

BIOLOGISCHE, KONVENTIONELLE UND GENTECHNISCHE ANWENDUNGEN IN DER LANDWIRTSCHAFT

GESUNDHEITLICHE UND ÖKOLOGISCHE ASPEKTE

Herausgeber:

InterNutrition – Schweizerischer Arbeitskreis
für Forschung und Ernährung

Autor:

Kurt Bodenmüller, Stiftung Gen Suisse

Zürich, November 2000

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
2. Fakten zum Bio-Landbau und zur grünen Gentechnik	5
2.1 Geschichtliche Entwicklung des Bio-Landbaus	5
2.2 Kurz-Definition des Bio-Landbaus	5
2.3 Bio-Organisationen	6
2.4 Rechtliche Grundlagen und Richtlinien	6
2.4.1 Biologischer Landbau	6
2.4.2 Gentechnik im ausserhumanen Bereich	7
2.5 Entwicklung in der Schweiz	9
2.5.1 Bio-Betriebe und Bio-Landwirtschaft	9
2.5.2 Anbau von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen	10
2.6 Entwicklungen im Ausland	10
2.6.1 Ökologische Landwirtschaft	10
2.6.2 Transgene Nutzpflanzen	12
3. Bio-Produkte: Markt, Konsum und Öffentlichkeit	14
3.1 Marktwirtschaftliche Entwicklung in der Schweiz	14
3.2 Marktwirtschaftliche Entwicklung im Ausland	14
3.3 Schweizer Bio-Labels	15
3.4 Umfragen und Meinungsforschung zu Bio- und GVO-Produkten	16
4. Nahrungsmittel und Gesundheit	19
4.1 Sind Bio-Lebensmittel gesünder?	19
4.2 Vergleich ernährungsrelevanter und qualitativer Eigenschaften von biologischen und herkömmlichen Nahrungsmitteln	20
4.3 Chemische und natürliche Pestizide	21
4.4 Mykotoxine (Pilzgifte)	24
4.4.1 Mykotoxingehalt bei biologischen und konventionellen Produkten	25
4.4.2 Mykotoxingehalt bei gentechnischen und konventionellen Maisprodukten	26
4.5 Bt-Toxine als Spritzmittel	28

5. Futtermittel und Tierernährung	29
5.1 Nutztiere und Futtermittel im Bio-Landbau	29
5.2 Vergleich von konventionellen und gentechnisch veränderten Futtermitteln	29
5.3 Verbleib der „Fremd“-DNS im tierischen Organismus und in Lebensmitteln tierischer Herkunft	33
6. Landwirtschaft und Ökologie	35
6.1 Agrarökologie und Nachhaltigkeit	35
6.2 Vertikaler Gentransfer und Pollenflug	35
6.2.1 Gentransfer auf verwandte Wildarten	36
6.2.2 Gentransfer vom Gentech- aufs Bio-Feld	38
6.3 Bt-Toxine in der Schädlingsbekämpfung	39
6.3.1 Abbau im Boden	39
6.3.2 Auswirkungen auf Nützlinge und Nicht-Ziel-Organismen	40
6.4 Bekämpfung von Pilzkrankheiten	47
6.4.1 Problematische Kupferanwendung im Bio-Landbau	47
6.4.2 Gentechnische Strategien	50
6.5 Ökologische Benefits der Gentechnik	52
6.5.1 Insektenresistente Bt-Baumwolle	53
6.5.2 Insektenresistenter Bt-Mais	53
6.5.3 Herbizidtolerante Soja	54
6.6 Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität	55
6.7 Landwirtschaftliche Erträge, Stickstoffdüngung und Welternährung	57
7. Zusammenfassung und Fazit	60
8. Literatur	64

1. Einleitung

Bio-Lebensmittel haben bei einem Grossteil der Konsumenten nachweislich den Ruf, besser, gesünder und sicherer als herkömmliche Produkte zu sein. Demgegenüber haben gentechnisch veränderte Nahrungsmittel das Image, unnatürlich, gesundheitlich bedenklich und riskant für die Umwelt zu sein. Wahrnehmungen sind das eine, wissenschaftliche Fakten sprechen oft jedoch eine andere Sprache.

Erfreulicherweise hat die Diskussion rund um die Gentechnik dazu geführt, dass Sicherheitsfragen, die zuvor bei herkömmlichen Produktionssystemen kaum Beachtung fanden, heute gestellt werden. Eine fundierte Nutzen-Risiko-Abwägung setzt voraus, dass die verschiedenen landwirtschaftlichen Strategien nicht für sich isoliert beurteilt, sondern vergleichend einander gegenüber gestellt werden. Die vorliegende Literaturrecherche hatte ebendies zum Ziel.

In den folgenden Kapiteln werden verschiedenste Studien aufgeführt, um eine sachliche Gegenüberstellung von Bio-Landbau, konventioneller Landwirtschaft und der sogenannten grünen Gentechnik in Bezug auf Gesundheit und Ökologie zu ermöglichen. Nicht zuletzt soll damit ein Beitrag zur Entfokussierung und Entmythologisierung der mitunter sehr emotional geführten Diskussion im Agrar- und Lebensmittelbereich geleistet werden. Es ist an der Zeit, nicht nur bei den gentechnischen Anwendungen in der Landwirtschaft, sondern auch bei anderen Agrarsystemen wie dem Bio-Landbau den gleichen (Sicherheits-)Massstab anzusetzen.

Die von InterNutrition, Schweizerischer Arbeitskreis für Forschung und Ernährung, in Auftrag gegebene Arbeit entstand in enger Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Klaus Amman, Direktor des Botanischen Gartens der Universität Bern, der auch die Funktion des wissenschaftlichen Gutachters übernahm. Ihm gebührt an dieser Stelle ein herzliches Dankeschön. Ein weiterer Dank geht an alle, die mit nützlicher Kritik und wertvollen Ergänzungen zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Kurt Bodenmüller, Mikrobiologe

Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Stiftung Gen Suisse, Bern

2. Fakten zum Bio-Landbau und zur grünen Gentechnik

2.1 Geschichtliche Entwicklung des Bio-Landbaus

Der organisch-biologische Landbau ist nicht eine von Wissenschaftlern entwickelte landwirtschaftliche Produktionsmethode, sondern entstand durch den selbstständigen Entschluss praktizierender Bauern, auf den Einsatz chemischer Hilfsstoffe weitgehend zu verzichten [1]. Seinen Beginn nahm der Bio-Landbau anfangs des 20. Jahrhunderts. Die wichtigsten Eckdaten seiner Entwicklung sind:

1924	Begründung der biologisch-dynamischen Wirtschaftsweise durch Dr. Rudolf Steiner
1940	Begründung des biologisch-organischen Landbaus durch Dr. Hans Müller und Dr. Hans-Peter Rusch
1946	Gründung der Bioterra: Schweizerische Gesellschaft für biologischen Landbau (SGBL)
1974	Gründung des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL)
1976	Erster IFOAM-Kongress (International Federation of Organic Agriculture Movements)
1981	Gründung der BIO SUISSE: Vereinigung Schweizer Bio-Landbau-Organisationen (VSBLO)
1981	Einführung der ersten gemeinsamen Anbau-Richtlinien sowie der Schutzmarke für den kontrollierten biologischen Anbau von BIO SUISSE und FiBL (Knospe)
1991	Inkrafttreten der EU-Verordnung 2092/91 über den ökologischen Landbau
1998	Inkrafttreten der Verordnung des Eidgenössischen Volkswirtschaftsdepartements (EVD) über die biologische Landwirtschaft (Bio-Verordnung) [2].

2.2 Kurz-Definition des Bio-Landbaus

Der Begriff «biologischer Landbau» bezeichnet keine einheitliche Anbaurichtung, sondern umfasst alle Landbauformen, welche den chemisch-technischen Fortschritt in der Landwirtschaft ganz oder weitgehend ablehnen. Er versteht sich als eine möglichst naturnahe Form der Landwirtschaft. Verwendete Synonyme sind «ökologischer Landbau» (Deutschland und Österreich) und «organischer Landbau» (angelsächsischer Sprachraum) [1].

Gemäss BIO SUISSE und dem Forschungsinstitut für biologischen Landbau gelten für die Bio-Landwirtschaft folgende Grundsätze: „möglichst schonungsvoller Umgang mit Natur, Umwelt und Ressourcen; möglichst geschlossener Nährstoffkreislauf; hoher Anteil an Ökoausgleichsflächen (z.B. Hecken, Blumenwiesen, Hochstammbäume usw., mindestens 7%); Erhaltung und Förderung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit; vorbeugender statt direkter Pflanzenschutz; artgerechte Nutztierhaltung; Qualität erzeugen und erhalten; garantiert ohne Gentechnik; Lebensmittel von hohem gesundheitlichem Wert; im Interesse der Konsumenten; hohe Wertschätzung; Landwirtschaft mit Zukunft“ [2, 4].

Die Grundgedanken des biologischen Pflanzenbaus sind: „Gesamtbetrieb als möglichst geschlossener Nährstoffkreislauf; Gesamtbetrieb muss biologisch bewirtschaftet werden“. Dabei wird bewusst auf folgende Ziele, Massnahmen und Komponenten verzichtet: „intensive Produktionstechniken; einseitige

Betriebsspezialisierung; hochwirksame chemische Pflanzenschutzmittel; alle Herbizide; Wachstumsregulatoren für Pflanzen (Hormone); gentechnisch veränderte Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere; mineralische Stickstoffdünger; leichtlösliche Phosphor-, Kalium-, Magnesium- und Spurenelement-Dünger; präventive Medikamente in der Tiermedizin; antimikrobielle Wachstumsförderer (Antibiotika); nur Hochleistungssorten bzw. Spitzenerträge“ [2].

2.3 Bio-Organisationen

Die wichtigste Bio-Vereinigung, die BIO SUISSE, wurde 1981 gegründet und ist Dachverband von mehr als 30 Bio-Landbau-Organisationen in der Schweiz: Biofarm, Bioterra (Schweizerische Gesellschaft für biologischen Landbau), Biotta AG Anbauvereinigung, Bio Gemüse Galmiz, BIOVIN Schweizerischer Bio-Weinverband, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Prokana, Schweizer Bergheimat, Vereinigung für biologischen Kräuteraanbau im Schweizer Berggebiet (VBKB), Verein der biologisch produzierenden Gartenbaubetriebe (VBPG), Verein für biologisch-dynamische Landwirtschaft (Demeter) sowie 22 kantonale und regionale Bio-Vereinigungen [4].

2.4 Rechtliche Grundlagen und Richtlinien

2.4.1 Biologischer Landbau

a) Schweiz

Bis 1997 war in der Schweiz der biologische Landbau nur privatrechtlich geregelt, als „Quasi-Standard“ galten die Richtlinien der BIO SUISSE. Auf den 1. Januar 1998 setzte der Bundesrat die Bio-Verordnung in Kraft, die in den wichtigsten Punkten der EU-Verordnung 2092/91 über den ökologischen Landbau entspricht [2].

Übersicht der gesetzlichen Grundlagen für den Bio-Landbau in der Schweiz

(in Klammern ist jeweils das Jahr des Inkrafttretens angegeben)

- Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft (neue BV, 1998)
- Bundesgesetz über die Landwirtschaft (Landwirtschaftsgesetz, LwG) (1999)
- Verordnung über die biologische Landwirtschaft und die entsprechende Kennzeichnung der pflanzlichen Erzeugnisse und Lebensmittel (Bio-Verordnung) (1998)
- Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV) (1999)
- Verordnung über besonders tierfreundliche Stallhaltungssysteme (BTS-Verordnung) (1999)
- Verordnung über den regelmässigen Auslauf von Nutztieren im Freien (RAUS-Verordnung) (1999)
- Verordnung über Sömmerungsbeiträge an die Landwirtschaft (Sömmerungsbeitragsverordnung, SöBV) (1999)
- Verordnung über Flächen- und Verarbeitungsbeiträge im Ackerbau (Ackerbaubeitragsverordnung, ABBV) (1999).

Richtlinien der BIO SUISSE

1981 wurden von der BIO SUISSE zusammen mit dem FiBL die ersten Anbau-Richtlinien für den biologischen Landbau verabschiedet und gleichzeitig wurde die Schutzmarke für den kontrollierten biologischen Anbau, die «Knospe», geschaffen. Die Richtlinien für die Erzeugung, Verarbeitung und den Handel von Produkten aus biologischem (ökologischen) Anbau (BIO SUISSE-Richtlinien) regeln die Kontrolle und Deklaration gemäss den Anforderungen der Verordnung über den ökologischen Landbau der Europäischen Gemeinschaft und der Schweizer Bio-Verordnung vom 22. September 1997. Gemäss Angaben der BIO SUISSE gehen die Richtlinien in der Produktionstechnik (Pflanzenbau, Tierhaltung) und in der Verarbeitung teilweise bedeutend weiter als die Vorschriften der Bio-Verordnung [3].

b) Europa

- Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 über den ökologischen Landbau/die biologische Landwirtschaft und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel (1991).

c) Weltweit

- IFOAM Basic Standards (International Federation of Organic Agriculture Movements)
- Codex Alimentarius Commission (Joint FAO/WHO Food Standards): Guidelines for the Production, Processing, Labelling and Marketing of Organically Produced Foods [2].

2.4.2 Gentechnik im ausserhumanen Bereich

Die rechtliche Erfassung der Gentechnik im ausserhumanen Bereich begann in der Schweiz 1986, als die von den Akademien (SAMW, SANW, SATW) eingesetzte interdisziplinäre Schweizerische Kommission für biologische Sicherheit in Forschung und Technik (SKBS) erste Richtlinien für das Arbeiten mit gentechnisch veränderten Organismen entwickelte. Grundlage für das schweizerische Gentechnik-Recht bildet heute der 1992 in der Bundesverfassung verankerte Artikel 24novies (seit 1999 Art. 119 für humane und Art. 120 für ausserhumane Gentechnik).

Basierend auf dem Bericht der IDAGEN (Interdepartementale Arbeitsgruppe für Gentechnik) von 1993 entschied sich die Regierung, auf ein übergreifendes Gentechnik-Gesetz zu verzichten und stattdessen bestehende Gesetze sektoriell den rechtlichen Bedürfnissen der Gentechnik anzupassen. Die ebenfalls 1993 eingereichte Gen-Schutz-Initiative, die insbesondere drei strikte Verbote forderte (Verbot transgener Tiere, der Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen und der Patentierung gentechnischer Erfindungen, die Tiere oder Pflanzen betreffen), wurde 1998 von allen Ständen und vom Volk mit 67% klar abgelehnt.

Als indirekter Gegenvorschlag zur Initiative beauftragte das Parlament im Jahre 1996 den Bundesrat mit der Gen-Lex-Motion, das Rechtsetzungsverfahren der Gentechnik im ausserhumanen Bereich zu vervollständigen und zu beschleunigen. Die Vorlage sieht Anpassungen von acht Gesetzen und einem Bundesbeschluss vor. Im Januar 2000 verabschiedete der Bundesrat das Gen-Lex-Paket mit folgenden Kernelementen:

- strenge Bewilligungspflicht für Freisetzen und das Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen,
- Schutz der biologischen Vielfalt und der Würde der Kreatur,
- Verschärfung der Haftpflicht,
- Deklarationspflicht für sämtliche GVO-Produkte,
- Verpflichtung zu Transparenz und Kommunikation.

In der Zwischenzeit wurden verschiedene Gesetze und Verordnungen bereits revidiert und vom Bundesrat in Kraft gesetzt, die vor allem die Sicherheit im Umgang mit sowie beim Inverkehrbringen und der Freisetzung von gentechnisch veränderten Organismen in die Umwelt betreffen:

- Lebensmittelgesetz (LMG):
 - Lebensmittelverordnung (LMV);
- Umweltschutzgesetz (USG):
 - Störfallverordnung (StFV),
 - Freisetzungsverordnung (FSV),
 - Einschliessungsverordnung (ESV),
- Unfallversicherungs- und Arbeitsgesetz (USG & ArG):
 - Arbeitnehmerschutzverordnung (SAMV).

