Hubschrauberapplikation.

Hier wurden in zwei kanadischen Studien jeweils 200 m weit Rückstände von Glyphosat gefunden. Eine Untersuchung in Kalifornien wies Rückstände sogar noch 800 m entfernt nach. Geschädigte Pflanzen wurden hier bis zur Entfernung von 400 m registriert. Bei allen drei Studien handelte es sich um die weitesten Entfernungen, in denen noch gemessen wurde.

Auch die Ausbringung von Glyphosat mit Sprühflugzeugen hat eine weite Abdrift zur Folge. Verschiedene Studien des kanadischen Landwirtschaftsministeriums wiesen Glyphosat auch dabei jeweils an den weitesten Entfernungen nach, wo Messungen unternommen wurden.

Diese lagen bei 200, 300 und 400 m. Kalifornische Forscher fanden Glyphosat auch noch 800 m weit entfernt (Cox 1995/2, S. 15).

Es ist also nicht bekannt, wie weit Glyphosat tatsächlich abgetrieben werden und noch Pflanzen schädigen kann, weil in den meisten Untersuchungen in den größten Entfernungen, in denen gemessen wurde, immer noch Rückstände gefunden wurden.

Zum Schutz der umliegenden Vegetation wurde nach einer der kanadischen Studien eine Pufferzone zwischen 75 und 1200 m empfohlen (Cox 1995/2 , S. 15).

6 Die Rolle der Roundup-Ready-Sojabohnen für die Ernährungssicherung und für den ökologischen Landbau

6.1 Die Bedeutung von herbizidresistenten Sojabohnen für die Ernährungssicherung

Befürworter der Gentechnologie begründen deren Einsatz in der Pflanzenzüchtung häufig mit dem Argument, daß nur mit Hilfe dieser Technik langfristig die ausreichende Versorgung einer wachsenden Weltbevölkerung mit Lebensmitteln erreicht werden kann. Wer sich gegen die Gentechnik ausspricht wird beschuldigt, die Entwicklung einer Lösung des Hungerproblems blockieren zu wollen.

Auch die HR-Technik soll nach Meinung vieler Befürworter durch höhere bzw. gesicherte Erträge ihren Beitrag zur Sicherung der Welternährung leisten.

Hungerprobleme sind vorherrschend in den Entwicklungsländern der sogenannten Dritten Welt zu finden. Neubert und Knirsch haben im Rahmen eines Technikfolgenabschätzungs-Verfahren ein Gutachten über den Beitrag des Anbaus herbizidresistenter Kulturpflanzen für die Ernährungssicherung in der Dritten Welt erstellt und das schlagkräftige Argument des Ernährungsproblems ausführlich untersucht. Sie weisen darauf hin, daß chronische Unterernährung sich hier vor allem auf die ländliche Bevölkerung konzentriert. Die Menschen hungern aufgrund von Armut, der Nahrungsmangel ist also eine Folge von zu geringem Einkommen und steht häufig nicht in direktem Zusammenhang mit der absoluten Verfügbarkeit von Nahrung. Eine Verbesserung der Situation kann für diese Menschen folglich nicht allein durch höhere, gesicherte Erträge in der Landwirtschaft erreicht werden. Nur im Zusammenhang mit wirtschaftlichen Veränderungen, sozialen und politischen Maßnahmen wäre dem Hunger entgegenzuwirken (Neubert/Knirsch 1996, S. 208).

Nahrungsmittelknappheit ist heute in erster Linie kein Mengen-, sondern ein Verteilungsproblem. Außerdem geht zur Zeit fast die Hälfte der potentiellen pflanzlichen Nahrungsmittel als Futter in die Tierzucht. Durch eine gerechte Verteilung wäre bei geringerem Fleischkonsum das Hungerproblem auch für die Zukunft zu lösen. Gerade im Fall von Soja wird deutlich, daß weniger eine Produktionssteigerung als vielmehr eine Verringerung des Fleischkonsums in den Industrieländern eine Lösung des Problems mit sich bringen könnte, da der größte Teil der Sojaerträge heute zu Viehfutter verarbeitet wird. Länder wie z.B. Brasilien bauen Soja hauptsächlich für den Export in reiche Länder an, wo die Massentierhaltung von solchen Futtermittelimporten abhängig geworden ist (siehe Bertrand et al. 19984, S. 78). Dabei könnte

die Sojabohne aufgrund ihrer für die menschliche Ernährung günstigen Nährstoffzusammensetzung auch mehr als bisher ohne den Umweg über das Tier in die Lebensmittelerzeugung einfließen. Theoretische Berechnungen haben ergeben, daß sich alleine mit einer amerikanischen Jahresernte, wenn diese direkt zu Nahrungszwecken verarbeitet werden würde, 25 % des jährlichen Eiweißbedarfs der gesamten Weltbevölkerung decken ließen (Pater/Terpinc 1993, S. 17). Würde man das Eiweiß der gesamten Ernteerträge direkt zu Nahrungsmitteln verarbeiten, könnte man damit schätzungsweise 90 % des Eiweißmangels der Welt decken (Pater/Terpinc 1993, S. 19). Der Anbau von für den Export bestimmter Soja verdrängt darüber hinaus z.B. in Brasilien andere Pflanzenkulturen, die traditionell für die Produktion von Grundnahrungsmitteln für die brasilianische Bevölkerung angebaut werden (Bertrand et al. 19984, S. 104).

Bei einer weiteren Betrachtung der HR-Technik in bezug auf den Nutzen für Entwicklungsländer stellt sich die Frage der Einsatzmöglichkeiten. Die hohen Kosten für Forschung und Entwicklung schlagen sich im Saatgut nieder. Der Import von teurem Saatgut und ebenfalls teurem Herbizid kann nur für sehr wenige und für die wirtschaftlich stärksten Entwicklungsländer möglich sein (Neubert/Knirsch 1996, S. 209).

Die HR-Technik eignet sich auch erst ab einer bestimmten Mindestgröße der Betriebe. Sie setzt den Herbizideinsatz voraus, der wiederum ohne den Einsatz anderer Betriebsmittel wie z.B. landwirtschaftliche Maschinen gar nicht möglich ist. In Entwicklungsländern ist die Landwirtschaft jedoch eher kleinräumig und wird von einer hohen Arbeitsintensivität bei niedrigem Lohnniveau geprägt. Große kapitalintensive Feldbaubetriebe, die Soja anbauen, sind zumindest in tropischen Ländern Spezialfälle. Hier herrschen dagegen Ranches und Plantagen vor. Trotzdem kommen einige Gebiete Mexikos, Brasilien und andere Länder Lateinamerikas sowie China und zunehmend Indien in Frage (Neubert/Knirsch 1996, S. 210).

Für kleinbäuerliche Familienbetriebe eignet sich die HR-Technik also nicht. Gerade hier müßte aber die Ernährungssituation verbessert werden. Doch die Familien können sich weder den Kauf von Herbiziden noch von Saatgut leisten (Neubert/Knirsch 1996, S. 210). Saatgut wird in Ländern der dritten Welt zu 80 % aus der eigenen Ernte zurückbehalten (Wolff 1997, S. 33) und von daher traditionellerweise nicht gekauft. Roundup-Ready-Sojasaat ist dazu noch um ein Viertel teurer als das Saatgut herkömmlicher Sorten und darf nicht für die eigene Saatgutgewinnung aus der Ernte zurückbehalten werden, weil Monsanto durch die Patentierung der Roundup-Ready-Bohnen das „Besitzrecht“ an allen gegen Roundup resistenten Sojapflanzen beansprucht (Greenpeace 1997, S. 1).

Die manuelle oder mechanische Unkrautbekämpfung ist im familiären Kleinbetrieb ökonomisch wesentlich sinnvoller als die Herbizidanwendung. Ernteauffälle durch Unkrautwuchs sind hier kein Argument, weil in den meisten Entwicklungsländern bei niedrigem Lohnsatz ein Arbeitskräfteüberangebot bei gleichzeitigem Mangel an Kapital besteht (Wolff 1997, S. 70).

In Ländern der Dritten Welt dominiert der Mischkulturanbau vor dem Reinkulturanbau. Die HR-Technik ist aber hauptsächlich in großflächigen Reinkulturen ökonomisch sinnvoll einsetzbar. In Mischkulturen ist der Einsatz von Herbiziden allgemein erschwert oder unmöglich. Die HR-Technik könnte den Herbizideinsatz hier erleichtern oder sogar erst möglich machen, dafür müßten aber alle Kulturen eine Resistenz gegen das gleiche Herbizid aufweisen (Wolff 1997, S. 70/74 und Neubert/Knirsch 1996, S. 212). Solange Sojabohnen aber die einzigen verfügbaren Kulturpflanzen mit Glyphosatresistenz sind, würde das Komplexherbizid die andere Kultur ebenso wie die Unkräuter vernichten.