Zudem wurden vom Bundesrat 1997 bzw. 1998 zwei Fachgremien eingesetzt, die den Behörden in Fragen der Sicherheit bzw. der Ethik beratend zur Seite stehen. Dabei handelt es sich um die Eidgenössische Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS), welche die Aufgaben der SKBS übernahm, einerseits und die Eidgenössische Ethikkommission für die Gentechnik im ausserhumanen Bereich (EKAH) andererseits.

Als Kerngesetz der Revision sieht das Gen-Lex-Paket den Ausbau des Umweltschutzgesetzes (USG) vor. Im Zentrum steht dabei die Sicherheit von Mensch, Tier und Umwelt. Die weiteren im Sinne der Gen-Lex anzupassenden Gesetzesgrundlagen sind:

- Produkthaftpflichtgesetz (PrHG),
- Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG),
- Tierschutzgesetz (TSchG),
- Lebensmittelgesetz (LMG),
- Epidemiengesetz (EPG),
- Landwirtschaftsgesetz (LWG),
- Tierseuchengesetz (TSG),
- Bundesbeschluss über die Kontrolle von Blut, Blutprodukten und Transplantaten.

Grundsätzlich wird auch im Bereich der Gentechnik-Gesetzgebung eine Harmonisierung mit den Richtlinien der Europäischen Union (EU) angestrebt. Zusätzlich dazu müssen in der Schweiz weitere internationale Regelwerke und Vorschriften beachtet werden:

- Direktiven der Welthandelsorganisation (WTO),
- Allgemeines Zoll- und Handelsabkommen (GATT),

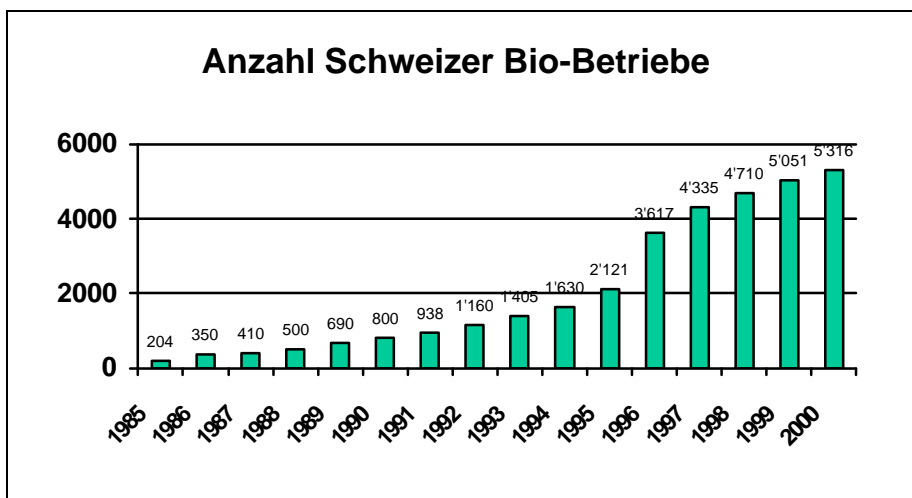
- UNO-Konvention über die biologische Vielfalt,
- Codex Alimentarius,
- Europäisches Patentübereinkommen,
- Europäische Bioethikkonvention,
- Empfehlungen der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit & Entwicklung (OECD) [5, 6, 7].

2.5 Entwicklung in der Schweiz

2.5.1 Bio-Betriebe und Bio-Landwirtschaft

Im März 2000 bewirtschafteten 8.4% der Bauernbetriebe 8.1% der landwirtschaftlichen Nutzfläche biologisch (Gesamt Schweiz: ca. 63'000 Bauernbetriebe, rund 1'100'000 Hektare Nutzfläche). Damit nimmt die Schweiz bezüglich Anteil Bio-Betriebe an der gesamten Landwirtschaft weltweit hinter Österreich den zweiten Platz ein. Grossenteils konzentriert sich der Bio-Landbau auf Berggebiete sowie auf Milch- und Viehbetriebe [3].

Zurzeit (1.3.2000) sind 5'316 Landwirtschaftsbetriebe in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein der BIO SUISSE angeschlossen und produzieren unter dem Knospe-Label. Gegenüber dem Vorjahr bedeutet dies ein Wachstum von 5.25% [3].



Zu den wichtigsten landwirtschaftlichen Produkten, die in der Schweiz biologisch produziert werden, gehören:

- pflanzliche Produkte: Gemüse (Karotten, Kohlrarten, Rinden, Kartoffeln, Sellerie, Salat, Zwiebeln etc.), Obst (Äpfel, Birnen, Kirschen, Pflaumen, Aprikosen, Zwetschgen etc.), Beeren (Erdbeeren, Himbeeren, Brombeeren, Johannisbeeren, Cassis, Stachelbeeren, Heidelbeeren etc.), Getreide (Weizen, Roggen, Gerste, Dinkel), Reben (Wein), Pilze;
- Fleisch: Kälber, Rinder, Kühe, Schweine, Lämmer, Ziegen, Geflügel (Pouletmast), Truten, Kaninchen, Speisefische;
- tierische Produkte: Milch und Milchprodukte (Butter, Käse, Rahm, Joghurt), Eier [2, 3, 4].

2.5.2 Anbau von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen

In der Schweiz wurden bis heute keine gentechnisch veränderten Pflanzen kommerziell angebaut. Es wurden auch keine entsprechenden Bewilligungsgesuche eingereicht. 1991/92 fanden die beiden bisher einzigen Feldversuche mit transgenen Nutzpflanzen statt: Die landwirtschaftliche Forschungsanstalt in Changins (VD) testete transgene, virusresistente Kartoffelsorten.

Im Jahre 1999 wurden zwei Gesuche für eine Freisetzung transgener Kulturpflanzen (herbizidtoleranter Mais und krankheitsresistente Kartoffeln) von den Behörden abgelehnt, obwohl die Eidgenössische Fachkommission für Biologische Sicherheit (EFBS) mit Mehrheitsentscheid keine ernsthaften Sicherheitsbedenken vorbrachte und unter strengen Auflagen die Versuche zur Bewilligung empfahlen [5, 7].

2.6 Entwicklungen im Ausland

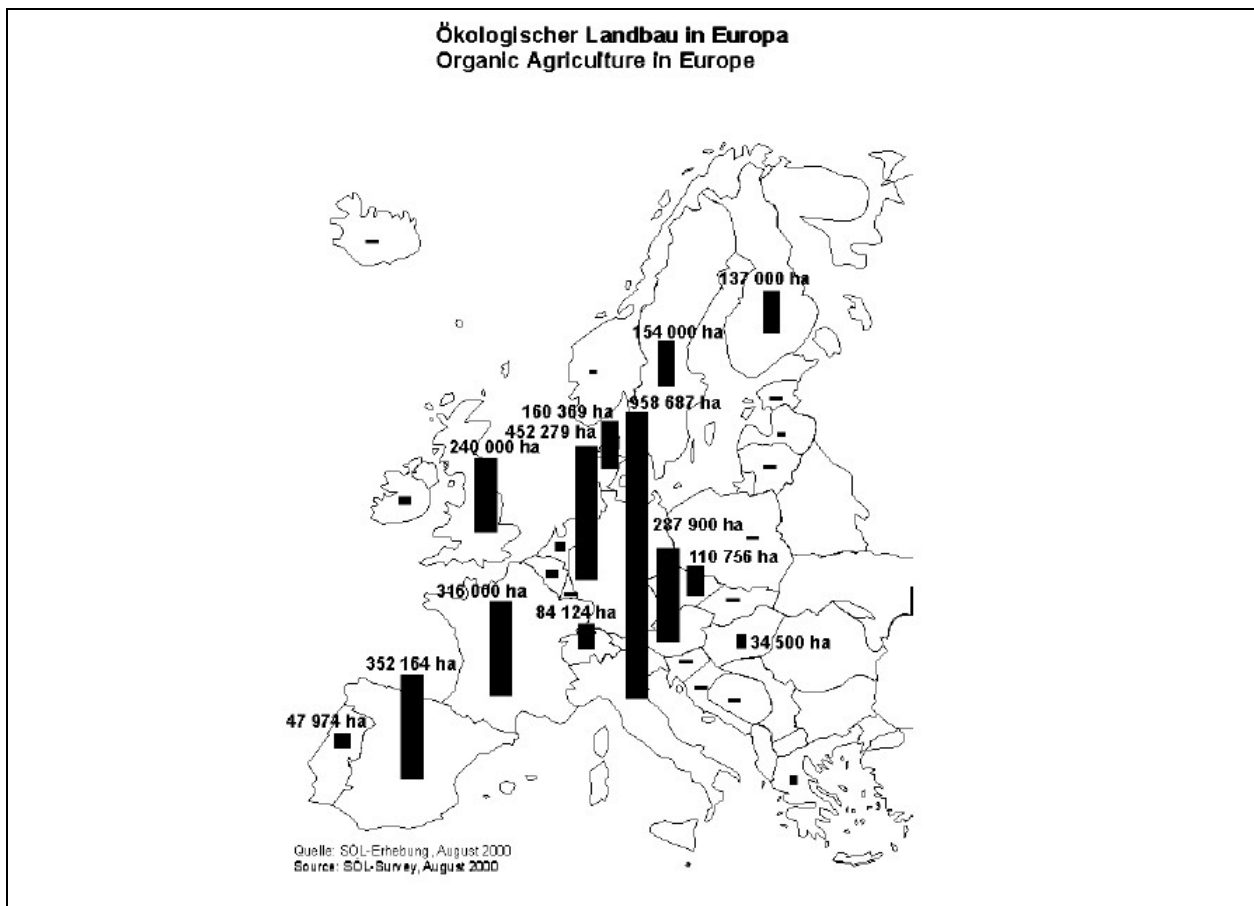
2.6.1 Ökologische Landwirtschaft

1985 wurde auf weniger als 0.1% der landwirtschaftlichen Nutzfläche in Westeuropa biologisch angebaut (0.14 Millionen Hektaren). Ende 1998 stieg diese Zahl auf 2.1%, was etwa 3 Millionen Hektaren entspricht. Dabei variieren die Zahlen innerhalb der EU-Mitgliedsländer drastisch: Während beispielsweise in Schweden 1998 rund 9% der landwirtschaftlich nutzbaren Fläche biologisch bebaut wurde, machte diese Art der Landwirtschaft in Frankreich bloss 0.6% aus. Schätzungen der britischen Soil Association (Bio-Organisation) zufolge wird im Jahre 2007 – basierend auf einer jährlichen Wachstumsrate von 25% – auf rund 10% der landwirtschaftlichen Fläche Europas Bio-Landbau betrieben. Fast 80% des Wachstums der Bio-Landwirtschaft in der EU hat seit 1993 stattgefunden [8, 9].

Auf rund 1.5% aller landwirtschaftlichen Betriebe der EU-Mitgliedsländer wird heute ökologische Landwirtschaft angewendet. Besonders weit verbreitet sind ökologisch wirtschaftende Betriebe in Schweden (12% aller landwirtschaftlichen Betriebe), Österreich (9%) und Finnland (4%) [10, 11].

In den USA hat sich die landwirtschaftliche Fläche, die biologisch kultiviert wird, von 1992 bis 1997 mehr als verdoppelt. Trotzdem nimmt sie heute einen noch sehr kleinen Teil der amerikanischen Landwirtschaft ein: Von den insgesamt 335 Millionen Hektaren landwirtschaftlicher Nutzfläche werden nur ca. 0.54 Millionen Hektaren biologisch bebaut, was etwas weniger als 0.2% entspricht [12].

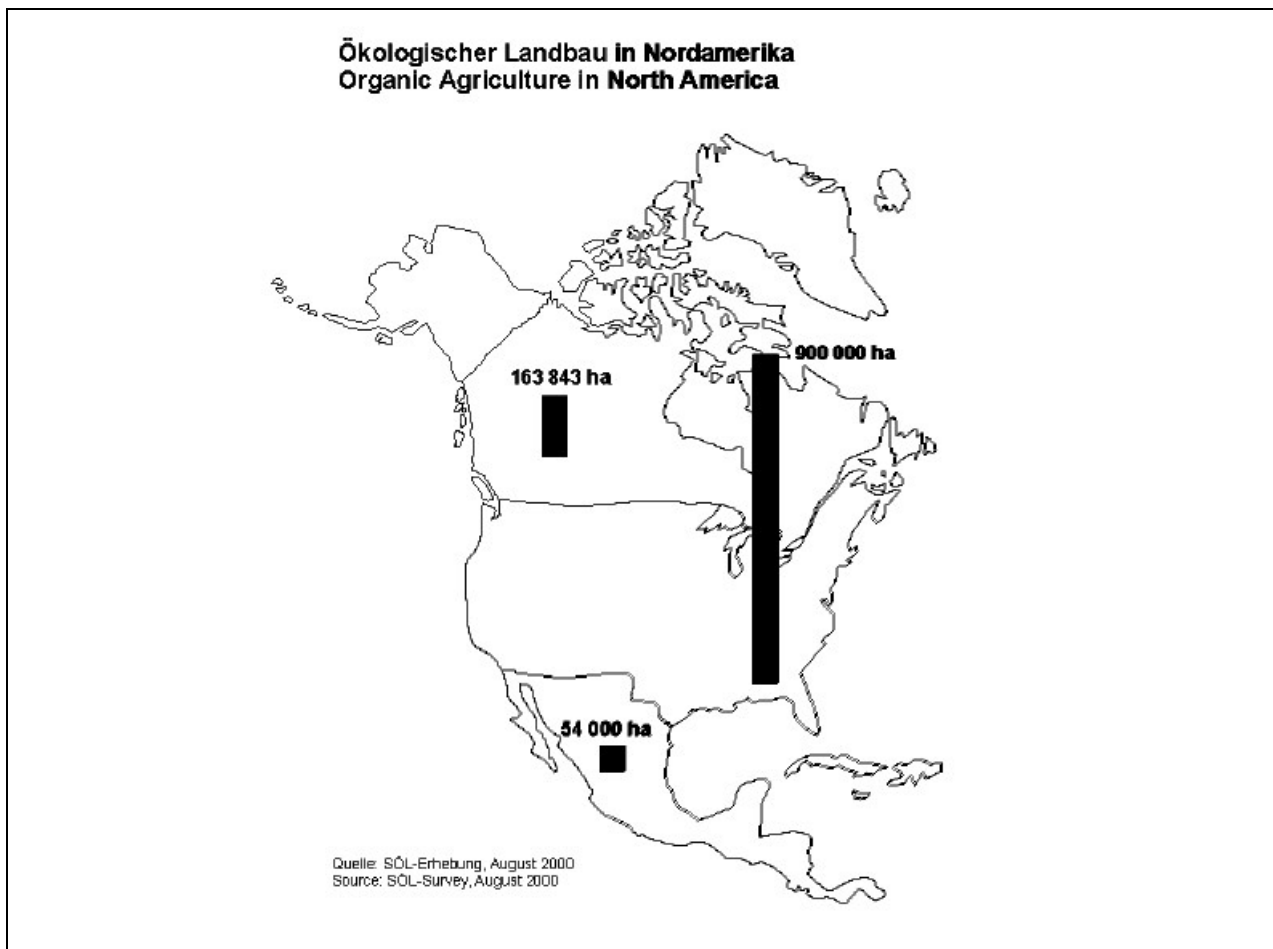
Diese Zahlen variieren jedoch je nach verwendeter Quelle. Aktualisiertes Datenmaterial zur weltweiten Entwicklung des Bio-Landbaus findet sich in einer neuen Publikation der deutschen Stiftung für Ökologie und Landbau (SÖL) vom August 2000. Die weltweite, biologisch bewirtschaftete Anbaufläche wird für 2000 auf rund 10.5 Millionen Hektare geschätzt. Die wichtigsten Zahlen zu den Entwicklungen der ökologischen Agrarkultur in Europa und Nordamerika sind in den folgenden Tabellen und Grafiken zusammengefasst [13]:



Ökologischer Landbau in der Europäischen Union, sechs Beitrittsstaaten und den EFTA-Ländern (SÖL-Erhebung, August 2000)

Organic Agriculture in the European Union (EU, 6 EU accession countries and in the EFTA countries (SÖL-Survey, August 2000)

Land	Datum	Ökologische Betriebe	% an allen Betrieben	Ökofläche in Hektar	% der landwirtschaftlichen Nutzfläche	Gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche
Country	Date	Organic Farms	% of all Farms	Organic Hectares	% of Agricultural Area	Total Agricultural Area*
Austria	1998	20,207	8.84	287,900	8.41	3,422,499
Belgium	1999	550	0.90	18,572	1.40	1,360,000
Cyprus	1999	15		30	0.02	200,000
Czech Republic	1999	473		110,756	2.60	4,276,000
Denmark	1999	3,099	5.20	146,685	6.00	2,672,000
Estonia	1999	114	0.20	4,000	0.40	1,433,100
Finland	1999	5,200	6.10	137,000	6.30	2,284,000
France	1999	8,149	1.00	316,000	1.10	29,944,000
Germany	1999	10,400	2.40	452,279	2.64	17,232,800
Greece	1998	4,231	0.48	15,849	0.47	9,091,000
Hungary	1999	451		34,500		6,122,000
Iceland	1999	33	0.80	2,500	0.60	2,280,000
Ireland	1999	1,058	0.70	32,478	0.70	4,414,000
Italy	1999	49,018		958,687		15,377,000
Liechtenstein	1999	35	16.00	660	17.00	10,000
Luxemburg	1999	29	1.10	1,002	0.80	140,000
Netherlands	1999	1,216	1.18	22,997	1.15	2,000,000
Norway	1999	1,745	2.30	18,773	1.80	1,050,000
Poland	1999	555		11,000	0.30	18,707,000
Portugal	1999	750	0.20	47,974	1.20	3,572,000
Slovenia	1999	312		3,000	0.38	788,000
Spain	1999	11,773	0.90	352,164	1.40	30,080,000
Sweden	1999	3,253	3.80	155,674	5.50	3,272,000
Switzerland	1999	5,070	6.80	84,124	7.80	1,580,000
United Kingdom	1998	1,356	0.70	240,000	1.20	17,509,000
SUM		129,092		3,454,604		178,816,399



Ökologisch bewirtschaftete Fläche und Betriebe in Nordamerika (Quelle: SÖL-Erhebung August 2000)
Organic Land and Farms in Northern America (Source: SÖL-Survey)

Land	Datum	Ökobetriebe	% an allen Betrieben	Ökofläche in Hektar	% der landwirtschaftlichen Nutzfläche	Gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche
Country	Date	Organic Farms	% of all Farms	Organic Hectares	% of Agricultural Area	Total Agricultural Area*
Canada	1998	1,939	0.7	163,843	0.22	74,700,000
Mexico	1998	28,000		54,000	0.05	107,200,000
USA	1999	6,600		900,000	0.22	418,250,000
SUM		36,539		1,117,843		600,150,000

2.6.2 Transgene Nutzpflanzen

Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen führten vor allem in Nordamerika, in Teilen Südamerikas und in China zu einem bisher noch nie dagewesenen Erfolg bei der Einführung einer neuen landwirtschaftlichen Technologie, der sich in der jährlich imposant steigenden weltweiten Anbaufläche transgener Pflanzen widerspiegelt.

Globale Anbaufläche transgener Nutzpflanzen, 1996-1999

Jahr	Millionen Hektaren	Wachstum gegenüber Vorjahr
1996	1.7	-
1997	11.0	547%
1998	27.8	153%
1999	39.9	44%

Im Jahre 1999 wurden auf einer Fläche, die rund 10 Mal jener der Schweiz entspricht, transgene Kulturpflanzen angebaut. Der weitaus grösste Anteil kommerziell angebaute gentechnisch veränderter Pflanzen fand in den USA, Argentinien, Kanada und China statt. Zu den am häufigsten kultivierten transgenen Nutzpflanzen gehören Sojabohnen, Mais, Baumwolle, Raps, Kartoffeln, Kürbis und Papaya. In den USA wurden 1999 auf 50% der gesamten Sojaanbaufläche, auf 33% der totalen Maisanbaufläche, auf 55% des Baumwollanbaugesbietes sowie in Kanada auf 62% der Rapsanbaufläche transgene Sorten kommerziell angebaut. In Europa wurden im gleichen Jahr vor allem Bt-Maissorten angepflanzt: auf 30'000 Hektaren in Spanien, 1'000 Hektaren in Frankreich und über 1'000 Hektaren in Portugal [14].

Für das Jahr 2000 geht der National Agricultural Statistics Service (NASS) der US-Landwirtschaftsbehörden von folgenden Zahlen für den Anbau der drei wichtigsten transgenen Kulturen in den Vereinigten Staaten aus [15]:

Anbaufläche transgener Nutzpflanzen in den USA, 1999-2000

Kultur	Anbaufläche in Millionen Hektaren (Schätzungen)	Anteil transgener Nutzpflanzen	Veränderung gegenüber 1999
Mais	8.1	25%	- 12%
Sojabohne	16.3	54%	+ 7%
Baumwolle	3.9	61%	+ 13%

3. Bio-Produkte: Markt, Konsum und Öffentlichkeit

3.1 Marktwirtschaftliche Entwicklung in der Schweiz

Der Detailhandelumsatz von Knospe-Produkten hat von 1998 auf 1999 um rund 80 Millionen Franken zugenommen, was einem Zuwachs von 14% entspricht. Der schweizerische Gesamtmarkt 1999 wird mit 656 Millionen Franken beziffert (Vorjahr: Fr. 582 Mio). Mittelfristig geht die BIO SUISSE von einem Anteil von 5% Biokundinnen und -kunden aus, was ein geschätztes Marktpotenzial von 1.8 Milliarden Franken für die Schweiz ergibt.

Vor allem die Nachfrage für Bio-Milch, Bio-Fleisch und Bio-Getreide zieht an. 1999 wurde erstmals die Grenze von 100 Millionen Kilogramm Bio-Milch überschritten. Ebenso dynamisch entwickelt sich der Bio-Fleischmarkt. Beim Bio-Getreide werden nur gerade 40% in der Schweiz produziert, 60% stammen aus dem Ausland.

Der Absatz von Bio-Produkten erfolgt via Grossverteiler (insbesondere Coop und Migros), verschiedenen Detaillisten (Vis-à-Vis, primo, SPAR), Bio-Läden, Reformgeschäften und zunehmend auch via Direktvermarktung (Verkauf ab Hof).

Auch bei den Verarbeitern von Bio-Produkten kann ein Wachstum verzeichnet werden. Momentan hat die BIO SUISSE mit 558 Verarbeitungs- und Handelsunternehmen Lizenzverträge abgeschlossen. Dies ist gegenüber 1999 ein Zuwachs von 66 Unternehmen. Immer häufiger werden auch Fertigprodukte für den Endkonsumenten sowie Halbfabrikate für die Verarbeitungsindustrie und die Gastronomie produziert, wie z.B. pasteurisierte Teigwaren, Fertigpizza, Chäschüechli, Kuchenvormischungen oder küchenfertig zubereitetes Gemüse. Auch im Bio-Bereich ist somit der Trend zu „Convenience-Produkten“ feststellbar [3].

3.2 Marktwirtschaftliche Entwicklung im Ausland

Die Europäische Union ist derzeit grösster Markt für Bio-Produkte. 1997 sind in der EU für über 5 Milliarden Euro Bio-Produkte verkauft worden, bei einem jährlichen Umsatzwachstum von rund 20%. Basierend auf den aktuellen Wachstumswerten wird der Gesamtumsatz für das Jahr 2005 auf 25-30 Milliarden Euro geschätzt. In England beispielsweise werden heute biologisch produzierte Nahrungsmittel von 2% der Bevölkerung gekauft. Der geschätzte Umsatz für das Jahr 2002 wird mit 1 Milliarde Dollar beziffert. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang, dass Baby-Nahrung das am schnellsten wachsende Bio-Produkt darstellt. Bereits heute bestehen 10% der Babyfood-Verkäufe aus biologischen Produkten. Die Preise für Bio-Produkte liegen in der Regel 50 bis 60% über denjenigen von konventionellen Nahrungsmitteln, vorwiegend aufgrund der tieferen Erträge von Nutzpflanzen und -tieren und der arbeitsintensiveren Bewirtschaftung.

Der biologische Landbau wird in der europäischen Gemeinschaft sowie von verschiedenen Mitgliedsstaaten intensiv gefördert. 1997 wurden ca. 8% der Mittel für die EU-Agrarumweltprogramme für die Förderung des ökologischen Landbaus in Europa ausgegeben, was über 260 Millionen ECU entspricht [8, 9, 16].

In den USA belief sich der gesamte Umsatz von Bio-Produkten im Jahre 1998 auf 3.5 Milliarden Dollar. Bio-Lebensmittel nahmen damit rund 1% des Lebensmittelmarktes ein. Auch hier ist ein Aufwärtstrend beim Bio-Markt feststellbar, wenn auch geringer als in den Ländern Europas. Gemäss Schätzungen des International Trade Center (ITC) wird das Marktvolumen von Bio-Produkten in den USA dieses Jahr auf rund 8 Milliarden Dollar anwachsen.

Von offizieller Seite her wird der Bio-Landbau in Amerika ebenfalls unterstützt: Für das Jahr 2000 sind von der Clinton-Administration 5 Millionen Dollar für Forschung und Marketing der biologischen Landwirtschaft vorgesehen [16, 17, 13].




3.3 Schweizer Bio-Labels

In der Schweiz ist die Kennzeichnung von biologisch hergestellten Produkten in der Bio-Verordnung seit 1998 gesetzlich geregelt. Ein einheitliches Bio-Label gibt es hingegen nicht. Neben einer Vielzahl diverser Öko- und Natur-Labels, welche für die Konsumenten mitunter ziemlich verwirrend sein dürften, gibt es verschiedene Bio-Labels, von denen die «Knospe» den höchsten Bekanntheitsgrad besitzt.

Gemäss Bio-Verordnung und den Richtlinien der BIO SUISSE müssen bei Bio-Produkten mindestens 95% der Zutaten landwirtschaftlichen Ursprungs aus biologischem Anbau stammen. Die höchstens fünf Massenprozent der Zutaten landwirtschaftlichen Ursprungs eines als «BIO» gekennzeichneten Produktes, die nicht biologisch produziert wurden, werden vom Eidgenössischen Volkswirtschaftsdepartement (EVD) bewilligt und sind in der Liste C, Anhang 3 der Bio-Verordnung abschliessend aufgeführt.

Diese Liste enthält verschiedene Produkte wie Früchte, Nüsse und Samen, Gewürze und Kräuter, Fette und Öle, Zucker und Stärke sowie einige tierische Erzeugnisse wie z.B. Honig, jedoch keine Gemüse oder Getreide. Sobald diese Produkte aus biologischem Anbau ausreichend verfügbar sind, werden sie von der Liste gestrichen. Die BIO SUISSE-Richtlinien verlangen weiter, dass die nicht-biologischen Zutaten als solche deklariert werden müssen. Stammen weniger als 95%, aber mindestens 70% der Zutaten aus biologischem Anbau, können diese Produkte mit der «Deklarations-Knospe» im Verzeichnis der Zutaten gekennzeichnet werden [2, 3].

Labels des schweizerischen Bio-Landbaus

Label	Inhaber	Vermarktungswege	Bemerkungen
	BIO SUISSE-Knospe	COOP-Naturaplan primo, Vis-à-Vis etc. Reformläden, Bio-Läden Direktvermarktung ab Hof	alle Produkte 100% Bio, über 90% der Rohstoffe stammen aus der Schweiz
	Bio-Knospe	dito	alle Produkte 100% Bio, über 10% der Rohstoffe sind importiert; diese unterliegen gleichwertigen Richtlinien
	Deklarations-Knospe (im Verzeichnis der Zutaten)	dito	weniger als 95%, aber mindestens 70% der Zutaten eines Produktes sind Bio

	Umstellungs-Knospe	dito	über 90% der Rohstoffe stammen aus der Schweiz; gilt für Umstellungsbetriebe (zwei Jahre Umstellungszeit)
	Migros-Genossenschaftsbund	Migros-Filialen	alle Produkte 100% Bio
	Demeter-Verband	Reformläden, Bio-Läden Direktvermarktung ab Hof	alle Produkte 100% Bio
	kag freiland	Direktvermarktung ab Hof Reformhäuser Kagfreiland-Metzgereien	Fleisch erst zu 90% aus Bio-Betrieben
	Delinat AG	Direktvertrieb Restaurants	nur Bioweine
	COOP Naturaplan	COOP Filialen	pflanzliche Produkte mit Knospe, tierische Produkte nur teilweise Bio (oft Natura-Beef/Natura-Porc aus IP-Produktion!)
	Bio Domaine AG	Waro, primo, Vis-à-Vis, Perry-Märkte, Volg	alle Produkte 100% Bio (Knospenproduktion)
	Fidelio-Biofreiland AG	Metzgereien Bio Domaine	Fleisch 100% Bio

Die Richtlinien der BIO SUISSE gelten sowohl für den Anbau als auch für die Verarbeitung von und den Handel mit Knospe-Produkten. Unabhängige Kontrollinstanzen, wie z.B. die bio.inspecta AG, überprüfen durch regelmässige Kontrollen die Einhaltung der Richtlinien auf den Bauernhöfen, in Mühlen, Käsereien, im Handel usw. Die Kontrollen von Produzenten, Handel und Verarbeitung erfolgen mindestens einmal jährlich. Dabei wird überprüft, ob die Betriebe, alle Rohstoffe, Warenflüsse, Rezepturen und Verarbeitungsverfahren sowie die Lagerhaltung und Kennzeichnung den Knospe-Richtlinien entsprechen. Knospe-Produkte werden separat gelagert und verarbeitet. So werden Verwechslungen oder Vermischungen mit konventionellen Produkten verhindert. Erst nach erfolgreicher Kontrolle erhalten die Bio-Bauern sowie die Verarbeitungs- und Handelsbetriebe die Knospe-Urkunde sowie das Zertifikat für Bio-Produkte. Im Ausland arbeitet die BIO SUISSE mit lokalen Inspektions- und Zertifizierungsstellen zusammen [3, 4].

3.4 Umfragen und Meinungsforschung zu Bio- und GVO-Produkten

a) IHA-Umfrage, Schweiz (1998/1999)

In der Schweiz wurde das Konsumverhalten bei Bio-Produkten durch das Institut IHA (Institut für Marktanalysen AG) 1998 und 1999 genauer unter die Lupe genommen. Im Folgenden sind die wichtigsten Resultate der Studie zusammengefasst:

- 45% der Bevölkerung interessieren sich für Lebensmittel aus biologischer und tiergerechter Produktion und kaufen diese regelmässig. 55% der Befragten jedoch interessieren sich nicht oder nicht mehr für Lebensmittel dieser Art.
- Nach einem leichten Anstieg des Anteils der Konsumenten, die 1998 Produkte aus biologischer Produktion kauften, stagnierte dieser Anteil 1999.