Für die großen, privaten, staatlichen oder auslands- und industriegestützten Betriebe in Lateinamerika, China oder Afrika scheint es zwar eher möglich, die HR-Technik rentabel einzusetzen. Bei privatem Grundbesitz würde eine Produktionssteigerung jedoch dem Eigentümer zugute kommen (Neubert/Knirsch 1996, S. 210). Da der Herbizideinsatz eine Rationalisierungsmethode darstellt und durch die HR-Technik noch erleichtert wird, besteht die Gefahr, daß Arbeitskräfte hierdurch eher freigesetzt als benötigt werden. Die Arbeit in solchen Großbetrieben ist aber für Menschen mit wenig oder gar keinem eigenen Land die einzige Möglichkeit, ein Einkommen zu erwirtschaften. Der Verlust dieser Arbeit würde sie zur Flucht vom Land weg in die Städte zwingen (Neubert 1993, S. 1). Wenn die Städte aber nicht in der Lage sind, diese Menschen außerhalb der Landwirtschaft zu beschäftigen, hätte dies eine weitere Verarmung zur Folge (Neubert/Knirsch 1996, S. 211).

Man kann also davon ausgehen, daß die HR-Technik und speziell herbizidresistente Sojabohnen keine Relevanz für die Ernährungssicherung besitzen. Selbst wenn positive Effekte auf die Erträge unterstellt werden würden, hieße dieses nicht gleichzeitig eine Verbesserung der Einkommens- und Ernährungssituation in den betreffenden Ländern. Entscheidend für die Handelsbilanz der Entwicklungsländer sind mehr die instabilen, zumeist sinkenden Weltmarktpreise und nicht die Erträge. Dies ist auch bei Soja der Fall, weil hier mit den Industrienationen konkurriert wird und die Preise durch die Subventionspolitik der USA diktiert werden (Neubert/Knirsch 1996, S. 215).

6.2 Herbizidresistente Sojabohnen und ökologischer Landbau

In der heutigen Landwirtschaft beginnt einerseits die Gentechnologie Fuß zu fassen, und gleichzeitig versucht sich der ökologische Landbau mehr und mehr zu etablieren. Zwischen diesen beiden Richtungen bestehen bestimmte Konkurrenzen und Konflikte, ebenso sind allerdings auch Wechselwirkungen zu bemerken und/oder zu erwarten.

Die Agrarpolitik der letzten 40 Jahre hat dazu geführt, daß es heute fast nur noch einseitig bewirtschaftete Höfe gibt, die ohne Pestizide, chemisch-/synthetische Düngemittel und Tierarzneimittel keine Lebensmittel mehr erzeugen können. Negative Folgen des heute vorherrschenden Systems der Intensivlandwirtschaft sind ökologische Schäden durch Agrochemikalien, Monokulturen, Massentierhaltung und Mineraldünger (Schwartau-Schuldt/Schneck 1994, S.3).

In der konventionellen Intensiv-Landwirtschaft ist es möglich, mit relativ geringem Arbeitsaufwand größtmögliche Erträge zu erzielen. Der damit einhergehende große Verbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen (wie z.B Energie, Wasser, genetische Vielfalt, Bodenfruchtbarkeit) wird der Produktion von Lebensmitteln langfristig gesehen aber selbst die Grundlage für ein weiteres Wirtschaften auf diese Art nehmen.

So führten z.B. die Beseitigung von Böschungen, Wallhecken, Feldgehölzen usw. sowie die Vergrößerung der Felder und die Zunahme von Monokulturen zu Erosionsschäden und einseitiger Bodenauslaugung. Wasserlösliche Mineraldünger schädigen das Bodenleben und führen zu hohen Nitratbelastungen des Grundwassers. Ebenso werden Grund- und Oberflächengewässer durch Pflanzenschutzmittel verunreinigt und auch die Luftbelastung durch die Landwirtschaft kann vor allem zu bestimmten Jahreszeiten sehr hoch sein (Bechmann 1996, S. 9). Die landwirtschaftliche Produktion trägt darüber hinaus durch die Emission bestimmter Gase zu etwa 15 Prozent zum vom Menschen gemachten Treibhauseffekt bei. Aus Tiermägen, Reisfeldern und Güllelagern entweicht Methan (CH_4), mit Stickstoff überdüngte Böden setzen Lachgas (N_2O) und Ammoniak (NH_3) frei, Kohlendioxid (CO_2) entsteht durch den steigenden Energieverbrauch der Intensivlandwirtschaft und durch den Humusabbau in den intensiv bearbeiteten Böden (Burdick 1995, S. 1)

Auch die Rodung von Wäldern zur Gewinnung landwirtschaftlich nutzbarer Flächen führte neben dem Verlust von Biodiversität zu lokalen Klimaveränderungen und Überschwemmungen, da die Wasserstaufunktion des Waldes verloren ging (Nöh 1995/96, S. 69/70).

Ebenfalls durch die Landwirtschaft verursacht wird zum großen Teil die Arten- und Biotopenverarmung. Hierfür verantwortlich sind die Verkleinerung, Zersplitterung und Beseitigung naturnaher Biotope, die Entwertung naturnaher Biotope durch die Änderung ihres Wasser- und Nährstoffhaushaltes, moderne Grünlandbewirtschaftung sowie die Intensivierung der ackerbaulichen Nutzung. Die somit ausgelöste Degradierung und Zerstörung von Biotopen beeengt den Lebensraum vieler Pflanzen und Tiere (Bechmann 1996, S. 9).

Der ökologische Landbau versucht solche ökologischen Negativwirkungen, wie die konventionelle Landwirtschaft mit sich bringt, zu vermeiden.

Es ist Ziel des ökologischen Landbaus, Landwirtschaft in angemessener Art und Weise zu betreiben, so daß aus ihr keine schwerwiegenden Umweltbelastungen hervorgehen als von Land, das in seinem natürlichen Zustand belassen ist (Schmidt, 1992, S. 385).

Hier wird mit dem ganzheitlichen Bewußtsein von der Einheit zwischen Boden, Pflanze, Mensch und Tier gearbeitet. In diesem Gesamtgefüge vollzieht sich ein Kreislauf lebendiger Substanzen. Der Mensch begreift sich als Teil eines natürlichen Systems. Ziel dieser nachhaltigen Landwirtschaft ist es, die lebendige Bodenfruchtbarkeit sowie die Stabilität und Vielfalt der genutzten Ökosysteme langfristig zu erhalten und zu verbessern. Es wird ein möglichst geschlossener Betriebskreislauf mit mehr als einem Wirtschaftszweig und vielfältiger Struktur angestrebt, der den naturgesetzlichen Kreislauf zwischen Boden, Pflanze, Tier und Mensch berücksichtigt (Linck 1996, S. 2).

Grundlegende Kennzeichen des ökologischen Landbaus sind:

- Verzicht auf leichtlösliche Mineraldünger, stattdessen Förderung der Dauerfruchtbarkeit des Bodens durch organischer Düngung, vielseitige Fruchtfolgen und Förderung des Wachstums von Kleinstlebewesen,
- Verzicht auf chemische Pflanzenschutzmittel (Insektizide, Fungizide und Herbizide), stattdessen Einsatz von Pflanzenauszügen, mechanischen Verfahren, entsprechender Fruchtfolgegestaltung sowie Förderung von Nützlingen zur natürlichen Schädlingsbekämpfung,
- Unterstützung der Artenvielfalt im Tier und Pflanzenbereich, z.B. durch vielfältige Pflanzengemeinschaften ohne Monokulturen und verschiedene Tierarten ohne übertriebene Spezialisierung,
- Tierhaltung nach artgerechten Maßstäben mit fast ausschließlich hofeigenem Futter, Verzicht auf Futterzusatzstoffe, Hormone und vorbeugene Tierarzneimittel, keine Massentierhaltung, beschränkter Tierbesatz in Relation zur Futterfläche,

- Bewußte Vermeidung jeglicher Umweltbelastungen, geringstmöglicher Verbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen (Energie- und Rohstoffvorräte),
- Förderung bewährter Kultursorten und Zuchtstrassen insbesondere im Hinblick auf Schädlingsresistenz und Tiergesundheit,
- Ablehnung der Gentechnik und
- bewußte Landschaftsgestaltung durch Biotopenerhaltung, Hecken und Ackerraine.

(Schwartau-Schuldt/Schneck 1994, S. 3/4 und Plagge 1996, S.11)

Aber auch in der konventionellen Landwirtschaft wird man sich mittlerweile einer gewissen Verantwortung bewußt. Auf der Weltkonferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro (UNCED) kam man zu der Erkenntnis, daß die gegenwärtige Produktions- und Wirtschaftsweise global zu schwerwiegenden Störungen ökologischer Systeme führt und das damit die Bedürfnisse zukünftiger Generationen gefährdet werden. Auf diesem Weltgipfel wurde u.a. ein Aktionsplan für nachhaltig umweltgerechte Entwicklung - die Agenda 21 - beschlossen. In Kapitel 14 enthält sie Bestimmungen zur Förderung einer nachhaltigen Landwirtschaft und ländlicher Entwicklung und in Kapitel 15 zur Erhaltung der biologischen Vielfalt (Nöh 1995/96, S. 71).

Die Agenda 21 geht aber nicht so weit, den ökologischen Landbau als alternatives Methodengefüge zu fordern (Projektstelle Umwelt & Entwicklung 1995, S. 8).

Die Umsetzung des Nachhaltigkeitsgedankens in der konventionellen Landwirtschaft erfordert u.a. die Integration ökologischer Ziele in der Pflanzenzucht, die Beschränkung des chemischen Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf ein durch Fruchtfolgegestaltung, acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen sowie durch Pflanzenzüchtung nicht weiter ersetzbares Maß und die Verwendung wirksamer, aber rasch und vollständig abbaubarer Wirkstoffe (UBA 1997, S. 71).

Diese Ziele sollen hier vor allem durch den Einsatz der Bio- und Gentechnologie verwirklicht werden. Dr. Klaus Ammann schreibt dazu in einem Statement vom 20. August 1996:

„Die Gentechnologie ermöglicht es in Zukunft auch, noch einen weiten Schritt weg von der bisherigen Monokultur zu gehen, bei der sehr viele Pestizide und Herbizide in einem komplizierten Spritzkalender verabreicht werden müssen. Die bisherige klassische Zucht von Kulturpflanzen ganz allgemein ist gewissermaßen in eine Sackgasse geraten, an deren Ende gravierende Bodenprobleme und Schädlingsinvasionen abzusehen sind. Wollen wir dies in den nächsten Jahrzehnten vermeiden lernen, müssen wir in der Zucht neue Wege beschreiten, es gilt, die Gentechnologie vermehrt einzuspannen in das Erreichen der Ziele einer ökologischeren Anbauweise. Mit den neuen biologisch vollständig und rasch abbaubaren Herbiziden können

zukünftig Bodenprobleme, herrührend von nicht abgebauten Herbizid-Rückständen, vermieden werden.“ (Ammann 1996, S. 1).

Zu herbizidresistenten Sojabohnen schreibt er außerdem, daß Monsanto einen ersten Schritt in die Richtung biologischer Anbaumethoden unternommen habe, in dem es der Firma gelungen ist, mit Hilfe der Gentechnik ein biologisch einwandfrei abbaubares Herbizid zur Anwendung zu bringen. Der Herbizideinsatz sei dadurch biologischer zu gestalten und auch mengenmäßig um ein Drittel zu reduzieren (Ammann 1996, S. 1).

Monsanto selbst wirbt für seine Sojabohnen ebenfalls mit Umweltaspekten wie geringerem Herbizideinsatz und ökologischer Unbedenklichkeit des Komplementärherbizids Roundup (siehe auch 4.3.1).

In den Unterlagen der „Initiative Information Sojabohne“, die von Monsanto getragen wird, heißt es:

„Herbizidtolerante Pflanzen sind eine zeitgemäße und intelligente Lösung, die Umweltbelastung zu verringern und gleichzeitig die Ernteerträge zu sichern. Eine Aufgabe, die in den nächsten Jahren mehr denn je an Bedeutung gewinnen wird. So erwarten Experten - unter dem Druck des Bevölkerungswachstums - katastrophale Auswirkungen auf den Naturhaushalt, wenn nicht alle Methoden ertragsintensiver Landwirtschaft voll ausgeschöpft werden. Andernfalls kann es zu erheblichen Naturzerstörungen kommen. Arten- und Biotopenschutz kann nur dann geleistet werden, wenn auf wenig Fläche höchste Erträge erzielt werden. Die Anwendung moderner Biotechnologie zur gezielten Verbesserung von Nutzpflanzen ist somit nicht nur ein Gebot der Ökonomie, sondern auch der Ökologie“ (Information Sojabohne 1996, KI 2, S. 2).

Nach diesen Aussagen könnte man glauben, herbizidresistente Sojabohnen sind ein Schritt in die Richtung ökologischer Lebensmittelerzeugung.

Dagegen muß aber eingewandt werden, daß der Einsatz eines chemischen Totalherbizides ein massiver Eingriff in den Pflanzenstoffwechsel und in ökologische Systeme ist, und deshalb nicht als ökologische Methode gewertet werden. Gerade für Roundup trifft außerdem das Kriterium der besonderen Umweltverträglichkeit nicht zu (siehe Punkt 5.6).

Die Vorteilsverteilung fällt zugunsten der Herstellerfirma und möglicherweise der Landwirte und Landwirtinnen aus. Für die Umwelt besteht dagegen die Gefahr darin, daß weiterhin auf den Einsatz von Herbiziden gesetzt wird und die Nutzpflanzen durch gentechnische Maßnahmen an die Pflanzengifte angepaßt werden, anstatt eine Anpassung der

landwirtschaftlichen Methoden an Umweltbedingungen und Naturgesetze wie im ökologischen Landbau vorzunehmen und voranzutreiben.

Gentechnik und Öko-Landbau geraten hier in einen gewisse Konkurrenzkonflikt:

Bisher verfolgen die Gentechnik und der Öko-Landbau in der Landwirtschaft grundsätzlich zwei gegensätzliche Ziele. Während mit Hilfe der Gentechnik in der konventionellen Landwirtschaft versucht wird, auf geringer Fläche hohe Erträge zu erhalten, erzielt der Öko-Landbau - relativ gesehen - eher geringere Erträge auf großen Flächen mit dem Hauptanliegen des Erhalts der Bodenfruchtbarkeit und damit der langfristigen Ernährungssicherung.

Beide Bewegungen bemühen sich um die Anerkennung durch Gesellschaft und Konsumenten/Konsumentinnen, um die Ausdehnung der Fläche, die nach ihren Regeln bewirtschaftet wird, sowie auch um öffentliche Fördermittel. Die Gentechnik hat in diesem Konkurrenzkampf die Interessen der Industrie hinter sich.

Für den Öko-Landbau können sich langfristig gesehen Probleme ergeben, die Gentechnikfreiheit ökologisch erzeugter Produkte zu garantieren. Wenn sich z.B. ein Feld mit Roundup-Ready-Sojabohnen in der Nähe eines Feldes befindet, welches mit Öko-Soja bestellt ist, könnte ein Auskreuzen der veränderten Gene durch Pollenflug stattfinden.

Eine weitere Gefahr für den Öko-Landbau wäre, wenn die Gentechnik sich dermaßen ausbreiten würde, daß es irgendwann kein Saatgut mehr ohne Gentechnik-Komponente zu kaufen gäbe.

Durch die Diskussion um die Importgenehmigung der Roundup-Ready-Sojabohne in die EU fällt auf die Sojabohne teilweise ein falsches Licht, denn die Pflanze wird dadurch mit negativen Assoziationen verbunden. Zwar bringt auch der in großem Ausmaß betriebene konventionelle Anbau von Soja erhebliche ökologische und sozio-kulturelle Probleme mit sich. Diese Problematik ist besonders gravierend dadurch, daß ein Großteil der Erträge für den Export und die Futtermittelproduktion in reichen Ländern verwendet wird. Ökologisch angebaut besitzt Soja jedoch so viele Vorteile, daß es unbegründet wäre, Anbau und Verarbeitung generell negativ zu bewerten.

Die Verbraucher und Verbraucherinnen sind teilweise sehr verunsichert was die Sicherheit der Sojabohnen anbelangt. Lebensmittelunternehmen und Ladenketten fürchten dadurch große Umsatzeinbußen. Einige unter ihnen versichern deshalb, auf den Einsatz von Sojabohnen aus den USA, die mit Roundup-Ready-Soja vermischt sein können, zu verzichten. Dies geschieht

zum Teil dadurch, daß sie auf Soja aus den Anbaugebieten zurückgreifen, in denen noch keine Roundup-Ready-Sojabohnen angebaut werden, oder sie verzichten generell auf die Verwendung von Sojabohnen und Sojaprodukten.

Die Rahmenrichtlinien der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Landbau e.V (AGÖL), in der sich die deutschen Erzeugerverbände des ökologischen Landbaus zusammengeschlossen haben, untersagen den Einsatz gentechnisch veränderter Organismen oder ihrer Produkte in Landbau und Verarbeitung (Anog 1996, S. 25). Auch die Richtlinien des internationalen Dachverbandes der ökologischen Anbauverbände IFOAM⁷ untersagen die Verwendung gentechnisch veränderter Organismen oder deren Produkte im ökologischen Landbau und in seinen Erzeugnissen. Durch die Deklarationsvorschriften der Verbände und des Bundesverbandes Naturkost Naturwaren (BNN) läßt sich der Weg der Rohstoffe vom Hersteller bis zum Ernteort zurückverfolgen. Also kann man bei kontrolliert ökologischer Ware sicher sein, daß diese keine gentechnischen Produkte enthält.

Der Anbau von Roundup-Ready-Soja hätte im ökologischen Landbau auch keinen Sinn, weil hier der Einsatz von Herbiziden sowieso ausgeschlossen ist (Ökosoj e.V. 1996, S. 1/2).

Da im Naturkosthandel also nur gentechnisch unveränderte Sojabohnen und deren Produkte verkauft werden, könnte dies evtl. ein neues Marktpotential für die Naturkostbranche bedeuten. Auch verunsicherte Verbraucher und Verbraucherinnen, die bisher noch nicht zum Kundenstamm gehörten, kaufen nun vielleicht eher im Öko-Laden. Ebenso könnten Herstellerfirmen, die sich entschlossen haben, keine genveränderte Soja zu verwenden, auf ökologisch erzeugte Sojabohnen zurückgreifen. Letztendlich würde so die Nachfrage nach Öko-Soja steigen und deren Anbau damit vorangetrieben. Der Gen-Soja-Anbau könnte also zunächst den Öko-Soja-Anbau stärken. Damit und durch die Verunsicherung in der Bevölkerung würde ausgerechnet die Gentechnik dem ökologischen Landbau helfen, einen größeren Zuspruch bei den Verbrauchern und Verbraucherinnen zu erreichen. Ob dies dem ökologischen Landbau allerdings hilft, sich weiter zu etablieren, während treibende Kräfte der industrialisierten Landwirtschaft den Einsatz der Gentechnik unterstützen, bleibt fraglich. Anzunehmen ist außerdem, daß der Protest der Verbraucher und Verbraucherinnen gegen Gentechnik in der Landwirtschaft mit der Zeit eher abnimmt und daß diese sich letztendlich doch im konventionellen und evtl. sogar im ökologischen Landbau durchsetzt.