- Frauen und Berufstätige konsumieren tendenziell mehr Bio als Männer und Nicht-Berufstätige. Die höchste Kauffrequenz weisen die 30- bis 39-jährigen haushaltführenden Frauen auf. Zudem sind wie bereits 1998 die Deutschschweizer die häufigeren Käufer als die Westschweizer.
- Die Bekanntheit der Bio-Label für Lebensmittel aus biologischer und tiergerechter Produktion ist bei der Schweizer Bevölkerung allgemein im Jahre 1999 gegenüber dem Vorjahr zurückgegangen.
- Folgende Gründe – in der Reihenfolge ihrer Wichtigkeit – werden von den Konsumenten für den Kauf derartiger Produkte genannt:
 - „gesunde Lebensmittel“ (Tendenz gegenüber 1998 sinkend)
 - „enthält weniger Chemikalien“ (Tendenz leicht steigend)
 - „nicht umweltbelastend“ (Tendenz sinkend)
 - „artgerechte Tierhaltung“ (Tendenz steigend).
- Skeptisch zeigen sich die Konsumenten von Bio-Produkten gegenüber dem Preis. 50% sagen, diese Produkte seien zu teuer. Die Skepsis gegenüber dem Preis ist im Vergleich zum Vorjahr gestiegen [18, 19].

b) MORI-Umfrage, England (1999)

Vergleichbare Resultate zum Kaufverhalten bei Bio-Produkten erzielte eine britische Studie des Meinungsforschungsinstituts MORI („The Future is Organic“), ebenfalls aus dem Jahre 1999:

- Ein Drittel der britischen Bevölkerung kauft Bio-Produkte.
- Folgende Gründe werden für den Kauf von biologisch produzierten Nahrungsmitteln angegeben:
 - „gesund / besser für dich“ (53%)
 - „besserer Geschmack“ (43%)
 - „frei von GVO“ (30%)
 - „besser für die Umwelt“ (28%)
 - „artgerechte Tierhaltung“ (24%) [20].

c) NCPPR-Umfrage, USA (2000)

Und auch eine Konsumenten-Umfrage des National Center for Public Policy Research vom Mai dieses Jahres zeichnet für die USA ein sehr ähnliches Bild in Bezug auf die Beurteilung der Bevölkerung von Produkten mit dem Label „USDA Certified Organic“ gegenüber herkömmlichen Lebensmitteln:

- „sicherer für die Ernährung“ (68%)
- „besser als konventionelle Lebensmittel“ (67%)
- „gesünder“ (62%)
- „besser für die Umwelt“ (69%)
- „nährhafter“ (43%) [21].

Dass viele Bio-Konsumenten der Ansicht sind, biologische Lebensmittel seien gesünder und besser als herkömmlich hergestellte, wurde auch in weiteren Studien bestätigt. Auch die Skepsis der Konsumenten gegenüber dem Preis von Bio-Produkten kam in internationalen Umfragen zum Ausdruck. Gemäss einer Studie über die Entwicklung des Marktes für Bio-Lebensmittel in der Europäischen Union, der Schweiz, Norwegen und der Tschechischen Republik hat die Zahlungsbereitschaft der Bio-Konsumenten ihre

Grenzen. Für viele verarbeitete Produkte liege die Schwelle bei einem Preisaufschlag von 20 bis 30% gegenüber vergleichbaren konventionellen Produkten, bei unverarbeiteten frischen Produkten wie Obst und Gemüse bei etwa 50% [22].

Wurde hingegen die geschmackliche Qualität von biologischen Produkten direkt mit jener herkömmlicher Nahrungsmittel verglichen, schlossen Bio-Produkte in vergleichenden Studien entgegen der Erwartungshaltung vieler Konsumenten keineswegs besser ab [23]. Der Geschmack von Lebensmitteln wird im Wesentlichen durch deren Frische bestimmt. Israelische Forscher haben in den frühen 90er Jahren 460 Tests an 9 verschiedenen Obst- und Gemüsesorten durchgeführt und konnten keine wesentlichen geschmacklichen Qualitätsunterschiede zwischen biologisch und konventionell angebauten Produkten feststellen [24]. Eine Studie ergab, dass biologisch produzierte Äpfel der Sorte „Golden Delicious“ als fester und geschmacklich besser eingestuft wurden als konventionell erzeugte Äpfel. Die biologischen Äpfel wiesen einen höheren Gehalt an Flavonoiden auf [25]. Eine weitere Untersuchung zeigte, dass Bio-Tomaten als süßer beurteilt, konventionellen Karotten dagegen mehr „Karotten-Geschmack“ zugesprochen wurde [26]. Zusammenfassend konnten bisher keine klaren Unterschiede der geschmacklichen Eigenschaften zwischen biologisch und konventionell produzierten Lebensmitteln festgestellt werden („No clear trends have been established in terms of organoleptic quality differences between organically and conventionally grown food.“) [9].

d) GfS-Gentechnik-Monitor, Schweiz (1999 & 2000)

Im Vergleich dazu wurde vom GfS-Forschungsinstitut (Gesellschaft für praktische Sozialforschung) im Jahre 1999 im Rahmen des „Gentechnik-Monitors“ eine Untersuchung zur Konsumbereitschaft von gentechnisch veränderten Lebensmitteln durchgeführt, die zu folgenden Kernaussagen führte:

- 23% der Schweizer Bevölkerung möchten gentechnisch veränderte Produkte konsumieren (aktiver Kaufwunsch), falls diese in der Schweiz erhältlich sind, und 60% würden keine GVO-Produkte kaufen und konsumieren. 12% der Befragten sind unsicher, ob sie nicht schon derartige Lebensmittel konsumiert haben.
- 74% der Befragten möchten selber entscheiden, ob sie gentechnisch veränderte Produkte kaufen wollen oder nicht. Insgesamt 24% unterstützen ein Verbot von GVO-Nahrungsmitteln.

Verglichen mit den Vorjahresergebnissen zeigte der „Gentechnik-Monitor“ vom Juli 2000 diesbezüglich nur geringfügige Änderungen:

- Immer noch über zwei Drittel der Schweizer Bevölkerung (68%) möchte beim Kauf oder Konsum von gentechnisch veränderten Nahrungsmitteln selber entscheiden können, während 27% GVO-Lebensmittel verbieten möchten.
- 21% der Befragten gaben an, gentechnisch veränderte Lebensmittel konsumieren zu wollen.
- 62% der Bevölkerung befürwortet die Anwendung der Gentechnik bei Pflanzen, wenn damit ein Beitrag zur Reduktion des Hungerproblems geleistet werden kann, und 54% unterstützen den Einsatz transgener Nutzpflanzen, falls dadurch weniger Dünger und Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden müssen [27, 28].

4. Nahrungsmittel und Gesundheit

4.1 Sind Bio-Lebensmittel gesünder?

Dieses Kapitel widmet sich aus wissenschaftlicher Sicht der Frage, ob biologisch produzierte Lebensmittel tatsächlich gesünder sind als herkömmlich gewonnene. Diese Frage ist insbesondere darum von Interesse, da Bio-Organisationen in ihrer Vermarktungsstrategie gesundheitliche Aspekte von Bio-Lebensmitteln in den Vordergrund stellen, und gemäss verschiedenen Meinungsumfragen diesem Argument beim Kaufentscheid für biologische Nahrungsmittel die grösste Bedeutung zukommt.

Wörtlich heisst es etwa in der Präambel zu den BIO SUISSE-Richtlinien:

„Der biologische Landbau bietet Lebensmittel von *hohem gesundheitlichem Wert* bei grösstmöglicher Schonung der Umwelt an und handelt damit *im Interesse der Konsumentinnen und Konsumenten und deren Gesundheit*. Umgekehrt ist der biologische Landbau darauf angewiesen, dass Konsumentinnen und Konsumenten den *Wert gesundheitlich wertvoller Produkte* zu schätzen wissen und bereit sind, dafür einen angemessenen Mehrpreis zu bezahlen.“ [4]

Im Gegensatz dazu lässt sich der Einleitung des 16th Report des britischen House of Lords, „Organic Farming and the European Union“, 1999 entnehmen: „Es sollte betont werden, dass die Bezeichnung «organisch» (biologisch) bescheinigt, dass ein Produkt *auf eine bestimmte Weise produziert* wurde; es ist *keine Garantie*, dass das Produkt *bestimmte erwünschte Qualitäten* aufweist. Mit anderen Worten, organische Standards basieren auf der Produktionsmethode, nicht auf den Merkmalen des Endprodukts.“ („It should be emphasised that the organic label certifies that a product has been *produced in a particular way*; it is *not a guarantee* that it has *certain desirable qualities*. In other words, organic standards are based on the method of production, not on the characteristics of the finished product.“) [8]

Die Food and Agriculture Organization (FAO) der Vereinten Nationen beschreibt das Label «organisch» in einem aktuellen Europa-Bericht folgendermassen: „Die Bezeichnung «organisch» ist vielmehr eine Prozess- statt eine Produkte-Deklaration. Sie sollte nicht unbedingt als Bescheinigung interpretiert werden, dass die produzierten Produkte gesünder, sicherer oder «100% natürlich» sind.“ („The «organisch» label is therefore a process claim rather than a product claim. It should not necessarily be interpreted to mean that the foods produced are healthier, safer, or «all natural».“) [9].

Im Sommer 1999 hat die Advertising Standards Authority (ASA), die britische Lauterkeitsorganisation für Werbung im Internet, eine Beschwerde gegen ein Informationsblatt der britischen Soil Association bestätigt, in welchem biologische Lebensmittel als gesünder, ökologischer und besser für Mensch und Tier angepriesen wurden. Die Beschwerde, die das National Office of Animal Health eingereicht hatte, wurde von der ASA für richtig erklärt, da die Soil Association über keinerlei Beweise für ihre Behauptungen verfügt [29]. Auch die US-amerikanische Landwirtschaftsbehörde (USDA) bestätigte, dass ein „organic food label“ (Bio-Label) nur die Produktionsmethode, die ein Bauer anwendet, beglaubigt und keine Versicherung für die Sicherheit, die Qualität, den Nährwert oder die Gesundheit eines Nahrungsmittels ist [21].

Eine Recherche der wissenschaftlichen Literatur, die auch gentechnisch veränderte Produkte mitberücksichtigt, belegt, dass es im Gegensatz zu gewissen Aussagen des Bio-Marketings und den Umfrageresultaten keinen Beweis dafür gibt, dass Bio-Lebensmittel tatsächlich gesünder sind als konventionelle Produkte.

4.2 Vergleich ernährungsrelevanter und qualitativer Eigenschaften von biologischen und herkömmlichen Nahrungsmitteln

Eine der umfangreichsten wissenschaftlichen Arbeiten zum Vergleich der Eigenschaften von biologisch und konventionell hergestellten Lebensmitteln, in welcher über 150 Studien zu diesem Thema miteinander verglichen wurden, kam zu folgenden, tabellarisch zusammengefassten Ergebnissen:

Getreide und Getreideprodukte

	biologisch produziert	konventionell produziert
Schwermetall-Gehalt (Cadmium)	kein signifikanter Unterschied	(mehr Cadmium in Malz-Gerste – nur in 1 Studie)
Vitamin B	kein signifikanter Unterschied	kein signifikanter Unterschied
Protein-Gehalt	tiefere Werte	höhere Werte
Mahl-Eigenschaften	kein signifikanter Unterschied	kein signifikanter Unterschied
Brot (Weizen)	tieferer Protein-Gehalt, trockener	höherer Proteingehalt, mehr Volumen, mehr Elastizität

Kartoffeln

	biologisch produziert	konventionell produziert
Schwermetalle	kein signifikanter Unterschied	kein signifikanter Unterschied
Nitrat/Stickstoff-Gehalt	tieferer Nitrat-Gehalt	höherer Stickstoff-Gehalt im Gewebe
Phosphor- und Kalium-Gehalt	höhere Werte	
Stärke und Trockensubstanz	kein signifikanter Unterschied	
Protein		höhere Werte
Kartoffel-Proben aus dem Detailhandel	höherer Gehalt an Glukose, Fruktose, Calcium, Eisen und Zink	höherer Gehalt an Saccharose und Trockensubstanz (mehlig)

Gemüse

	biologisch produziert	konventionell produziert
Schwermetalle	kein signifikanter Unterschied	
Nitrat-Gehalt	tiefere Werte	höhere Werte, insbesondere in Wurzel-, Blatt- und Knollen-Gemüse
Mineralien und Spurenelemente	kleinerer Unterschied im Nitrat-Gehalt bei Früchten, Samen- und Zwiebel-Gemüse	
Eisengehalt	kein signifikanter Unterschied	
Vitamin C	kein Unterschied oder höhere Werte	
Gesamt-Zucker-Gehalt	Trend zu höheren Werten, speziell bei Blatt-Gemüse (z.B. Salat, Kohl, Spinat etc.)	
Gehalt an freien Aminosäuren	kein signifikanter Unterschied	
Trockensubstanz-Gehalt	leicht tiefere Werte	
	kein signifikanter Unterschied bei Wurzel-Gemüse, höherer Gehalt bei Blatt-Gemüse	

Die umfangreiche Studie zeigt, dass – wenn überhaupt – nur sehr geringe Unterschiede in Bezug auf die ernährungsrelevanten Eigenschaften zwischen Bio-Lebensmitteln und herkömmlich hergestellten Nahrungsmitteln bestehen. Die Aussage, biologische Lebensmittel seien generell gesünder, lässt sich aufgrund dieser Ergebnisse nicht ableiten [30, 8].

Der bereits erwähnte FAO-Bericht hält in diesem Zusammenhang fest, dass viele der bisher gemachten Studien, in denen die Ernährungsqualität von biologischen und konventionellen Lebensmitteln verglichen wurde, aufgrund mangelhaftem experimentellen Design zweifelhaft sind in ihrer Validität, so dass die Möglichkeit, klare Schlüsse zu ziehen, limitiert ist. Die grosse Anzahl an Faktoren, welche die Qualität eines Produktes beeinflussen, erhöht zusätzlich die Schwierigkeit, signifikante Unterschiede festzustellen. In einigen Fällen konnten zwar statistisch signifikante Unterschiede am Gehalt bestimmter Nährstoffe ermittelt werden, doch sind diese ernährungsphysiologisch eher unwichtig. Mehr Forschung ist in diesem Bereich notwendig, um frühere Resultate zu verifizieren und gesicherte Erkenntnisse zu erhalten. Weiter sollten zusätzliche Parameter zur Evaluation der Lebensmittelqualität etabliert werden, anhand derer Langzeitauswirkungen auf die menschliche Gesundheit untersucht werden können [9].

Auch bezüglich Lebensmittel-Sicherheit gibt es keine Belege, dass Bio-Produkte sicherer sind als konventionell produzierte. Verschiedene Ergebnisse deuten darauf hin, dass bei Bio-Nahrungsmitteln – entgegen ihrem „gesunden Image“ – gewisse Fragezeichen betreffend Gesundheit und Sicherheit angebracht sind (siehe folgende Kapitel).

4.3 Chemische und natürliche Pestizide

Der Verzicht auf chemisch-synthetische Pestizide beim Pflanzenschutz wird von Bio-Organisationen häufig als eines der Argumente für den „hohen gesundheitlichen Wert“ von Bio-Lebensmitteln aufgeführt. Dieser

Verzicht auf chemische Pflanzenschutzmittel soll unter anderem durch resistenterere Sorten wettgemacht werden. Pflanzen produzieren nämlich natürlicherweise zahlreiche chemische Substanzen, um sich selbst gegen Schädlinge und Krankheiten wie Insekten, Pilze, Bakterien oder Tiere zu schützen. Die erste Frage muss lauten: Sind die von den Pflanzen natürlicherweise produzierten Pestizide für den Menschen weniger giftig als chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel?

a) Giftigkeit von Pestiziden in Nahrungsmitteln

Genau dieser Frage widmete sich eine Studie von Bruce N. Ames, Professor für Biochemie und Molekulare Biologie der Universität von Kalifornien. Die Kernaussagen der Studie sind:

- Die Abwehrmechanismen von Menschen gegen Schädigungen durch Toxine (Giftstoffe), wie z.B. das kontinuierliche Abspalten von Zellen, zelluläre Entgiftungsmechanismen, DNS-Reparatur (bei Schädigungen des Erbmaterials) etc., sind genereller Natur. Sie wirken sowohl gegen natürliche wie auch synthetische Pestizide.
- Die Giftigkeit (Toxikologie) von synthetischen und natürlichen Toxinen ist ähnlich. In Hochdosis-Tests (Verfütterung an Nagetiere, Test in Gewebekulturen) konnte gezeigt werden, dass ein grosser Anteil von sowohl natürlichen wie auch synthetischen Substanzen karzinogen (krebserregend), mutagen (Mutationen im Erbmaterial auslösend) und teratogen (Missbildungen bewirkend) sind (30 bis 50% für jede Gruppe).
- Krebshemmende Substanzen in der menschlichen Ernährung schützen gleich gut gegen synthetische wie gegen natürliche Karzinogene [31].

b) Pestizide und Krebs

Noch konkreter äusserte sich Prof. Ames im Zusammenhang mit Pestiziden und Krebs im Jahre 1997. Seine Schlussfolgerungen lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Weder epidemiologische noch toxikologische Daten unterstützen die Meinung, dass synthetische industrielle Pestizide wichtig sind für die Entstehung von Krebserkrankungen beim Menschen. Tatsache ist, dass die gesamten, alters-korrigierten Sterberaten infolge von Krebs (mit Ausnahme von Lungenkrebs durch Rauchen) in den USA seit 1950 um 16% gesunken sind – trotz der intensiven Verwendung synthetischer Pestizide seit Beginn der Grünen Revolution (ab 1960).
- Ein hoher Konsum von Früchten und Gemüse geht mit einem reduzierten Risiko an degenerativen Krankheiten wie Krebs, Herz-Kreislauf-Krankheiten, grauem Star oder Hirnfehlern einher. Früchte und Gemüse sind äusserst wichtig, um das Krebsrisiko zu reduzieren. Werden diese Produkte teurer (z.B. aufgrund eines verminderten Gebrauchs synthetischer Pestizide) ist eine Zunahme von Krebserkrankungen, speziell bei ärmeren Bevölkerungsschichten, die sich diese Produkte nicht mehr leisten können, möglich.
- 99.9% der Chemikalien, die vom Menschen eingenommen werden, sind natürlichen Ursprungs. Amerikaner essen rund 1'500 mg an natürlichen Pestiziden pro Person und Tag, was weit über 10'000 Mal mehr ist, als die Menge synthetischer Pestizid-Rückstände (0.09 mg pro Person und Tag).
- Nur ein sehr kleiner Teil der natürlichen Pestizide wurde auf ihre Kanzerogenität (krebserregende Eigenschaft) hin untersucht. Und die Hälfte der getesteten natürlichen Substanzen aus Früchten,

Gemüsen, Kräutern und Gewürzen waren gemäss Hochdosis-Tests in Nagetieren krebsauslösend (35 von 63 untersuchten Substanzen).

- Die mögliche Gefahr der Krebsentstehung durch synthetische Pestizide (bei durchschnittlichem Ausgesetztsein) sind minimal im Vergleich zum Einfluss der natürlichen Pestizide auf die menschliche Gesundheit, obwohl von beiden Klassen aufgrund der sehr tiefen Dosen kaum eine Gefahr ausgeht [32]. Ein paar alltägliche Beispiele sollen dies verdeutlichen:

I) Eine Tasse Kaffee enthält natürlicherweise rund 1'000 verschiedene Chemikalien. Nur 22 dieser Substanzen wurden auf ihre Kanzerogenität hin untersucht und 17 erwiesen sich als krebserregend. Das bedeutet, dass in einer Tasse Kaffee 10 mg krebsauslösende Chemikalien enthalten sind, was weit mehr ist, als die Menge an synthetischen Pestizid-Rückständen, die eine Person pro Jahr aufnimmt [33].

II) Die Wahrscheinlichkeit, durch einen mit synthetischen Insektiziden behandelten Apfel Krebs zu bekommen, ist nicht grösser als beim Verzehr eines unbehandelten Apfels, denn der Anteil der natürlichen Pestizide, die der Apfel selbst produziert, stellt die vom Menschen applizierte Menge weit in den Schatten [32].

III) Tomatin ist eines der natürlichen Toxine von Tomaten. In 100 g Tomaten befinden sich 36 mg Tomatin (360 ppm), eine Konzentration, die viel näher bei der akut toxischen Menge für Menschen ist, als synthetische Pestizid-Rückstände auf den Lebensmitteln [31].

c) Bio-Insektizide (Rotenon)

Zur direkten Bekämpfung von Schadorganismen ist im Bio-Landbau neben mechanischen, biologischen und biotechnischen Massnahmen auch die Verwendung verschiedener Pflanzenschutzmittel erlaubt (mit Ausnahme von chemisch-synthetischen oder gentechnisch hergestellten Pflanzenbehandlungsmitteln). Diese Präparate müssen bewilligt werden und sind in der jährlich aktualisierten Liste „Zugelassene Hilfsstoffe für den biologischen Landbau“ abschliessend aufgeführt. Verschiedene Präparate aus Pflanzenextrakten, darunter das Fischgift Rotenon, gehören zu diesen zugelassenen Hilfsstoffen, die gegen Insektenschädlinge im biologischen Land- und Gartenbau angewendet werden [4].

Das Beispiel Rotenon zeigt, dass auch bei natürlichen Pestiziden hinsichtlich ihrer negativen gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen von Fall zu Fall Sicherheitsanalysen angebracht sind. Rotenon ist ein Kontakt-Insektizid der Giftklasse 5, das im Obst- und Gemüsebau gegen Blattläuse, Blattsauger, Thripse, Kohlweisslinge und Erdflöhe eingesetzt wird und das im Boden und im Wasser innerhalb weniger Tage abgebaut wird. Abgesehen davon, dass es im Vergleich mit den meisten Bio-Insektiziden einer der giftigsten Wirkstoffe für Mensch und Säugetiere ist, haben neueste Untersuchungen ergeben, dass Rotenon in Ratten zu Hirn- und Zellschäden sowie Krankheitssymptomen und Verhaltensmustern führt, wie sie typischerweise bei an Parkinson erkrankten Menschen auftreten. Gemäss den Studienautoren besteht der Verdacht, dass Umwelttoxine wie das natürliche Pestizid Rotenon für die Entstehung der unheilbaren, degenerativen Nervenkrankheit beim Menschen, deren Ursachen grösstenteils noch unklar sind, mitverantwortlich sein könnten. Die Resultate dieser Studie, die vor Kurzem in einem wissenschaftlichen Workshop erstmals präsentiert wurden, werden in der Dezember-Ausgabe von „Nature Neuroscience“ publiziert [34, 35].

d) Pestizide und auf Ernährung basierende Krankheiten

Als zweiten Punkt gilt es, die gesundheitliche Relevanz von Pestizidrückständen im globalen Kontext zu betrachten. Weltweit gesehen ist das Risiko für die menschliche Gesundheit (bzgl. akuten und chronischen Effekten), das von Pestizidrückständen und Lebensmittelzusatzstoffen ausgeht, als relativ klein einzustufen im Vergleich mit mikrobiellen oder anderen, natürlicherweise vorhandenen Toxinen [36]. Epidemiologischen Untersuchungen zufolge gehen in Europa bloss 0.5 % der durch den Verzehr von Nahrungsmitteln bedingten Krankheitsausbrüche auf chemisch-synthetische Substanzen zurück [9].

Verschiedene Studien zeigen, dass biologisch produzierte Lebensmittel tiefere Gehalte an chemisch-synthetischen Pestizidrückständen aufweisen als Produkte aus der konventionellen Landwirtschaft [30, 37, 38, 39]. Diesem, von der Bevölkerung als klaren gesundheitlichen Vorteil von Bio-Produkten wahrgenommenen Befund steht die Tatsache gegenüber, dass in Europa die Mengen der von der Bevölkerung aufgenommenen Pestizidrückstände sehr tief sind und häufig weniger als 1% der gesundheitlich unproblematischen, akzeptablen täglichen Aufnahmemenge (acceptable daily intake, ADI) betragen. Anders verhält es sich bei chemischen Giftstoffen, die natürlichen Ursprungs sind oder von der allgemeinen Umweltverschmutzung stammen. Von diesen Stoffen (z.B. chlorierte Kohlenwasserstoffe, bestimmte Schwermetalle) sind alle landwirtschaftlichen Systeme gleich stark betroffen [9].

4.4 Mykotoxine (Pilzgifte)

Mykotoxine sind giftige Substanzen, die von verschiedenen Schimmelpilzen gebildet werden. Sie sind teilweise schon in sehr geringen Konzentrationen für den Menschen und für landwirtschaftliche Nutztiere gesundheitsschädigend und können beispielsweise Krebs, Erbschäden, Leber- und Nierenschädigungen, Gewebebrand oder Halluzinationen hervorrufen. Andere Mykotoxine wirken neurotoxisch, beeinträchtigen das Immunsystem oder haben hormonähnliche Effekte. Schätzungsweise rund 25% der weltweiten Getreidepflanzen (Mais, Weizen, Hafer, Roggen etc.) sind von Pilzkrankungen und den daraus resultierenden Mykotoxin-Kontaminationen betroffen [40, 41].

In der konventionellen und integrierten Landwirtschaft (IP) wird das Getreide mit verschiedenen Fungiziden vor Pilzkrankheiten geschützt, wodurch das Risiko von Mykotoxin-Vergiftungen bei Lebens- und Futtermitteln verringert wird. Im Bio-Landbau dürfen – abgesehen von Schwefel- und anorganischen Kupferpräparaten – keine Fungizide verwendet werden.

Eine sehr wichtige Infektionsquelle bei Nutzpflanzen bilden Frassschäden von Insekten und Nagetieren, welche die Wahrscheinlichkeit für einen Pilzbefall via diesen „Eintrittspforten“ erhöhen. Je besser die Pflanzen gegen Insektenschädlinge geschützt sind, desto weniger werden die Produkte mit Mykotoxinen belastet [41, 42]. Daneben sind Einhaltung und Kontrolle guter Qualitäts- und Sicherheitsstandards bei Verarbeitung, Transport und Lagerung von Lebens- und Futtermitteln wesentliche Kriterien, die das Risiko von Pilzwachstum und Mykotoxin-Kontamination minimieren [9].

4.4.1 Mykotoxingehalt bei biologischen und konventionellen Produkten

a) Patulin in Apfelsaft

Gewisse Studien zeigen, dass die Menge an bestimmten Mykotoxinen bei biologisch produzierten Lebensmitteln wesentlich höher sein kann als bei herkömmlich hergestellten, wie z.B. im Fall von Patulin, einem potenziellen Kanzerogen in Apfelsäften. In einer Studie von Jukes aus dem Jahre 1990 wurden verschiedene Apfelsaft-Proben aus biologischer und konventioneller Produktion in Bezug auf deren Patulin-Gehalt direkt miteinander verglichen. Dabei wiesen die konventionellen Apfelsäfte Patulin-Konzentrationen zwischen 244-3'393 µg pro Liter auf, während in den biologischen Proben Konzentrationen von bis zu 45'000 µg Patulin pro Liter Apfelsaft gefunden wurden, was mehr als der 10-fachen Menge entspricht [43].

Diese Untersuchung bestätigt den Zusammenhang zwischen Intensität der Pestizidanwendung auf dem Feld und dem Ausmass der resultierenden Mykotoxin-Kontamination im Endprodukt. Der Verzicht auf chemisch-synthetische Pestizide/Fungizide kann von Fall zu Fall zu höheren Mykotoxin-Gehalten in den Nahrungs- und Futtermitteln führen, die gemäss Toxikologie-Experten für die Gesundheit ein weit grösseres Risiko darstellen.

b) Deoxynivalenol und Zearalenon in Weizen

In einer Untersuchung von Marx et al. (1995) wurden Weizen- und Roggen-Proben aus konventioneller und ökologischer Produktion auf ihre Gehalte an Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon getestet und verglichen. Beide Mykotoxine stammen von Fusarien-Pilzen. Deoxynivalenol ist zell- und gewebeschädigend, Zearalenon hat eine ausgeprägte östrogene Effekte, wirkt anabolisch und ist möglicherweise krebserzeugend. Die von der EU empfohlene, tolerierbare tägliche Aufnahmemenge beträgt 1 µg je kg Körpergewicht für DON und 0.2 µg je kg Körpergewicht für Zearalenon.

In insgesamt 131 der total 201 Proben (100 Roggen- und 101 Weizen-Samples) fanden die Wissenschaftler Deoxynivalenol. Den Höchstwert von 1'250 µg DON pro kg Roggen wies eine Probe aus der ökologischen Produktion auf. Durchschnittlich lag die DON-Kontamination beim konventionellen Roggen bei 160 µg/kg und den Proben aus ökologischer Quelle bei 427 µg/kg. Bei Weizen betragen diese Werte im Durchschnitt 420 µg/kg für konventionelle bzw. 486 µg/kg für ökologische Samples.

40 der 201 Proben wiesen Verunreinigungen mit Zearalenon auf, bei einer Höchstkonzentration von 199 µg/kg einer ökologischen Roggen-Probe. Durchschnittlich wurden beim Roggen Werte von 4 µg/kg für Proben aus konventionellem und 51 µg/kg für Proben aus ökologischem Anbau gemessen. Beim Weizen lagen die Werte bei 6 µg/kg für konventionelle bzw. 24 µg/kg für ökologische Proben [44].

c) Trichothecene in Getreideprodukten

In einer vergleichenden Studie von Schollenberger et al. von 1999 waren biologisch angebaute Produkte weniger stark mit Mykotoxinen wie Deoxynivalenol belastet als konventionelle Weizenprodukte. Untersucht wurden 237 kommerzielle Lebensmittel auf Weizenbasis aus Süddeutschland auf ihren Gehalt an verschiedenen Mykotoxinen der Trichothecenen-Gruppe (Deoxynivalenol, 3- and 15-Acetyl-Deoxynivalenol, Nivalenol, Fusarenon-X, T-2, HT- 2 Toxin). Insgesamt wiesen 71% der Proben Kontaminationen mit Deoxynivalenol auf. Der durchschnittliche Wert lag bei 103 µg/kg DON, wobei bei Baby- und Kindernahrung

die niedrigsten Konzentrationen gemessen wurden. Sowohl die Anzahl positiver Proben wie auch die durchschnittlichen Werte für DON waren bei biologischen Produkten tiefer als bei Lebensmitteln aus konventionellem Anbau [45].

d) Aflatoxin in Milch

Gemäss FAO-Bericht wurden in zwei Studien von Woess tiefere Aflatoxin M1-Kontaminationen in biologischer gegenüber konventioneller Milch gefunden. Diese Befunden deuten auf einen weiteren wichtigen Bereich im Zusammenhang mit Mykotoxinen-Kontaminationen hin. Möglicherweise kann die Fütterung mit grösseren Anteilen an Heu, Gras und Silage, wie sie im Bio-Landbau angewendet werden, das Risiko von Mykotoxin-Verunreinigungen in Milch reduzieren [9].

e) Deoxynivalenol in Maisprodukten

Wie eine erst kürzlich abgeschlossene, vom deutschen Bundesministerium für Gesundheit finanzierte Studie zum Thema „Fumonisin Aufnahme des deutschen Verbrauchers“ ergab, nimmt in Deutschland der Fusarienbefall sowie die begleitende Kontamination mit Pilztoxinen bei Getreide (Mais, Weizen, Roggen) zu. Fusarientoxine sind krebserregend und schädigen Zellen und Immunsystem. Untersucht wurden u.a. Kleinkindernahrung (Maisgries, Getreidebrei) auf ihre Gehalte an Deoxynivalenol (DON). Dabei wurden Werte von zum Teil über 600 µg je kg Lebensmittel gefunden – Mengen, die bei einer üblichen Ernährung (1-2x 20 g) die von der EU abgeleitete, tolerierbare tägliche Aufnahmemenge von 1 µg je kg Körpergewicht deutlich überschreiten. Die Auswertung der bisher vorliegenden Ergebnisse zeigt, dass die Mehrzahl der Produkte mit Maismehl erhöhte Fumonisin-Konzentrationen von 100 - 500 µg/kg aufweisen. Möglicherweise sind ungenügende Kontrollen der Chargen mitverantwortlich. Eine Datensammlung zur europaweiten Belastung von Nahrungsmitteln mit Fusarientoxinen ist in Vorbereitung [46, 47].