⁷ IFOAM = International Federation of Organic Agriculture Movement

7 Gesundheitliche Risiken

Für Konsumenten und Konsumentinnen stellt sich die Frage, ob die gentechnisch veränderten Sojabohnen und die daraus hergestellten Produkte negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben können. Da heutzutage in 20.000 bis 30.000 Lebensmitteln Sojabestandteile enthalten sind (siehe 2.3), ist es kaum möglich, einfach auf den Verzehr von sojahaltigen Nahrungsmittel zu verzichten. Von den ca. 62 Mio. t Sojabohnen, die in den USA 1996 geerntet wurden, betrug der Anteil an Roundup-Ready-Sojabohnen ungefähr 2 %. In die EU wurden im selben Jahr 9 Mio. t Sojabohnen aus den USA importiert. Der Anteil transgener Bohnen wurde auf etwa 200.000 t geschätzt. In Deutschland gelangten davon zwischen 20.000 und 40.000 t zur Weiterverarbeitung in die Ölmühlen (Information Sojabohne 1996 und Die Verbraucher Initiative e.V. 1996, S. 5). Für 1997 wird mit einem größeren Anteil Roundup-Ready-Bohnen gerechnet, der ungefähr bei 15 % liegen wird.

Um die Importgenehmigung für die Roundup-Ready-Sojabohnen in die Europäische Union zu erhalten, mußte Monsanto anhand wissenschaftlicher Untersuchungen und deren Dokumentation die gesundheitliche Unbedenklichkeit der Roundup-Ready-Sojabohnen beweisen. Das britische Advisory Committee on Novel Foods and Processes (ACNFP) prüfte die Unterlagen und kam zu dem Schluß, daß die genmodifizierten Sojabohnen für den menschlichen Gebrauch ebenso sicher seien wie herkömmliche Sorten (Gassen 1996, S. 1). Nach eigenen Angaben von Monsanto lautete das übereinstimmende Resultat der Sicherheitsbewertung, die genmodifizierte Sojabohne „Roundup-Ready“ würde sich nicht von der herkömmlichen Hülsenfrucht unterscheiden. Ebenso würden sich auch die Lebensmittel, welche Bestandteile aus den gentechnisch veränderten Sojabohnen enthalten, in keiner Weise hinsichtlich Sicherheit, Nährwert, Zusammensetzung und Verarbeitungseigenschaften von herkömmlichen Lebensmitteln unterscheiden (Information Sojabohne 1996, KI 3, S. 2 und Information Sojabohne 1996, KI 4, S. 1).

Die Risikobewertung weist allerdings Mängel und Auslassungen auf. Die gesundheitlichen Gefahren sind nicht ausreichend bewertet worden (Naumann 1996, S. 1 und Tappeser 1997, S. 1). Die wichtigste Unterlassung innerhalb der Überprüfung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit ist wohl, daß Monsanto alle Tests mit Sojabohnen durchgeführt hat, die nicht mit dem Komplementärherbizid Roundup behandelt worden sind (Naumann 1996, S. 2 und Tappeser 1997, S. 1). Da die Roundup-Ready-Sojabohnen aber in der Praxis mit dem Herbizid bespritzt werden sollen und außerdem die gentechnisch eingebaute Resistenz gegen das Mittel auch

nutzlos ohne den Einsatz von Roundup wäre, sind die Ergebnisse der Sicherheitsprüfung nicht repräsentativ. Die tatsächlichen Risiken bleiben ungeklärt. Außerdem haben weder die US-amerikanischen noch die in der EU damit befaßten britischen Behörden die Roundup-Ready-Bohnen selbst untersucht. Es wurden lediglich die Unterlagen überprüft und die gesundheitliche Unbedenklichkeit bestätigt (Lockl 1996, S. 1).

Unbeabsichtigte und nicht vorhersehbare Nebenwirkungen werden bei gentechnischen Veränderungen häufig beobachtet. Zum Teil beruhen diese auf sogenannten Positionseffekten, also darauf, daß nicht steuerbar ist, an welcher Stelle und in welcher Anzahl von Kopien die rekombinante DNA im Empfänger genom integriert wird. Auch pleiotrope Effekte können zu unverhergesehenen Nebenwirkungen führen, d.h., daß durch einen einzigen Gentransfer mehrfache Merkmalsveränderungen verursacht werden können (Weber 1997, S. 2).

Risikopotentiale von Roundup-Ready-Sojabohnen sind

- ein erhöhtes Allergierisiko
- veränderte Inhaltsstoffe und
- Rückstände von Glyphosat und Glyphosatmetaboliten.

(Weber 1997, S. 1).

Erhöhtes Allergierisiko:

Neue Allergien können schon durch geringfügig in ihrer Struktur veränderte Eiweiße ausgelöst werden. Auch eng verwandte Proteine können ein sehr unterschiedlich hohes allergenes Potential haben (Weber 1997, S. 6). Das neu in der Sojabohne exprimierte CP4-EPSPS ähnelt zwar dem pflanzeigenen Protein und übernimmt dieselbe Funktion wie dieses, stammt aber aus einem Bodenbakterium und ist nicht vollständig identisch mit dem pflanzlichen Enzym. Wenn es das wäre, würde es ebenso von Glyphosat gehemmt werden wie die EPSP-Synthase der herkömmlichen Sojapflanze.

Die rekombinante EPSP-Synthase macht bis zu 0,1 % der Samenproteine von Sojabohnen aus. Die Möglichkeit einer Sensibilisierung ist aber trotz der relativ niedrigen Konzentration nicht ausgeschlossen. Sensible Personen können auch auf sehr geringe Allergenkonzentrationen allergisch reagieren (Weber 1997, S.).

Das allergene Potential läßt sich bei der Roundup-Ready-Sojabohne nur schwer abschätzen, denn Allergene können nur mit Hilfe von Antikörpern verläßlich nachgewiesen werden, die von allergischen Personen gebildet wurden. Das Blutserum dieser Personen wird im Test für die

Identifikation allergener Inhaltsstoffe eingesetzt. Im Fall von Proteinen, die bisher nicht Bestandteil der Nahrung waren, steht diese Testmöglichkeit jedoch nicht zur Verfügung. Das CP4-EPSPS aus dem Bodenbakterium *Agrobacterium spec.* wurde bislang höchstens als Verunreinigung mit der Nahrung, jedoch nicht als Nahrungsbestandteil aufgenommen. Es konnte deshalb noch keine allergische Reaktion bei Menschen beobachtet werden, also ist auch kein Antikörper enthaltendes Blutserum vorhanden (Weber 1997, S. 5 und Koch 1997, S. A-1330).

Um zu beweisen, daß das neueingeführte bakterielle Enzym kein allergenes Potential zeigt, wurde stattdessen Serum von Personen verwendet, die eine Sojaallergie haben. Da das Eiweiß CP4-EPSPS bisher in Sojabohnen in diese Form aber nicht vorkam (sondern lediglich die pflanzliche Variante EPSPS) ist auch nicht zu erwarten, daß im Test eine Reaktion mit dem Serum der Sojaallergiker erfolgt (Tappeser 1997, S. 4/5).

Die enzymatische Aktivität der CP4-EPSP-Synthase wird laut Untersuchungsbericht von Monsanto durch die Verarbeitung der Sojabohnen in den Ölmühlen bei 120° C (zum Entfernen des Extraktionsmittels aus dem Öl) bzw. 106° bis 110° C (zum „Toasten“ des Schrots) auf Null reduziert (Gassen 1996, S. 2). Ein Teil des rekombinanten Proteins bleibt aber immer noch nachweisbar. Die räumliche Struktur des Proteins ist durch den Prozeß zwar verändert, aber es verbleibt ein denaturiertes, enzymatisch inaktives Molekül. Die Allergenizität muß dabei jedoch nicht verloren gehen. Ein allergenes Potential kann allein durch die Denaturierung eines Proteins nicht ausgeschlossen werden (Weber 1997, S. 7).

Es läßt sich nicht nachweisen, daß die transgene Sojabohnen ein höheres Allergiepotential als herkömmliche Sojabohnen besitzen, doch kann auch nicht sicher davon ausgegangen werden, daß dieses Risiko nicht besteht.

Veränderte Inhaltsstoffe:

Aufgrund von unbeabsichtigten Nebenwirkungen der gentechnischen Veränderung sowie durch den Einfluß von Glyphosat kann die Konzentration von Inhaltsstoffen der Sojabohne verändert sein (Weber 1997, S. 9). Innerhalb der von Monsanto durchgeführten Untersuchungen sind z.T. signifikante Unterschiede bei den getesteten Inhaltsstoffen der transgenen und nicht transgenen Sojabohnen gefunden worden.

Die transgenen Sojabohnen enthielten z.B. in einem auf neun Feldern durchgeführten Versuch im Durchschnitt mehr Fett und weniger Kohlenhydrate als die zur Kontrolle untersuchten

Bohnen der nicht transgenen Elternlinie. Auch die Fettsäurezusammensetzung unterschied sich leicht von der in der Elternlinie (siehe Padgett et al. 1996, S. 707/708).

Die Trypsin-Inhibitoraktivität im entfetteten, nicht erhitzten Mehl aus den transgenen Sojabohnen lag deutlich höher als bei den Kontrollbohnen (siehe Padgett et al. 1996, S. 712). Trypsin-Inhibitoren hemmen das wichtigste eiweißverdauende Enzym im Darm und zählen deshalb zu den antinutritiven Stoffen, die in Sojabohnen enthalten sind. Eine erhöhte Trypsin-Inhibitor-Aktivität in Sojabohnen kann gesundheitsschädigende Wirkung haben. Zwar werden die Trypsin-Inhibitoren durch Erhitzen zerstört, beim Keimen der Bohnen reduziert sich ihre Aktivität dagegen nur unwesentlich. Auch in nicht erhitztem Mehl sind die antinutritiven Stoffe noch enthalten (Weber 1997, S. 12).

Eine der wichtigsten Veränderungen unter den Inhaltsstoffen stellt die Konzentration der Phytoöstrogene da. Dies sind sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, die den Östrogenstoffwechsel von Menschen und Tieren beeinflussen können. Sie wirken entweder als schwache Östrogene oder hemmen die Wirkung endogener Östrogene. Sie haben also entweder eine östrogene oder eine antiöstrogene Wirkung. Es wird angenommen, daß dies vom jeweiligen endogenen Östrogenspiegel abhängig ist (Weber 1997, S. 13).

Soja enthält von Natur aus verschiedene Phytoöstrogene. Durch eine Behandlung mit Glyphosat kommt es aber sehr wahrscheinlich zur vermehrten Bildung dieser Substanzen. Dies ist bei Bohnen bereits nachgewiesen worden. Eine Akkumulation erfolgte in allen Pflanzenteilen, die mit dem Herbizid in Kontakt gekommen waren. Bei der Applikation praxisüblicher Mengen von Glyphosat ergab sich eine Anreicherung von 50 µ Cumöstron pro behandelter Pflanze. Der Verzehr von 100 µ reicht bei Mäusen bereits für einen deutlichen Einfluß auf das Gebärmutterwachstum aus (Sandermann/Wellmann 1988, S. 288).

Eine vermehrte Bildung von Phytoöstrogenen durch Applikation von Glyphosat wird ähnlich wie bei der Bohne auch für Soja erwartet (Sandermann 1993, S. 12).

Bei Frauen können bereits geringe Dosen mit der Nahrung aufgenommener Phytoöstrogene zu Störungen des Menstruationszyklus führen (Koechlin 1997, S.1). Mittlerweile ist auch unbestritten, daß östrogenartige Substanzen bei Männern Einfluß auf die Spermienzahl und -qualität haben (Tappeser 1997, S. 1/2). Für viele Tierarten sind Phytoöstrogene ab einer bestimmten Menge toxisch oder bewirken Unfruchtbarkeit, Fortpflanzungsstörungen oder Krebs. Für Neugeborene wird eine Beeinträchtigung der sexuellen Entwicklung durch eine

erhöhte Aufnahme von Phytoöstrogenen befürchtet, da jede Östrogendosis während der Kindheit übermäßig gegenüber der geringen körpereigenen Östrogenproduktion ist (Koechlin 1997, S. 1). Allgemein wird empfohlen, daß schwangere Frauen und Kinder möglichst wenig exogene Östrogene aufnehmen sollen. Dies gilt auch für Frauen, die bereits östrogen-induzierte Brusttumoren hatten (Weber 1997, S. 14).

Erhöhte Phytoöstrogenwerte in Sojapflanzen stellen vor allem dann eine gesundheitliche Belastung dar, wenn weitere exogen aufgenommene Östrogene (aus hormonell aktiven Chemikalien oder Hormonpräparaten) hinzukommen, die keine natürlichen Bestandteile der Nahrung sind. Besonders empfindlich reagieren wahrscheinlich Ungeborene und Kinder (Weber 1997, S. 15). Wie man dem Zulassungsantrag für die Importgenehmigung der Roundup-Ready-Sojabohne in die EU aber entnehmen kann, wurde lediglich der Phytoöstrogengehalt von transgenen Sojabohnen analysiert, die nicht mit Roundup behandelt worden waren (Siehe Padgett et al. 1994, S. 39f,43).

Rückstände von Glyphosat und Glyphosatmetaboliten:

Für Glyphosat und dessen Abbauprodukte ergibt sich bei Roundup-Ready-Sojabohnen eine veränderte Rückstandsproblematik gegenüber herkömmlichen Sojabohnen. Bisher konnten nach einer bloßen Bodenbehandlung mit Glyphosat ein Jahr später noch Rückstände in Salat, Möhren und auch Gerste gefunden werden, welche zur Zeit der Applikation noch gar nicht auf den Äckern wuchsen (Tappeser 1997, S. 3). Da das Herbizid bei den resistenten Sojabohnen im Nachauflauf eingesetzt wird, kommen die transgenen Pflanzen direkt mit dem Pflanzengift in Kontakt. Es ist daher mit einer erhöhten Rückstandsbelastung in der Pflanze zu rechnen. Dies spiegelt sich auch in den Glyphosatgrenzwerten für Soja wieder. In den USA wurde 1986 noch ein Grenzwert von 0,20 mg/kg für Glyphosat in Sojaschoten empfohlen. Dieser dürfte durch die Einführung der HR-Technik wohl nicht mehr einzuhalten sein. 1996 wurde als neuer Grenzwert 100 mg/kg festgelegt (Weber 1997, S. 16).

Glyphosat ist von unterschiedlichen Konzentrationen an für verschiedene Säugetiere toxisch (siehe 5.6). In Tierversuchen wurden bei oraler Aufnahme des Giftes Symptome wie reduzierter Appetit, verminderte Reaktionsfähigkeit, Bewegungsarmut, Entzündungen im Magendarmtrakt, Durchfall und Kollaps beobachtet (Ohnesorge 1993, S. 71/72).

In Langzeit-Fütterungsversuchen traten vermehrt Hodentumore bei männlichen Ratten auf. Die Häufigkeit des Auftretens der Tumore korrelierte mit der Höhe der mit dem Futter verabreichten Glyphosatdosis (Weber 1997, S. 17/18).

In einem Test mit Menschen, an dem sich 345 Freiwillige beteiligten, kam es bei oraler Aufnahme zu Übelkeit, Erbrechen, Bauchschmerzen und zu Geschwürbildung in Mundraum und Rachen (Ohnesorge 1993, S. 71/72).

Monsanto hat bisher einen pflanzlichen Metabolismus von Glyphosat abgestritten. Es ist jedoch nachgewiesen worden, daß Glyphosat in der Pflanze zu AMPA (Aminomethyl-Phosphonsäure) und AMPA-haltigen, unlöslichen Verbindungen abgebaut wird. Die Struktur der AMPA-haltigen Konjugate ist noch unbekannt. Als Nebenprodukte des Abbauvorgangs entstehen unphysiologische Phosphonolipoide und Kohlendioxid (Sandermann 1993, S.11).

Die toxikologischen Eigenschaften von AMPA gleichen denen von Glyphosat. Die Persistenz des Abbauproduktes ist allerdings erhöht.

Rückstände von Glyphosat und Glyphosatmetaboliten können u.U. bei Menschen zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen. Das gesundheitliche Risiko für die menschliche Gesundheit durch erhöhte Herbizidrückstände in Roundup-Ready-Sojabohnen ist in den Antragsunterlagen von Monsanto nicht berücksichtigt worden. Es liegen keine Daten über Rückstandsuntersuchungen in transgenen Sojabohnen vor, die mit Glyphosat behandelt worden sind. Es wurden lediglich Fütterungsversuche mit Roundup-Ready-Bohnen durchgeführt, die nicht mit Roundup in Kontakt gekommen sind (siehe Padgett et al. 1994, S. 58 bis 62). Da die in den Handel gelangenden Sojabohnen aber mit Roundup behandelt sein werden, ist ein gesundheitliches Risiko durch den Verzehr der transgenen Sojabohnen oder deren Produkte nicht auszuschließen.

8 Zusammenfassung und Stellungnahme

In dieser Arbeit sollte untersucht und dargestellt werden, welche Auswirkungen Sojabohnen mit gentechnisch vermittelter Herbizidresistenz auf die Landwirtschaft, die Umwelt und die menschliche Gesundheit haben können.

Es zeigte sich, daß ein Nutzen für die Landwirtschaft nicht in jedem Fall gewährleistet ist. So ist bisher nicht bewiesen, ob der Herbizidverbrauch tatsächlich durch die HR-Technik vermindert werden kann. Hinzu kommt, daß das Saatgut um ein Viertel teurer als das herkömmliche verkauft wird. Es ist also keinesfalls sicher, ob sich die Kosten der Unkrautvernichtung tatsächlich verringern lassen.