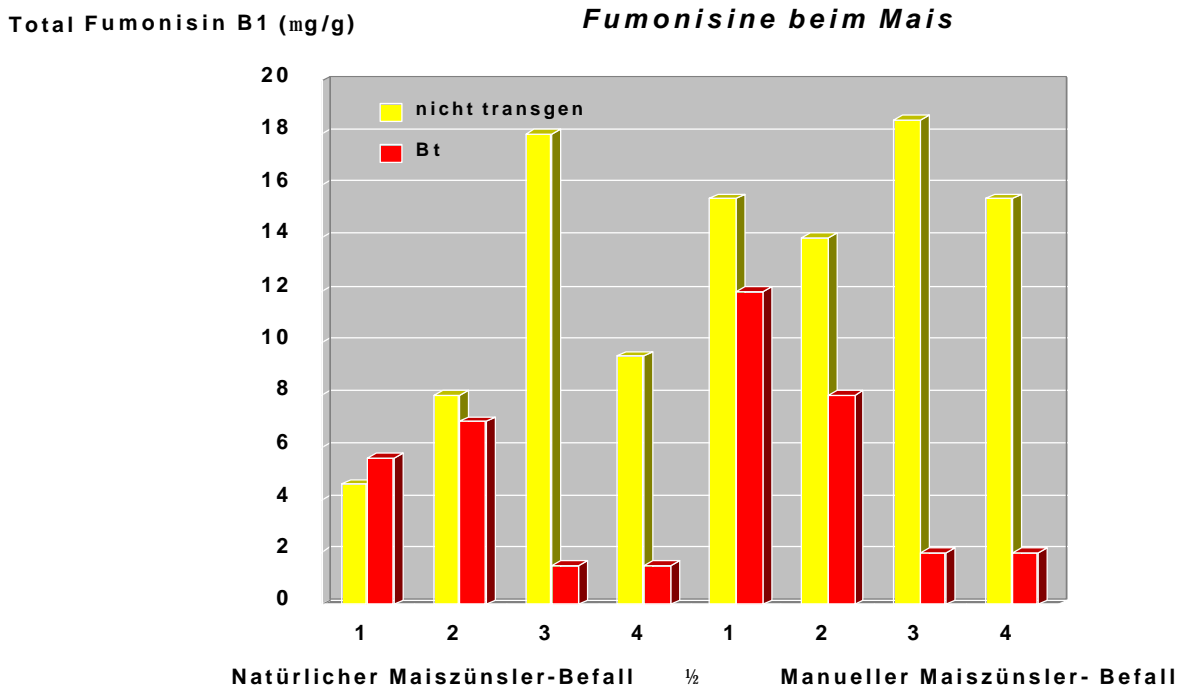
Ob biologisch hergestellte Nahrungsmittel allgemein stärker mit Mykotoxinen belastet sind als konventionelle Lebensmittel lässt sich auf der Basis der bisherigen Ergebnisse nicht gesichert beantworten. Fallweise deutlich erhöhte Werte bei pflanzlichen Produkten bekräftigen aber die Forderung nach weiteren vergleichenden Studien, insbesondere in den Bereichen Schädlingsbekämpfung und Tierfütterung innerhalb der Produktionskette.

4.4.2 Mykotoxingehalt bei gentechnischen und konventionellen Maisprodukten

In diesem Zusammenhang von Interesse sind zwei Feldstudien, die zeigen, dass gentechnisch veränderte Bt-Maissorten deutlich verminderte Mengen an Mykotoxinen aufweisen im Vergleich zu herkömmlichen Sorten. Die gesundheitlich problematischsten Mykotoxine beim Mais sind Aflatoxine, welche durch Pilze der Gattung *Aspergillus* gebildet werden, und Fumonisine, produziert von Fusarium-Pilzen. Die Studien zeigen, dass der effiziente Schutz von Bt-Maispflanzen gegenüber dem Maiszünsler auch die Schwere der Folgeerkrankungen mit schädlichen Pilzen bzw. das Ausmass an Mykotoxin-Kontaminationen reduziert.

a) Bt-Mais und Fumonisin

Wurden herkömmliche Maissorten sehr stark vom Maiszünsler befallen, stieg gleichzeitig der Befall mit Fusarium-Pilzen (Stengel- und Kolbenfäule), und die Mengen an Fumonisinen nahmen häufig Werte an, die z.B. für Pferde und Schweine als gefährlich eingestuft werden. Im Gegensatz dazu waren die Bt-Maissorten nur sehr schwach von der Stengel- und Kolbenfäule (sowie vom Maiszünsler-Befall) betroffen, und die Fumonisin-Mengen in den Maiskörnern waren teilweise um über 90% reduziert. Untersucht wurden die Fumonisine B₁, B₂ und B₃, unten dargestellt sind exemplarisch die gemessenen Fumonisin B₁-Werte [48].



b) Bt-Mais und Aflatoxin

Zu ähnlichen Resultaten gelangten Forscher in einer vergleichbaren Studie. Im Vergleich zu herkömmlichen Maispflanzen zeigten Bt-Sorten weniger Infektionen mit Aspergillus-Pilzen und wiesen zum Teil 75% tiefere Mengen des sehr giftigen, krebserregenden Aflatoxins in den Maiskörnern auf (5 parts per billion (ppb) der transgenen Maissorte Bt11 gegenüber 41 ppb bei herkömmlichen Sorten). Signifikant ist dieses Resultat insbesondere aus zwei Gründen: Erstens hat die amerikanische Lebensmittelbehörde FDA den sogenannten „action level“ für Aflatoxin, d.h. die nicht mehr akzeptable Aflatoxin-Konzentration, auf 20 ppb festgelegt. Zweitens werden Aflatoxine auch auf die Milch von Kühen übertragen, die kontaminierte Maiskörner fressen [49].

Eine häufig gehörte Kritik gegenüber gentechnisch veränderten Pflanzen ist der fehlende Nutzen für die Konsumenten. Tiefere Mykotoxin-Konzentrationen bei Bt-Maissorten stellen jedoch einen belegbaren und direkten Nutzen dar, da die Produkte – sei es als Lebens- oder Futtermittel – für Mensch und Tier sicherer werden. Konsumenten und Behörden sollten diese Faktoren beachten, wenn sie Entscheidungen treffen im Zusammenhang mit transgenen, insektenresistenten Nutzpflanzen oder daraus erzeugter Produkte.

4.5 Bt-Toxine als Spritzmittel

Seit mehr als 30 Jahren werden im Bio-Landbau sogenannte Bt-Spritzmittel zur Bekämpfung von Insekten-Schädlingen eingesetzt. «Bt» ist die Abkürzung für *Bacillus thuringiensis*, einem natürlich vorkommenden Bodenbakterium, welches gewisse Eiweiße bildet, die spezifisch gegen Schmetterlinge und Motten wirken. Werden die Bakterien von den Insekten aufgenommen, zerstören die Bt-Toxine ihre Darmwand. Im Gegensatz zu gentechnisch veränderten Pflanzen, welche ein einzelnes Bt-Eiweiß selber produzieren, wird der insektizide Wirkstoff bei Bt-Sprays (bestehend aus den Sporen der Bakterien und somit einer Mischung unterschiedlicher Bt-Eiweiße) von den Bauern auf die Felder gespritzt.

Französische Wissenschaftler unter Françoise Ramisse des Bouchet Armee-Forschungslabors bei Paris fanden 1999 heraus, dass kommerzielle Bt-Stämme bei einigen Mäusen nach Inhalation zu Lungenentzündungen oder zum Tod durch septischen Schock (allgemeine Blutvergiftung) führen. Angaben von Ramisse zufolge werden diese Stämme gegen Schädlinge des Waldes in Konzentrationen von 10^{11} Sporen pro Quadratmeter versprüht, was eine Gefahr für die in unmittelbarer Nähe wohnende Bevölkerung darstellen könnte [50].

Neuere Studien haben überdies gezeigt, dass die Behandlung von Kulturpflanzen mit Bt-Sprays zu allergischen Reaktionen bei den Bauern, welche diese Insektizide anwenden, führen kann. Mittels Hauttests zur Messung allergischer Reaktionen wurden 48 Landwirte vor und nach dem Spritzen von Bt-Präparaten untersucht. 8% der Bauern zeigten eine Reaktion vor dem Spritzen, 50% waren positiv einen Monat nach dem Ausbringen, und 70% reagierten beim Test nach vier Monaten. Zudem konnten bei den Farmarbeitern, die Bt-Sprays ausgesetzt sind, erhöhte Mengen spezifischer IgE-Antikörper nachgewiesen werden, was ebenfalls auf eine allergene Eigenschaft dieser Spritzmittel hinweist [51].

Bio-Organisationen wie die britische Soil Association empfehlen daher ihren Mitgliedern eine vorsichtige Anwendung und die Benützung von Masken beim Besprühen der Felder mit Bt-Sporen [50].

5. Futtermittel und Tierernährung

5.1 Nutztiere und Futtermittel im Bio-Landbau

Gemäss den Richtlinien der BIO SUISSE sind Nutztiere grundsätzlich mit betriebseigenem Futter zu ernähren. Zugekaufte Futtermittel dienen nur der Ergänzung der betriebseigenen Futtergrundlage und werden möglichst aus biologischem Anbau bezogen. Während gentechnisch veränderte Futter, Futterkomponenten und Zusatzstoffe kategorisch verboten sind, sind beim generellen Anteil nicht-biologischer Futtermittel folgende Toleranzwerte vorgesehen:

- Bei Wiederkäuern dürfen maximal 10% des Trockensubstanz-Verzehrs aus nicht-biologischen Futtermitteln bestehen.
- Bei den übrigen Nutztieren gilt ein Grenzwert des nicht-biologischen Futteranteils von 20% des Trockensubstanz-Verzehrs.

Weiter dürfen bei Schweinen Küchenabfälle und Schotte (Molke) aus nicht-biologischer Produktion bis zu maximal 35% der Trockensubstanz der Ration eingesetzt werden. Letztes Jahr wurde überdies die Bestimmung für Soja als Futtermittel gelockert: Ein Anteil von bis zu 10% konventioneller Soja im Bio-Futter ist zugelassen.

Bei landwirtschaftlichen Nutztieren und ihren Erzeugnissen gelten ebenfalls Toleranzen und Übergangsbestimmungen. Ein paar Beispiele aus den Richtlinien:

- Ein Zukauf von nicht-biologischen Tieren von maximal 10% des jährlichen Jungtierbedarfs bei kurzlebigen Tieren und Masttieren respektive des Gesamtbestandes je Tiergattung bei langlebigen Tieren wird toleriert. Ein langlebiges Tier gilt für den Zukauf gemäss diesem Artikel als Bio-Tier, nachdem es zwei Jahre auf dem Bio-Betrieb verbracht hat. Ausgenommen davon sind: Eintagesküken, Pferde, alle männlichen Zuchttiere und weibliche Aufzuchttiere vor Erreichen des zuchtfähigen Alters bis zu einem Anteil von 10% des Gesamtbestandes bzw. 25% bei Schweinen.
- Alle Betriebe dürfen mindestens ein Tier pro Tiergattung aus nicht-biologischer Herkunft im Bestand haben.
- Für die Knospe-Vermarktung und Direktvermarktung ab Hof von tierischen Erzeugnissen muss ein Tier vor dem Verkauf mindestens ein Jahr auf einem Bio-Betrieb gehalten worden sein: kurzlebige Tiere mindestens zwei Drittel der Lebensdauer. Für die Vermarktung von Milch unter dem Knospe-Label müssen mindestens 80% der Milchtiere aus anerkannten Bio-Betrieben stammen, d.h. sie müssen mindestens die letzten zwölf Monate auf einem Bio-Betrieb verbracht haben. Junghennen und Mastflügel müssen ab dem 5. Lebenstag auf Bio-Betrieben gehalten werden [4].

5.2 Vergleich von konventionellen und gentechnisch veränderten Futtermitteln

Alle bisher durchgeführten Fütterungsexperimente, in denen der Einfluss gentechnisch veränderter mit konventionellen Futtermitteln auf Nutztiere und ihre Erzeugnisse verglichen wurde, kommen zum Schluss,

dass die Nährstoffzusammensetzungen von Fleisch, Milch und Eiern absolut gleichwertig sind von Tieren, die sich von gentechnisch modifizierten oder herkömmlichen Futtermitteln ernährten.

a) Hammond-Studie zu Sojabohnen und Milchkühen

Zur Verunsicherung der Konsumenten haben in diesem Zusammenhang u.a. die Ergebnisse aus den Fütterungsstudien von Hammond et al. beigetragen, genauer: die Greenpeace-Kampagne in Deutschland, die von falschen wissenschaftlichen Annahmen ausging. In diesen Versuchen wurden zwei gentechnisch veränderte Glyphosat-tolerante Sojabohnenlinien mit denen einer herkömmlichen Soja-Linie bei Ratten, Mastküken (Pouletmast), Katzenwels (Fischart) und Milchkühen verglichen. Weder unterschieden sich die untersuchten Inhaltsstoffe (Rohnährstoffe, Aminosäuren, Fettsäuren u.a.) der gentechnisch veränderten Sojabohnen signifikant von der Ausgangslinie, noch zeigten die mit Ratten, Mastküken und Katzenwelsen durchgeführten Fütterungsversuche signifikante Unterschiede zwischen den Sojabohnenlinien. Einzig die mit gentechnisch veränderten Sojabohnen gefütterten Kühe wiesen eine signifikant höhere FCM-Leistung (Fett-korrigierte Milchleistung) von 36.6 ± 0.7 kg/Tag bzw. 36.8 ± 0.7 kg/Tag gegenüber 34.1 ± 0.8 kg/Tag der Kontrolltiere auf [52].

Da jedoch im Milchfettgehalt vor Versuchsbeginn bereits Unterschiede zwischen den Gruppen bestanden (33.9 kg/Tag der Kontrolle bzw. 36.5 und 36.4 kg/Tag), resultieren die signifikanten Differenzen der täglichen FCM-Leistung nicht aus dem Einsatz transgener Sojabohnen, sondern aus den Unterschieden zwischen den Gruppen vor Versuchsbeginn. Der Befund ist daher ausschliesslich auf Eigenheiten der allgemein üblichen Versuchsmethodik zurückzuführen [53].

Das deutsche Robert Koch-Institut äusserte sich in einer Pressemeldung vom 20. September 1997 folgendermassen dazu: "...Festzustellen ist demnach, dass mit gentechnisch veränderten Sojabohnen gefütterte Kühe aufgrund praxisüblicher Unterschiede bei der Futteraufnahme etwas mehr gefressen und in Folge mehr Milch gegeben haben. Die Unterschiede in der Milchmenge und dem Milchfettgehalt liegen im Bereich natürlicher Schwankungen bei Milchvieh und sind statistisch nicht bedeutsam. Sie stehen in keinem kausalen Zusammenhang mit der gentechnischen Veränderung an der Sojabohne. Für das Robert-Koch-Institut besteht deshalb keinerlei Anlass, von der ursprünglich abgegebenen Risikobewertung und der Zustimmung zum Inverkehrbringen der gentechnisch veränderten Sojabohne abzuweichen." [54]

b) Pusztai-Studie zu Kartoffeln und Ratten

Auch die von Dr. Arpad Pusztai am schottischen Rowett Research Institute in Aberdeen durchgeführten Experimente, in denen rohe, transgene Kartoffeln, denen ein Lektin-Gen aus Schneeglöckchen eingefügt wurde, an Ratten verfüttert wurden, sorgten aufgrund der angeblich schädlichen Effekte bei den Versuchstieren für einen grossen Medienwirbel [55].