Das Totalherbizid kann nun zwar in der empfindlichsten Wachstumsphase der Unkräuter eingesetzt werden, jedoch ist die Flexibilität bei der Herbizidanwendung eingeschränkt, weil die Wirksamkeit bei Überschreiten dieses Zeitpunktes herabgesetzt ist. Infolge einer verspäteten Anwendung müßte die Dosierung des Herbizids erhöht werden. Damit wären die Vorteile der HR-Technik hinfällig. Die verstärkte Konzentration auf den ausschließlichen Einsatz von Roundup im Sojaanbau birgt zudem die Gefahr, daß sich resistente Unkrautarten bilden.

Während positive Effekte auf die landwirtschaftliche Praxis der Unkrautbekämpfung evtl. noch denkbar sind, kann von einer geringeren Umweltbelastung durch den Anbau der transgenen Sojabohnen auf keinen Fall die Rede sein.

Das Argument des verminderten Herbizidverbrauchs wird durch die höhere Wirksamkeit von Roundup gegenüber den bisher in Sojakulturen eingesetzten Herbizide relativiert. Die Behauptung der guten Umweltverträglichkeit von Roundup läßt sich nicht halten. Durch die erweiterten Einsatzmöglichkeiten und die Toxizität des Totalherbizids kann die Umweltbelastung sogar stärker sein, als bei dem Einsatz selektiver Herbizide. Zusätzlich bestehen die ökologische Risiken durch die gentechnische Veränderung der Sojapflanze. Eine Übertragung der Herbizidresistenz auf andere Pflanzen würde hartnäckige Unkräuter entstehen lassen, die mit Roundup nicht mehr bekämpfbar wären. Die Übertragung der Trans-Gene auf Mikroorganismen könnte das Populationsgleichgewicht der Bodenmikroflora stören und damit wichtige Bodenfunktionen beeinflussen.

Im Falle einer Verwilderung der herbizidresistenten Sojapflanzen würden diese selbst zu Unkräutern in anderen Kulturen werden. Resistente Unkräuter oder verwilderte transgene

Sojapflanzen könnten in bestehende Ökosysteme eindringen und dort vorhandene Pflanzen verdrängen und damit das ökologische Gleichgewicht dieser Systeme stören.

Eine Einschränkung der Arten- und Sortenvielfalt kann darüber hinaus durch Züchtungspraxis und durch den veränderten Herbizideinsatz stattfinden.

Gesicherte Erkenntnisse über die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit liegen bisher noch nicht vor. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, daß durch den Verzehr von Produkten, die Roundup-Ready-Sojabohnen enthalten gesundheitsschädigende Wirkungen auftreten können. Fragen des Allergiepotentials und der Wirkung angehäufter Phytoöstrogene in den Bohnen sowie die besonderen Rückstandsproblematik sind noch nicht geklärt.

Wegen der gemeinsamen Lieferung und Verarbeitung mit herkömmlichen Sojabohnen zusammen und aufgrund der Tatsache, daß ca. jedes dritte Lebensmittel Soja oder Sojabestandteile enthält und auch die Grundlage für Viehfutter meistens Soja ist, können Verbraucher und Verbraucherinnen kaum einen Bogen um Roundup-Ready-Lebensmittel machen. Die Konsumenten der Produkte haben überhaupt keinen Vorteil an dieser Art der gentechnischen Veränderung eines Lebensmittels. Statt dessen tragen sie - genau wie die Umwelt - ein nicht abschätzbares Risiko, für das kein Mensch haften kann.

Ich denke, daß gerade die Herbizidresistenztechnik ein Fallbeispiel dafür ist, wie die Gentechnik im Lebensmittelbereich nicht angewendet werden sollte. Gleichzeitig zeigt dieses Beispiel, wie die Gentechnik mit den Interessen der Industrie (hier die Industrialisierte Landwirtschaft und die chemische Industrie) gekoppelt sein kann. Darin sehe ich - zusätzlich zu den Gefahren der Gentechnik alleine - eine nicht zu unterschätzende Gefahr.

Glossar

Agrozönose

(Agrobiozönose) Lebensgemeinschaft der Agrarlandschaft

Antibiotika

Stoffwechselprodukte verschiedener (Mikro)organismen (wie z.B. Pilze oder Bakterien), die andere Organismen in ihrem Wachstum hemmen oder abtöten.

Chimäre

Ein Organismus, der aus Zellen verschiedener Lebewesen besteht

Cytoplasma

Zellplasma, „Zellsaft“, lichtmikroskopisch nicht strukturiert erscheinender Teil einer Zelle, in dem viele Stoffwechselreaktionen ablaufen.

DNA

Desoxyribonukleinsäure/Desoxyribonucleic acid; Die Erbsubstanz aller Organismen - von einigen Viren abgesehen. Die DNA besteht aus linear verknüpften Nukleotiden.

exprimieren

Umsetzen der genetischen Information über ein Boten-RNA in ein Protein.

Gen

Abschnitt auf der DNA, welcher die Information zur Synthese einer Boten RNA (mRNA) und damit zu einem Protein enthält.

Genom

Summe der genetischen Informationen eines Organismus. Sie ist in jeder einzelnen Körperzelle vollständig vorhanden.

Genotyp

beschreibt die genetische Beschaffenheit eines Organismus. Im Gegensatz zum Phänotyp, der die äußeren, wahrnehmbaren Eigenschaften beschreibt.

Hybridisierung

1.) Ausbildung eines Doppelstranges aus einzelsträngigen Nukleinsäuren durch Basenpaarungen. 2.) Bildung eines neuen diploiden Organismus durch sexuelle Fortpflanzung oder auch Protoplasten-Fusion.

Komplementärherbizid

Das jeweils zu einer dagegen resistenten Pflanze passende Herbizid.

Ligase

Enzym, das DNA-Doppelstrangstücke verbinden kann

Mikroflora

Der Teil der Organismen eines Ökosystems, der mit dem bloßem Auge nicht mehr zu erkennen ist; er besteht im wesentlichen aus Bakterien, Algen oder Pilzen und Protozoen.

Molekül

kleinste Einheit einer chemischen oder biochemischen Verbindung.

Monokultur

Pflanzenbestand aus nur einer Art

Mutante

Ein durch Mutation veränderter Organismus

Mutation

Veränderung des Erbgutes durch Veränderung der DNA; Mutationen können spontan auftreten, werden aber verstärkt ausgelöst durch verschiedene Faktoren wie z.B. bestimmte Chemikalien und energiereiche Strahlung.

Nukleinsäuren

DNA und RNA

Ökologie

Lehre vom Haushalt der Natur. Der Begriff wurde von E. Haeckel 1886 eingeführt für denjenigen Teilbereich der Biologie, der sich mit den Wechselbeziehungen zwischen den Organismen und der unbelebten und belebten Umwelt befaßt.

Ökosystem

funktionelle Einheit der Biosphäre als Wirkungsgefüge aus Lebewesen, unbelebten natürlichen und vom Menschen geschaffenen Bestandteilen, die untereinander und mit ihrer Umwelt in energetischen, stofflichen und informatorischen Wechselwirkungen stehen.

Persistenz

Überdauern; hier: Verweildauer in Boden, Wasser oder Pflanze

Phänotyp

Wahrnehmbare Ausprägung der Erbanlagen (Erscheinungsbild). Der Phänotyp wird durch die Umwelteinflüsse bestimmt.

Plasmide

ringförmige, geschlossene DNA-Moleküle, die sich in ihren Wirtszellen autonom vermehren können.

Pleiotropie

Ein Gen wirkt sich auf mehrere Merkmalsbereiche aus. Umgekehrt können auch mehrere Gene auf einen Merkmalsbereich wirken (Polygenie)

Prokaryonten

einzellige Organismen die keinen Zellkern besitzen.

Promotor

Abschnitt auf der DNA, der den Beginn der Transcription ermöglicht.

Protozoen

tierische Einzeller

resistent

widerstandsfähig

rekombinant

RNA oder DNA-Moleküle, die neu kombinierte Sequenzen enthalten werden als rekombinante Moleküle bezeichnet.

Resistenzgene

Gene, deren Aktivität die Wirtszelle oder Pflanze resistent gegenüber Toxine,

Antibiotika, Herbizide, Schwermetalle oder bestimmte Umweltbedingungen macht.

Replikationsstartpunkt

Stelle auf der DNA, an der die Verdoppelung der DNA beginnen kann.

Restriktionsenzyme

(Restriktionsendonukleasen) Enzyme, die eine bestimmte Basensequenz in DNA-Molekülen erkennen und den DNA-Doppelstrang an definierten Stellen „schneiden“.

RNA

Ribonucleinsäure; neben DNA die zweite wichtige Substanz für die Umsetzung der Erbinformation, kommt einzelsträngig in den Zellen vor.

Sequenz

Abfolge der Bausteine der Nukleinsäuren

Symbiose

Lebensgemeinschaft von verschiedenen Lebewesen

Synthese

Aufbau chemischer Verbindungen aus einfachen Ausgangsstoffen

Transduktion

Übertragung von DNA durch Bakterien befallene Viren

Transformation

1.) Das Einschleusen von DNA-Molekülen in Bakterienzellen, 2.) Der Übergang von einer Zelle zu krebsartigem Wachstum

Transcription

Das Umschreiben der Erbinformation von DNA in RNA

transgen

Eigenschaft von Tieren und Pflanzen, in deren Keimbahn man mit gentechnischen Methoden neues Erbmaterial eingefügt hat.

Vektor

In der Gentechnik ein DNA-Segment, das sich in einer Zelle selbständig vermehren kann (z.B. Plasmide): Vektoren dienen als Transport und Vermehrungsmolekül für fremde DNA-Fragmente, die in Zellen eingeführt werden können; dort vermehrt sich mit dem Vektor auch die Fremd-DNA.

Viren

Erreger von Infektionskrankheiten bei Menschen, Tieren, Pflanzen und Bakterien, die zur Vermehrung auf die Stoffwechselmechanismen von lebenden Wirtszellen angewiesen sind.

Wirtszelle

Zelle, die einen in ihr lebenden Parasiten - zum Beispiel einen Virus oder ein Plasmid - als Lebensraum dient und die Voraussetzungen für seine Vermehrung liefert.

Zelle

kleinste selbständig leben- und vermehrungsfähige Einheit

Zellkern

Ort, in dem sich bei höheren Organismen der Hauptteil der DNA befindet

Zellmembran

biologische Membran, die der äußeren Umhüllung einer Zelle dient und u.a. den Stoffein- und -austritt reguliert.

Verwendete Quellen:

Albrecht, Stephan/Beusmann, Volker:
Ökologie transgener Nutzpflanzen,
Frankfurt/Main; New York (Campus
Verlag) 1995

Der Bundesminister für Forschung und
Technologie: Biotechnologie 2000 -
Programm der Bundesregierung, Bonn
(Koelblin Druck + Verlag) 1992

Vogel, Sebastian: Lexikon Gentechnik,
Reinbek bei Hamburg (Rowohlt
Taschenbuch Verlag GmbH) 1992

Literaturverzeichnis

American Soybean Association, Informationsbüro Soja Öl: Die Sojabohne - ein Geschenk der Natur (Anzeige), Hamburg (MPR Dr. Muth Public Relations) 1996

Ammann, Klaus: Reduzierter Einsatz von Herbiziden, Abbaubarkeit im Boden, Genfluß (Statement) Berlin, 1996

Agöl: Position der Agöl - Keine Gentechnik für Ökoprodukte, in: Anog (1996) 4

Agra-Europe: Anbau von Gen-Soja nimmt zu, Agra-Europe (1997) 14

Albrecht, Stephan/Beusmann, Volker: Ökologie transgener Nutzpflanzen, Frankfurt/Main; New York (Campus Verlag) 1995

Arand, Manuela: Gen-Soja gesundheitlich unbedenklich, Pressemitteilung des Robert Koch-Instituts Nr. 25/96 vom 16.10.1996

Bally, Dr. W. (Hrsg.): Tropische und subtropische Weltwirtschaftspflanzen. II. Teil: Ölpflanzen, Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag), 1962

Bechmann, Armin: Hauptursache für viele Umweltprobleme ist die Landwirtschaft, in: Zukunft leben - eine Begleitbroschüre zur Ökomarkt Ausstellung Ökologischer Landbau und Vollwert-Ernährung (Hrsg.: Ökomarkt Verbraucher- u. Agrarberatung e.V.) Hamburg, 1996

Bertrand, Jean-Pierre; Laurent, Catherine; Leclercq, Vincent: Soja, Zürich (Unionsverlag), 1984

BLL Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V.: Gentechnik und Lebensmittel, Bonn 1995

Bobbink, Dieke: Glyphosat - das Breitband-Pflanzengift und seine Folgen, Hamburg (Greenpeace) 1996

Brandt, Peter: Transgene Pflanzen: Herstellung, Anwendung, Risiken und Richtlinien, Basel (Birkhäuser Verlag) 1995

Broer, Inge/Pühler, Alfred: Gutachten "Stabilität von HR-Genen in transgenen Pflanzen und ihr spontaner horizontaler Gentransfer auf andere Organismen" 1992, in: Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Heft 12, (Hrsg.: van den Daele, Pühler, Sukopp) Berlin (Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung) 1994

Broer, Inge/Pühler, Alfred: Stabilität von HR-Genen in transgenen Pflanzen und ihr spontaner horizontaler Gentransfer auf andere Organismen (Kurzfassung des Gutachtens) in: Grüne Gentechnik im Widerstreit (Hrsg.: van den Daele, Pühler, Sukopp) Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo (VHC Verlagsgesellschaft mbH) 1996

Burdick, Bernhard: Landbau und Klimaveränderung: Ein verhängnisvolles Wechselspiel - Öko-Landbau als Ausweg, in: BUKO Agrar Info (Hrsg.: BUKO Agrar Koordination) Hamburg, 1995

Carlisle, S. M./Trevors, J. T.: Glyphosate In The Environment, in: Water, Air and Soil Pollution 39 (1988) Heftnummer nicht angegeben

Catenhusen, Wolf-Michael/Neumeister, Hanna (Hrsg.): Chancen und Risiken der Gentechnologie: Dokumentation des Berichts an den Deutschen Bundestag/Enquete-Kommission d.Dt. Bundestages, 2. Auflage, Frankfurt/Main; New York (Campus Verlag) 1990

Cox, Caroline: Glyphosate, Part 1: Toxicology, in: Herbizid Factsheet, Journal of Pestizidreform 15 (1995) 3

Cox, Caroline: Glyphosate, Part 2: Human Exposure and Ecological Effects, in: Herbizid Factsheet, Journal of Pestizidreform 15 (1995) 4

Daele, Wolfgang van den/Pühler, Alfred/Sukopp, Herbert (Hrsg.) : Grüne Gentechnik im Widerstreit, Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo ; (Birkhäuser Verlag) 1996

Daele, Wolfgang van den et al.: Argumentationen des TA-Verfahrens: Pflanzenbauliche Veränderungen durch die HR-Technik in: Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Heft 12, (Hrsg.: van den Daele, Pühler, Sukopp) Berlin (Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung) 1994

Der Bundesminister für Forschung und Technologie: Biotechnologie 2000 - Programm der Bundesregierung, Bonn (Koelblin Druck + Verlag) 1992

Die Verbraucherinitiative e.V.: Soja-Info, Bonn 1996

Franke, Wolfgang: Nutzpflanzenkunde - Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen, Stuttgart; New York (Thieme) 1992

Gassen, H.G./Minol, K.: Gentechnik, Stuttgart; Jena (Gustav Fischer Verlag) 1996

Gassen, H. G.: Statement, Hamburg (Verband Deutscher Ölmühlen e.V.) 1996

Geisler, Gerhard: Farbatlas Landwirtschaftliche Kulturpflanzen, Stuttgart (Ulmer) 1991

Greenpeace: Greenpeace erhebt Einspruch gegen Monsanto-Patent auf Nutzpflanzen, Presseinformation vom 6.3.97, München, 1997

Heß, Dieter: Weniger Chemie auf dem Acker! Gentransfer bei Pflanzen - eine ethisch-moralische Verpflichtung, in: Gentechnik im Widerstreit (Hrsg.: Klingenmüller, Walter) Stuttgart (Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH) 1994

Hock, Bertold: Herbizide - Entwicklung, Anwendung, Wirkungen, Nebenwirkungen, Stuttgart; New York (Thieme) 1995

Hurle, Prof., Dr. K. : Gutachten "Mögliche Veränderungen in der landwirtschaftlichen Praxis durch die HR-Technik" 1992, in: Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von

Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Heft 12, (Hrsg.: van den Daele, Pühler, Sukopp) Berlin (Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung) 1994

Information Sojabohne, Broschüre, Frankfurt am Main 1996

Information Sojabohne, Kurzinformation 1: Genmodifizierte Sojabohnen bieten ökologische Vorteile, Frankfurt am Main 1996

Information Sojabohne, Kurzinformation 2: Eine neue Generation von Sojabohnen, Frankfurt am Main 1996

Information Sojabohne, Kurzinformation 3: Der Schutz des Verbrauchers bleibt das oberste Gebot, Frankfurt am Main, 1996

Information Sojabohne, Kurzinformation 4: Genmodifizierte Sojabohnen unterscheiden sich nicht von herkömmlichen, Frankfurt am Main, 1996

Johanning, Detlef: Molekulare Grundlagen der Glyphosatoleranz einer pflanzlichen Zellkultur von *Corydalis Sempervirens*, Dissertation, Fakultät für Biologie der Ruhr-Universität Bochum, 1987

Joop, Ottfried: Untersuchungen zur Subzellulären Lokalisation der 5-Enolpyruvylshikimisäure-3-Phosphat-Synthase und der Wirkung des Herbizids Roundup in höheren Pflanzen, Dissertation, Fakultät der Ruhr-Universität Bochum, 1985

Katzek, Jens: Stellungnahme zur Broschüre "Fakten zur Gentechnologie am Beispiel herbizidresistenter Sojabohnen" (Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V.) 1996

Koch, Klaus: Gesundheitsrisiko von Gentechnik-Nahrung: Gentransfer im Darm nicht ausgeschlossen, in: Deutsches Ärzteblatt 94 (1997) 20

Koechlin, Florianne: Phyto-Oestrogene im Baby-Müsli? Aufsatz zur Pressekonferenz am 4.2.97 in Bern zum Thema: Gesundheitliche Risiken für Frauen und Kinder, veranstaltet von:

Baseler Appell gegen Gentechnologie; Nogerete und Schweizerische Arbeitsgruppe
Gentechnologie SAG, Bern, 1997

Koschatzky, Knut/Maßfeller Sabine: Gentechnik für Lebensmittel? Karlsruhe. - Köln (Verlag
TÜV Rheinland) 1994