Im Gegensatz zu Dr. Pusztai, der negative Auswirkungen der zwei untersuchten transgenen Kartoffelsorten auf das Wachstum, die Organentwicklung und das Immunsystem von Ratten beobachtet haben will, kamen diverse unabhängige Institutionen (Prüfungskomitee des Rowett Research Institute, Royal Society, Parlamentsausschuss für Wissenschaft und Technologie Grossbritanniens) nach eingehender Prüfung der Pusztai-Studie zum gegenteiligen Schluss: Weder mit den Kurzzeit- (10 Tage) noch mit den Langzeit-Versuchen (110 Tage) konnte ein signifikanter Unterschied zwischen dem Wachstum und der Organentwicklung von Ratten, die mit den transgenen Kartoffeln gefüttert wurden, und denen, die mit

herkömmlichen Kartoffeln gefüttert wurden, festgestellt werden. Auch die Daten zur Untersuchung der Immunabwehr zeigten keine vom Futter abhängigen Unterschiede. Kritisiert wurde neben den methodischen Mängeln in der Versuchsanordnung und -durchführung insbesondere die spekulative und pauschalisierende Interpretation der Daten, da Pusztai die Ergebnisse von kurzfristigen Tests mit extrem hohen Lektindosierungen wissenschaftlich unzulässig auf langfristige Versuche extrapoliert und ein Minderwachstum der Ratten abgeleitet hat, das nicht stattgefunden hat [53, 56, 57].

In derselben Ausgabe des Wissenschaftsjournals „Lancet“, in der die Pusztai-Studie publiziert wurde, gingen verschiedene Wissenschaftler (Kuiper et al.) näher auf die versuchsmethodischen Schwächen ein. Sie stellten fest, dass eine ausschliesslich aus Kartoffeln bestehende Diät den Ratten nicht genügend Eiweiss zur Verfügung stelle. Eine Diät aus rohen Kartoffeln führe zur Unterernährung, die zusammen mit dem Eiweissmangel zu den beobachteten Veränderungen im Verdauungstrakt, im Wachstum und im Immunsystem führen. Zudem seien für eine klare statistische Auswertung zu wenig Tiere verwendet worden (6 Ratten pro Testgruppe), und es fehlten mindestens zwei wichtige Kontrollverfahren (Verfütterung einer Standard-Nagetierdiät mit 15% Eiweissgehalt, Verfütterung transgener Kartoffeln mit der leeren Vektor-DNS, d.h. ohne Lektin-Gen) [58].

c) Fütterungsstudien im Vergleich

In einer 1999 veröffentlichten Arbeit des Instituts für Tierernährung der deutschen Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) wurden verschiedene Fütterungsexperimente mit gentechnisch veränderten und konventionellen Futtermittelpflanzen verglichen und tabellarisch zusammengefasst:

Zusammenfassende Wertung von Untersuchungen zur Einschätzung der substanziellen Äquivalenz (Gleichwertigkeit) von transgenen Futtermitteln im Vergleich zu isogenen (herkömmlichen) Ausgangslinien

Autoren (Veröffentlichungsjahr)	Transgene Futtermittel	Inhaltsstoffe¹⁾	Einsatz bei Tierart	Ernährungsphysiologische Wertung
Padgett et al. (1996)	GT-Sojabohne	≈	-	-
Hammond et al. (1996)	GT-Sojabohne	≈	Ratten Mastkühen Katzenwels Milchkühe	≈ ≈ ≈ ≈ (↑) ²⁾
Aulrich et al. (1998)	Bt-Mais	≈	Legehennen	≈
Brake und Vlachos (1998)	Bt-Mais	≈	Mastkühen	≈ (↓) ³⁾
Halle et al. (1998)	Bt-Mais	≈	Mastkühen/ Legehennen	≈
¹⁾ Wertung der Markierung: ≈ keine signifikante Veränderung (p>0.05) ↑ signifikante Erhöhung, Verbesserung (p<0.05) ↓ signifikante Senkung, Verringerung (p<0.05)				
²⁾ Höhere FCM-Leistung infolge Fehler im Versuchsansatz				
³⁾ Geringfügige Senkung des Futteraufwandes, die im physiologischen Normalbereich liegt.				

Dabei kamen die Autoren zu folgendem Schluss: „Veränderungen, die die Toleranz von Pflanzen gegenüber Schädlingen oder Pflanzenschutzmassnahmen erhöhen, haben keinen signifikanten Einfluss auf bedeutsame Inhaltsstoffe und die ernährungsphysiologischen Eigenschaften der Futtermittel beim Einsatz in der Tierernährung“ [53].

Eine Zusammenstellung von weiteren Fütterungsstudien, die Inhaltsstoffe und ernährungsphysiologische Eigenschaften von transgenen Futtermitteln mit nicht-gentechnisch veränderten Pflanzen verglichen, wurde 1999 vom deutschen Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V. erstellt.

Zusammenfassung von Untersuchungen zur Bewertung der Sicherheit und Qualität von gentechnisch veränderten Bt-Mais und RR-Sojabohne als Futtermittel (Auszug)

Autoren der Studie (Veröffentlichungsjahr)	Gentechnisch verändertes Futtermittel	Vergleich der Inhaltsstoffe¹⁾	Fütterungsexperimente an folgenden Tierarten	Ernährungsphysiologische Bewertung²⁾
Faust und Miller (1997)	Bt-Grünmais	gleichwertig	Milchkühe	gleichwertig
Daenicke et. al. (1999)	Bt-Mais (Silage)	gleichwertig	Schafe, Mastrinder	gleichwertig
Mayer und Rutzmoser (1999)	Bt-Mais (Silage)	gleichwertig	Milchkühe	gleichwertig
Böhme und Aulrich (1999)	LL-Mais	gleichwertig	Schweine	gleichwertig
¹⁾ unter anderem Proteingehalt, Fettgehalt, Mineralstoffe, Aminosäuren, Fettsäuren, verschiedene Zucker ²⁾ z.B. Verdaulichkeit, Schlachtausbeute, Milchinhaltstoffe, Futteraufnahme, Euter-Gesundheit				

Auch in diesen Studien liessen sich bezüglich Nährstoffzusammensetzung der Pflanzen und deren Auswirkungen auf die Tierernährung keine signifikanten Unterschiede zwischen konventionellen und transgenen Futtermitteln feststellen. Die Autoren hielten insbesondere folgende Punkte fest: „Zahlreiche Studien belegen, dass gentechnisch veränderte Futtermittel keine negativen Auswirkungen auf die Tiere oder deren Produkte haben... Mit Ausnahme des 1996 fehlerhaft durchgeführten Versuchs (siehe Hammond-Studie zu Sojabohnen und Milchkühen oben) konnten keine signifikanten Unterschiede zu der Fütterung mit traditionellen Futtermitteln festgestellt werden... Alle verfütterten Proteine – ganz gleich ob von gentechnisch veränderten Pflanzen oder nicht – werden von den Tieren praktisch komplett verdaut. Somit enthalten weder Fleisch, noch Eier oder Milch neue Proteine durch Verfütterung gentechnisch veränderter Pflanzen. Ein neues Allergierisiko durch diese Proteine beim Verzehr tierischer Produkte, zu deren Herstellung gentechnisch veränderte Futterpflanzen verwendet wurden, kann daher ausgeschlossen werden.“ [59]

5.3 Verbleib der „Fremd“-DNS im tierischen Organismus und in Lebensmitteln tierischer Herkunft

Jeden Tag nimmt der Mensch bei normaler Ernährung etwa 1 g DNS auf. Diese umfasst unterschiedlich stark abgebaute Fragmente von verschiedenen Genen pflanzlicher und tierischer Herkunft sowie bakterieller DNS. Beim Mastschwein wird die tägliche DNS-Aufnahme auf ca. 5 g, bei der Milchkuh auf annähernd 50 g geschätzt. Dazu kommen vergleichbare Mengen DNS, die aus der mikrobiellen Besiedlung des Verdauungstraktes resultieren. Mensch und Tier sind folglich seit Jahrtausenden unzähligen Kombinationen von Genen, die allgegenwärtig in der tierischen und pflanzlichen Nahrung vorhanden sind, ausgesetzt [53]. Die riesigen DNS-Moleküle werden durch die physikalische Verarbeitung der Lebensmittel wie Zerhacken, Zerreiben, Zerkauen und Kochen in kleinere Fragmente von Hunderten bis Tausenden von Nukleotiden (DNS-Bausteine) zerlegt. Zusätzlich werden die grossen DNS-Stücke durch die Einwirkung der Magensäure sowie Enzyme im Mund, dem Verdauungstrakt und innerhalb der Zellen in kleine Fragmente zerstückelt. Der grösste Teil der DNS wird dabei zu einzelnen Bausteinen abgebaut, die im Darm absorbiert werden und – wie alle anderen Nährstoffe – für die normalen körperlichen Prozesse verwendet werden [60].

Verschiedene wissenschaftliche Studien haben in den vergangenen Jahren gezeigt, dass nach der Aufnahme via Nahrung DNS-Bruchstücke unterschiedlicher Quellen in verschiedenen Zellen und Geweben der Tiere nachweisbar sind. Eine Auswahl verschiedener Studien und ihre Resultate ist untenstehend aufgeführt:

a) Schubbert et al. 1997

In Mäusen, die über unterschiedlich lange Zeiträume grosse Mengen an Phagen-DNS aufnahmen (Phagen sind Bakterien-Viren), konnten DNS-Fragmente von bis zu 976 Basenpaaren 2 bis 8 Stunden nach der Fütterung im Blut nachgewiesen werden. Die „Fremd“-DNS konnte anschliessend vor allem in zum Immunsystem des Körpers gehörenden Zellen und Geweben gefunden werden. Nach einmaliger Gabe wurden bis 8 Stunden danach in den Leukozyten (weisse Blutkörperchen) und bis 24 Stunden in Milz und Leber DNS-Bruchstücke der Phagen gefunden, wobei es sich dabei um Entsorgungswege des Organismus handelt (auch DNS-Fragmente von natürlich in Mäusen vorkommenden Mikroorganismen lassen sich in den weissen Blutkörperchen aus verschiedenen Geweben nachweisen) [61].

b) Schubbert et al. 1998

In einer weiteren Studie wurden über 1-2 Wochen täglich Phagen-DNS an trächtige Mäuse verfüttert. Die DNS-Bruchstücke liessen sich in Zellen von 3% der Föten und bei 33% der Neugeborenen nachweisen. Als Übertragungsweg kommen mütterliche Leukozyten, welche die DNS aufgenommen haben und über die Plazenta in den Fötus gelangten, in Frage. Keine Hinweise gibt es bisher auf eine mögliche Aufnahme via Muttermilch [62].

c) Klotz et al. 1998

In einer Studie an Milchkuhen wurden Leukozyten untersucht, nachdem den Tieren Krafffutter mit geringen Mengen an transgenem Sojaextraktionsschrot (Sojamehl) verfüttert wurde. Zwar konnten in den weissen Blutzellen Pflanzen-DNS-Bruchstücke eines natürlich vorkommenden Chloroplasten-Gens gefunden werden,

nicht jedoch von der in die Sojapflanze gentechnisch eingebauten Erbinformation. In der Kuhmilch konnten weder Pflanzen-DNS noch das Transgen (gentechnisch eingebautes Gen) nachgewiesen werden [63].

d) Doerfler et al. 2000

Neuere Studien von Prof. Walter Doerfler des Instituts für Genetik der Universität Köln zeigten, dass in Leber und Milz von Mäusen pflanzliche DNS-Fragmente aus Chloroplasten gefunden werden konnten, eine Stunde nachdem die Mäuse mit Blättern von Sojapflanzen gefüttert worden waren [64].

e) Klotz et al. 2000

Die Forschungsgruppe von PD Dr. Ralf Einspanier des Instituts für Physiologie der Technischen Universität München untersuchte über einen längeren Zeitraum Rinder und Hühner, die mit konventionellem und Bt-Mais gefüttert wurden. Dabei konnte der Übergang von geringen Mengen Futterpflanzen-DNS (aus Chloroplasten) in die meisten Organe des Huhnes (Leber, Milz, Nieren) und in die Blutzellen des Rindes belegt werden. In Eiern wurde dagegen keine Fremd-DNS gefunden. Gentechnisch veränderte DNS des Bt-Maises konnte in keinem der Fälle nachgewiesen werden. Zudem bestätigten die Untersuchungen, dass bezüglich qualitativer und quantitativer Eigenschaften der tierischen Produkte kein Unterschied im Vergleich von konventioneller Fütterung mit Bt-Mais-Fütterung vorliegt, und eine gesundheitliche Beeinträchtigung beim Konsum tierischer Lebensmittel auf der Basis gentechnisch veränderter Futtermittel unwahrscheinlich ist [65].

Der Nachweis von „Fremd“-DNS in Tieren oder tierischen Produkten stellt keine Neuheit dar. DNS-Fragmente aus der Nahrung sind seit jeher in sehr tiefen Konzentrationen in den Tieren vorhanden. Sie sind jedoch sehr klein und haben keine funktionellen Effekte auf den tierischen Körper, ausser dass sie als Nährstoff-Quelle dienen. Sowohl die U.S. Food and Drug Administration (FDA) wie auch die World Health Organization (WHO) bestätigen, dass der Konsum von DNS aus jeglicher Quelle – inklusive gentechnisch veränderten Pflanzen – für Mensch und Tier sicher ist.

Auch die amerikanische Federation of Animal Science Societies (FASS), welcher rund 10'000 Wissenschaftler aus Hochschulen, Behörden und Industrie angehören, hat in ihrem Bericht vom Januar 2000 bestätigt, dass pflanzliche Proteine noch nie in Milch, Fleisch oder Eiern nachgewiesen werden konnten, und dass weder die DNS noch Proteine von gentechnisch veränderten Pflanzen in Milch oder Fleisch von Tieren, die sich davon ernährten, gefunden werden konnten. Der Verzehr von Fleisch, Milch oder Eiern von mit transgenen Futtermitteln gefütterten Tieren ist somit sicher für die menschliche Ernährung [66].

Bis heute gibt es keine wissenschaftlichen Hinweise, dass irgendwelche pflanzlichen Proteine aus der Nahrung in den Geweben eines Tieres oder in tierischen Produkten wie Fleisch, Milch und Eier vorhanden sind. Und obwohl Tiere und Menschen seit Jahrmillionen konstant pflanzlicher DNS ausgesetzt sind, konnte noch nie ein pflanzliches Gen oder ein Fragment davon im Erbgut eines Tieres oder des Menschen nachgewiesen werden. Eine Aufnahme pflanzlicher Gene oder Teilen davon ins Genom von Menschen und Tieren ist daher höchst unwahrscheinlich. Es gibt zudem keinen wissenschaftlichen Grund, dass sich gentechnisch eingebaute DNS, welche durchschnittlich bloss 0.00016 - 0.00066% der gesamten Pflanzen-DNS ausmacht, diesbezüglich anders verhalten sollte [67].

6. Landwirtschaft und Ökologie

6.1 Agrarökologie und Nachhaltigkeit

Zu den drängenden weltweiten Umweltproblemen gehören beispielsweise die Anreicherung der Erdatmosphäre mit Kohlendioxid, die mit der drohenden globalen Klimaerwärmung einhergeht, sowie die Verschmutzung von Böden und Wasser mit umweltschädigenden Chemikalien. Die Forderung nach ökologischer Nachhaltigkeit nimmt daher auch innerhalb von Landwirtschaft und Agrarforschung einen immer wichtiger werdenden Platz ein. Nicht nur im Bio-Landbau, sondern auch in der integrierten Landwirtschaft oder bei der gentechnischen Pflanzenzüchtung wird das Ziel verfolgt, die landwirtschaftliche Produktion umweltschonender zu gestalten.