Lieberg, Albert: Brasiliens Sojawirtschaft: Konfliktfelder einer exportorientierten
Agrarindustrialisierung, Hamburg (Institut für Iberoamerika-Kunde) 1988

Linck, Donat: Öko-Landbau - die beste Alternative, in: Zukunft leben - eine Begleitbroschüre
zur Ökomarkt Ausstellung Ökologischer Landbau und Vollwert-Ernährung (Hrsg.: Ökomarkt
Verbraucher- u. Agrarberatung e.V.) Hamburg, 1996

Lothar Lockel: Gentech-Soja von keiner Behörde überprüft, Presseinformation vom 3.12.96
(Global 2000) 1996

Mabille, Yvonne: Wer schützt die Vielfalt? in: epd-Entwicklungspolitik (1996) 9

Mahn, Ernst Gerhard: Gutachten "Zu den Auswirkungen der Einführung herbizidresistenter
Kulturpflanzen auf Ökosysteme" 1992, in: Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des
Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Heft 10, (Hrsg.: van
den Daele, Pühler, Sukopp) Berlin (Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung) 1994

Mergel, Arnold: Statement, Hamburg (Verband Deutscher Ölmühlen e.V.) 1996

Monsanto 1: Roundup Ultra / Roundup Ultragran Umweltverhalten, Broschüre

Monsanto 2: Die neue Roundup Generation, Broschüre

Monsanto 3: Gebrauchsanleitung Roundup Ultra, Broschüre

Monsanto 4: Roundup Ultra und Roundup Ultragran auf der Stoppel und zur Vorernte,
Broschüre

Naumann, Jörg: Roundup Ready Soybean - Schwerwiegende Mängel der Monsanto-Risikoeinschätzung zu den Gefahren durch die Freisetzung genmanipulierter Sojabohnen mit Glyphosatresistenz, die der EU für die Zulassung vorgelegt wurden, Hamburg (Greenpeace) 1996

Neubert, Susanne: Gentechnik in der Pflanzenzüchtung und Ernährungssicherung in der Dritten Welt, in: BUKO Agrar Info 28 (1993) 11

Neubert, Susanne/Knirsch, Jürgen: Der Beitrag des Anbaus herbizidresistenter Kulturpflanzen für die Ernährungssicherung in der Dritten Welt (Kurzfassung des Gutachtens) in: Grüne Gentechnik im Widerstreit (Hrsg.: van den Daele, Pühler, Sukopp) Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo (VHC Verlagsgesellschaft mbH) 1996

Nöh, Ingrid: Gentechnik in der Landwirtschaft - Chancen und Risiken aus Umweltsicht für die dritte Welt in: Ringvorlesung der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg (Universitätszentrum für Umweltwissenschaften (UZU) Landwirtschaftliche Fakultät) 1995/96

OECD / Bundesministerium für Landwirtschaft und Forsten: Biotechnologie, Landwirtschaft und Ernährung, Münster-Hiltrupp (Landwirtschaftsverlag GmbH) 1992

Ohnesorge, Friedrich Karl: Nutzpflanzen mit künstlicher Herbizidresistenz: Verbessert sich die Rückstandssituation? Toxikologische Aspekte, 1993 in: Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Heft 6, (Hrsg.: van den Daele, Pühler, Sukopp) Berlin (Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung) 1994

Ökosoj e.V.: Genmanipulierte Sojabohnen sind für Naturkosthersteller ökologischer Sojaprodukte ein Tabu, Presseinformation, Freiburg, Oktober 1996

Padgett, S. R. et al.: Application to the United Kingdom Advisory Committee on Novel Foods and Processes for Review of the Safety of Glyphosate Tolerant Soybeans, Belgien (The Agriculture Group of Monsanto Company) 1994

Padgett, S. R. et al.: Development, Identifikation and Charakterisation of a Glyphosate-Tolerant Soybean Line, in: Crop Science Vol. 35 (1995) 5

Padgett et al.: The Composition of Glyphosate Tolerant Soybean Seeds is Equivalent to That of Conventional Soybeans, in: Journal of Nutrition 126 (1996)

Pater, Siegfried; Terpin, Boris: Zum Beispiel Soja, Göttingen (Lamuv) 1993

Plagge, Jan: Ökologischer Landbau, in: Mensa öko-logisch! Aber wie?! (Hrsg.: Bundeskoordination Studentischer Ökologearbeit e.V.) Münster, 1996

Projektstelle Umwelt und Entwicklung: Gestaltung der Agrarpolitik in Deutschland - Schlußfolgerungen aus der Agenda 21, Bonn (Luthe-Druck, Köln) 1995

Sandermann, H./Wellmann, E.: Risikobewertung der künstlichen Herbizidresistenz, Studie zur Sicherheitsforschung, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 1988

Sandermann, Heinrich: Gutachten „Nutzpflanzen mit künstlicher Herbizidresistenz: Verbessert sich die Rückstandssituation?“ Biochemische Aspekte, 1993, in: Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Heft 6, (Hrsg.: van den Daele, Pühler, Sukopp) Berlin (Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung) 1994

Schmidt, Hanspeter/Haccius, Manon: EG-Verordnung „Ökologischer Landbau“, eine juristische und agrarfachliche Kommentierung, Karlsruhe (Verlag C. F. Müller) 1992

Schomann, Stefan: Soja - Die Perle für die Sau, in: Geo, (1993) 5

Schwartau-Schuldt, Silke/Schneck, Jochen: Bio Liste: Läden - Märkte - Bauernhöfe - Versand, Hamburg (Verbraucher-Zentrale Hamburg e.V.) 1994

Sengbusch, Peter von: Evolutionsforschung - Wie schützen sich Pflanzen vor überschüssiger Information? in: Ökologie transgener Nutzpflanzen (Hrsg.: Albrecht/Beusmann) Frankfurt/Main; New York (Campus Verlag) 1995

Sukopp, Herbert: Potentielle Auswirkungen der Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen auf die Pflanzenwelt, Vortrag auf dem Symposium: Gentechnik - Segen oder Fluch? Wie reagiert die Natur? (Veranstaltet von der Katholische Akademie Hamburg in Zusammenarbeit mit der Boco-Stiftung und der Universität Hamburg) 19. April 1997

Sukopp, Herbert/Sukopp, Ulrich: Ökologische Modelle in der Begleitforschung zur Freisetzung transgener Kulturpflanzen, in: Ökologie transgener Nutzpflanzen (Hrsg.: Albrecht/Beusmann) Frankfurt/Main; New York; (Campus Verlag) 1995

Sukopp, Herbert/Sukopp, Ulrich: Ökologische Langzeiteffekte der Verwilderung von Kulturpflanzen (Kurzfassung des Gutachtens) in: Grüne Gentechnik im Widerstreit (Hrsg.: van den Daele, Pühler, Sukopp) Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo (VHC Verlagsgesellschaft mbH) 1996

Tappeser, Beatrix: Hintergrundpapier zu transgenem, herbizidresistentem Soja der Firma Monsanto, Freiburg (Öko-Institut) 1997

Tappeser, Beatrix / Wurz, Andreas: Freisetzungsrisiken gentechnisch manipulierter Organismen - Widersprüche und Diskrepanzen zu Deregulierungsabsichten des Gentechnikgesetzes und angestrebter Verfahrensvereinfachungen, Freiburg (Öko-Institut) 1996

UBA: Graue Literatur, Internes UBA-Papier, bislang unveröffentlicht, Berlin (Umweltbundesamt) 1997

UBA: Konzept der Risikoabschätzung von Freisetzungen gentechnisch veränderter Organismen (GVO), Berlin (Umweltbundesamt) 1996

Umbach, Helga/Zeddies, Jutta/Brook, Reinhard von: Auswirkungen der Herbizidresistenztechnik auf die Züchtungspraxis und die genetischen Ressourcen (Kurzfassung des Gutachtens) in: Grüne Gentechnik im Widerstreit (Hrsg.: van den Daele, Pühler, Sukopp) Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo (VHC Verlagsgesellschaft mbH) 1996

Vogel, Sebastian: Lexikon Gentechnik, Reinbek bei Hamburg (Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH) 1992

Weber, Barbara: Überlegungen zur Aussagekraft von Risikoforschung zur Freisetzung transgener Pflanzen, in: Ökologie transgener Nutzpflanzen (Hrsg.: Albrecht/Beusmann) Frankfurt/Main; New York (Campus Verlag) 1995

Weber, Barbara: Evolutionsbiologische Argumente in der Risikodiskussion am Beispiel der transgenen herbizidresistenten Pflanzen (Kurzfassung des Gutachtens) in: Grüne Gentechnik im Widerstreit (Hrsg.: van den Daele, Pühler, Sukopp) Weinheim; New York; Basel; Cambridge; Tokyo (VHC Verlagsgesellschaft mbH) 1996

Weber, Barbara: Entgegnung auf die Stellungnahme des Bundesministeriums für Gesundheit vom 5.12.1996 zum Import gentechnisch veränderter glyphosatresistenter Sojabohnen der Firma Monsanto, Freiburg (Öko-Institut) 1997

Wolff, Karsten: Gentechnologie - Hoffnung für den Hunger? Akteure und Konflikte, Hamburg (BUKO Agrar Koordination) 1997

Ich versichere, daß ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfaßt und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Tanja Fischer