Gentechnische Diagnoseverfahren zur Lokalisierung agronomisch wichtiger Gene (z.B. Resistenzgene) erhöhen die Effizienz der traditionellen Züchtung, indem sie die Auswahl der besten Kreuzungspartner und Nachkommen erleichtern. Dieser Zweig gentechnischer Pflanzenforschung wird heute auch von Gentechnik-kritischen Kreisen, wie z.B. Bio-Bauern oder einigen Umweltorganisationen, unterstützt.

Gentechnische Methoden ermöglichen zudem, pflanzeneigene Abwehrmechanismen auf molekularer Ebene zu charakterisieren, um diese in einem zweiten Schritt aus dem Genpool resistenter Wildpflanzen in die empfindlichen Kultursorten einzubauen. Dank dem Einsatz krankheits- und schädlingsresistenter Pflanzen kann der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln deutlich gesenkt werden. Weitere Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die Züchtung von hitze- und trockenheitsresistenten Pflanzen oder Sorten, die auch auf stark salzhaltigen Böden gedeihen [68, 69].

Möglicherweise liegt in Zukunft der Schlüssel für eine effiziente Ökologisierung der Landwirtschaft in der Verknüpfung biologischer Prinzipien mit modernen landwirtschaftlichen Züchtungsmethoden. Auf die Chancen der gentechnischen Pflanzenzüchtung zum Vornherein zu verzichten, wäre vor allem auch aus ökologischer Sicht kurzfristig und ungerechtfertigt.

6.2 Vertikaler Gentransfer und Pollenflug

Ein sehr häufig genannter Kritikpunkt beim Anbau von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen ist die potenzielle Möglichkeit der Auskreuzung der eingebauten Eigenschaften wie Schädlingsresistenz oder Herbizidtoleranz auf verwandte Unkräuter. Wegen des Pollenflugs und der resultierenden Durchmischung der Bio-Produkte mit gentechnisch veränderten Komponenten sei, so wird befürchtet, ein Nebeneinander von Feldern mit transgenen Sorten und biologisch bebauten Äckern nicht möglich. Schlagwörter wie „Superunkräuter“, „Gensmog“ oder „genetische Verseuchung“ prägen oftmals die Diskussion, obschon eine solche Generalisierung, wie im Folgenden dargelegt, einer der Realität entsprechenden, wissenschaftlichen Betrachtung nicht standhalten.

6.2.1 Gentransfer auf verwandte Wildarten

Eine Genübertragung durch Pollen zwischen Pflanzen einer Art oder Pflanzen verwandter Arten (vertikaler Gentransfer) ist ein natürlicher Vorgang. Ein Austausch z.B. von Krankheits- und Schädlingsresistenzen oder Herbizidtoleranzen von Kulturpflanzen auf verwandte Wildarten oder umgekehrt hat schon immer stattgefunden. Auch die Ausbildung neuer Spezies mit Unkrautcharakter (z.B. relative Anspruchslosigkeit an den Standort, schnelle Abreife oder lockerer Samensitz) ist in der konventionellen Züchtung bekannt. Es handelt sich hier also nicht um einen Gentechnik-spezifisches Prozess (die Pollen haben nicht erst seit der Einführung der Gentechnik fliegen gelernt).

Die Wahrscheinlichkeit einer Auskreuzung und daraus entstehender ökologischer Auswirkungen sind mitunter von folgenden Bedingungen abhängig:

1. Sind verwandte Kreuzungspartner in der Anbauregion der transgenen Kulturpflanzen vorhanden?
 2. Führt eine Auskreuzung zwischen transgenen Kulturpflanzen und verwandten (Wild-)Arten zu fortpflanzungsfähigen Nachkommen?
 3. Besitzen die Kreuzungsnachkommen aufgrund der neu erworbenen Eigenschaft einen selektiven Vorteil, so dass sie sich langfristig im Ökosystem etablieren und nachteilige Auswirkungen verursachen können?
- [70]

Wie die folgende Tabelle zeigt, bestehen für die wichtigsten Kulturarten in der Schweiz grosse Unterschiede bezüglich der Möglichkeit einer Auskreuzung auf verwandte Wildarten (nicht miteinbezogen ist hier der Genfluss von Kultur- zu Kulturpflanze) [1]:

Wahrscheinlichkeit eines vertikalen Gentransfers auf verwandte Wildarten für wichtige Kulturpflanzen in der Schweiz (verändert nach Ammann et al. 1996)

Pflanzenart	Wahrscheinlichkeit für Auskreuzung und Samenverbreitung
Rohr-Schwengel	erheblich und verbreitet
Wiesen-Schwengel	erheblich und verbreitet
Italienisches Raygras	erheblich und verbreitet
Englisches Raygras	erheblich und verbreitet
Luzerne	erheblich und verbreitet
Salat	erheblich, aber lokal
Möhre	erheblich, aber lokal
Raps	niedrig und lokal
Rübsen	niedrig und lokal
Radieschen	niedrig und lokal
Zichorie	niedrig und lokal
Roggen	minimal
Weizen	minimal
Endivie	minimal
Kohl	minimal
Rotklee	null

Weissklee	null
Zuckerrübe	null
Kartoffel	null
Tomate	null
Gerste	null
Mais	null
Soja	null

Da verschiedene wichtige Kulturpflanzen in der Schweiz keine verwandten Wildarten besitzen, in die sie einkreuzen könnten (wie z.B. Mais, Kartoffel, Tomate, Soja, Zuckerrübe, Rotklee), bzw. strenge Selbstbefruchter sind (z.B. Weizen, Reben) oder sich vegetativ vermehren und steril sind (z.B. Kartoffel), ist eine Auskreuzung auf Wildarten durch Pollenflug entweder gar nicht möglich bzw. höchst unwahrscheinlich. Anders verhält es sich beispielsweise beim Raps oder der Luzerne (Futterpflanze), die in der Schweiz verwandte Wildkrautpopulationen besitzen und fremdbestäubend sind. Hier muss vor dem grossflächigen landwirtschaftlichen Anbau gentechnisch veränderter Sorten gründlich geprüft werden, ob allenfalls das neue, aus der Kulturpflanze erworbene Gen der Wildpflanze einen Konkurrenzvorteil verschaffen könnte. Eine Übertragung von Krankheits- oder Schädlingsresistenzen auf verwandte Unkrautarten würde den Nachkommen nur dann einen selektiven Vorteil vermitteln, wenn diese auch zum Wirtsspektrum der Schaderreger gehören [1, 68, 70, 71].

Auch bei der Auskreuzung von Herbizidtoleranzen erscheinen viele Befürchtungen übertrieben. Sollte tatsächlich die Übertragung einer Herbizidtoleranz auf eine Unkrautart stattfinden, so bedeutet das nicht, dass sich das neue Gen in das natürliche Ökosystem ausbreiten würde. Diese Herbizidtoleranz wäre für das Unkraut nämlich nur dort von Vorteil, wo das Herbizid eingesetzt wird – auf dem Acker. Wird das entsprechende Herbizid nicht (mehr) angewendet, verliert die erworbene Eigenschaft ihren Selektionsvorteil und verschwindet in den Folgegenerationen. Verschiedene Studien belegen, dass in Abwesenheit eines Selektionsdruckes eine (folglich neutrale) genetische Eigenschaft einer Pflanze mit der Zeit verloren geht [72, 73].

Exemplarisch gezeigt wurde dieses Phänomen in einer Fallstudie von Gressel et al. mit natürlich entstandenen, herbizidtoleranten Mutanten der Pflanze *Brachypodium distachyon* in Israel. An Strassenrändern, die regelmässig mit Triazin-Herbiziden besprüht wurden, konnten sich die herbizidtoleranten Pflanzen behaupten und vermehren. Sobald jedoch andere Herbizide angewendet wurden, ging die triazintolerante Pflanzenpopulation zurück, und es stellte sich wieder die ursprüngliche Situation ein, bei der *Brachypodium* vorwiegend auf Sandsteinhügeln zu finden ist. Die Autoren der Studie folgerten, das Risiko sei klein, dass eine Wildpflanze über eine längere Zeit ein Unkraut bleibt, solange sich die landwirtschaftlichen Anbaupraktiken an die neue Situation anpassen können [74].

Sowohl im Rahmen des europäischen wie auch des schweizerischen Zulassungsverfahrens muss das Risiko einer Auskreuzung sowie mögliche nachteilige ökologische Auswirkungen von Fall zu Fall je nach Pflanzenart, Transgen und Standort abgeklärt werden, bevor eine gentechnisch veränderte Nutzpflanze angebaut werden darf. Zudem wird in der Schweiz die Gesuchstellerin (Saatgutfirma, Forschungsinstitut etc.) bei einer Freisetzungszulassung dazu verpflichtet, ein begleitendes ökologisches Langzeitmonitoring

(Überwachungsplan) durchzuführen, damit potenziell schädliche Einwirkungen auf die Umwelt während und nach der Freisetzung festgestellt werden können [75].

In Bezug auf die ökologische Sicherheit sind transgene Pflanzensorten die am besten geprüften überhaupt. Dabei hat gerade die Einführung gentechnisch veränderter Nutzpflanzen dazu geführt, dass verschiedene Sicherheitsfragen, denen früher kaum Beachtung geschenkt wurde, heute intensiv diskutiert und erforscht werden. Seit 1986 wurden global weit über 25'000 Freisetzungsversuche durchgeführt und seit 1996 auf über 80 Millionen Hektaren Ackerland transgene Kulturpflanzen kommerziell angebaut, ohne dass bisher negative Auswirkungen auf die Umwelt festgestellt werden konnten [14]. Sowohl eine Generalisierung wie auch eine Hochstilisierung der Gefahr des Pollenflugs ist aus wissenschaftlicher Sicht unbegründet.

6.2.2 Gentransfer vom Gentech- aufs Bio-Feld

Auch für einen denkbaren Gentransfer von einem Gentech-Feld auf den benachbarten Acker eines Bio-Bauers drängt sich eine differenzierte Betrachtungsweise je nach Pflanzenart auf (dieser Aspekt wurde in der Studie von Ammann et al. ausdrücklich nicht behandelt). Und auch hier steht die Landwirtschaft nicht grundsätzlich vor einem neuen, erst mit der Gentechnik herbeigeführten Phänomen. Der Pollenflug vom Feld eines konventionell produzierenden Bauers auf das eines IP- oder eines Bio-Landwirts und umgekehrt fand ebenfalls immer schon statt – und trotzdem vermochten bisher alle drei landwirtschaftlichen Systeme nebeneinander zu existieren.

Auf jeden Fall wird ein Nebeneinander von Gentechnik- und Bio-Landwirtschaft aufgrund des Pollenflugs mitnichten generell verunmöglicht. Wobei zu bemerken ist, dass in der kleinräumigen Landwirtschaft der Schweiz bei gewissen Kulturen zu Recht erhöhte Anforderungen an diesen Aspekt gestellt werden. Bei Kulturpflanzen, die keine Blüten bilden oder männlich-steril sind (z.B. Kartoffeln), ist eine Genübertragung via Pollen nicht möglich. Bei strengen Selbstbefruchtern (z.B. Weizen) würde ein Isolationsabstand von einer bis zwei Pflugfurchen ausreichen, um eine Auskreuzung zu verhindern. In der Saatgutproduktion, die sich für die Einhaltung der Sortenreinheit seit jeher mit dem Thema Pollentransfer auseinandersetzen muss, ist für die Basisvermehrung des Saatgutes von strengen Selbstbefruchtern (Hafer, Gerste, Dinkel und Weizen) kein Isolationsabstand zur Reinhaltung der einzelnen Sorten vorgeschrieben, lediglich eine deutliche und klare Trennung der Felder [76]. Und beim Mais liegt der Anteil an transgenen Pollen bereits beim Abstand von 10 - 20 m von einem Feld mit gentechnisch veränderten Sorten bei unter 1%, was innerhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Deklarationslimite liegt. Anders verhält es sich bei Kulturen, deren Pollen langlebig sind und durch den Wind oder Insekten über grosse Distanzen verfrachtet werden können (z.B. Raps). Bei solchen Pflanzenarten ist die Übertragung eines Transgens auf die Bio-Kulturen möglich, und diese Möglichkeit muss vor einem Zulassungsentscheid einer gentechnisch modifizierten Pflanze zwingend mitberücksichtigt werden.

Pflanzenforscher sind sich der potenziellen Problematik der Ausbreitung von Fremdgenen durch Pollen durchaus bewusst. Seit Jahren wird daher intensiv nach Möglichkeiten geforscht, um derartige Genübertragungen bei Pflanzen auszuschliessen. Eine mögliche Variante besteht darin, die gentechnische Veränderung nicht mehr im pflanzlichen Zellkern, sondern in Plastiden (Organellen) wie den Chloroplasten

(Blattgrün-Körner) vorzunehmen. Diese enthalten ebenfalls genetische Information, welche bei vielen Kulturpflanzen während der Befruchtung im Gegensatz zur DNS im Zellkern vom männlichen Pollenkorn nicht auf die weibliche Eizelle übertragen wird. Somit werden die Eigenschaften dieser Gene nicht an die Nachkommen weitervererbt. Bei verschiedenen Pflanzenarten wie Tabak oder Reis ist diese Art der Geneinführung bereits gelungen. In absehbarer Zeit, so die Hoffnung der Wissenschaftler, sollte dieses Prinzip des „Biocontainments“ auch für hier angebaute Nutzpflanzen verfügbar sein, von denen kein oder kaum mehr ein Risiko einer Genübertragung via Pollen mehr ausgeht [77].

6.3 Bt-Toxine in der Schädlingsbekämpfung

6.3.1 Abbau im Boden

Zu den zahlreichen und umfangreichen Studien, die für die Zulassung zum kommerziellen Anbau einer transgenen Nutzpflanze erforderlich sind, gehören auch solche, in denen der Verbleib des neu eingefügten Proteins im Boden und ihr Einfluss auf die Bodenökologie untersucht wird. Bt-Toxine gehören dabei aufgrund ihrer langjährigen und häufigen Anwendung zu den am besten untersuchten insektiziden Eiweißen [78].

Entgegen den Resultaten gewisser Studien, die eine Anreicherung von Bt-Toxinen in stark tonhaltiger Erde in Laborversuchen zeigten [79], und den Befürchtungen von Umweltkreisen, dass durch transgene Bt-Pflanzen resistente Schädlinge hervorgerufen werden, konnten diese Effekte in der Natur bisher nicht festgestellt werden. Und das obwohl 1999 weltweit auf 9.6 Millionen Hektaren gentechnisch veränderte, insektenresistente Maissorten angebaut wurden, was etwa 24% der gesamten Maisanbaufläche entspricht [14]. Auch aus der von der Forschungsgruppe unter Prof. Guenther Stotzky der New Yorker Universität im Dezember 1999 im „Nature“ publizierte Studie, dass Bt-Mais unter künstlichen Laborbedingungen (Nährflüssigkeit, Bodenmischungen) geringe Mengen des aktiven Bt-Toxins via Wurzeln in den Boden abgibt und dort möglicherweise akkumuliert, kann keine potenzielle Gefährdung der Bodenlebewesen und kein Risiko der Resistenzbildung unter natürlichen Anbaubedingungen geschlossen werden [80].

Zahlreiche Fakten sprechen klar gegen eine derartige, in verschiedenen Medien verbreitete Behauptung:

- Bt-Proteine kommen natürlicherweise im Boden vor (*Bacillus thuringiensis* ist ein Bodenbakterium).
- Seit über 30 Jahren werden Bt-Toxine (in Form von Bakteriensporen-Sprays) in der Landwirtschaft, insbesondere im Bio-Landbau, als Spritzmittel gegen Schädlinge eingesetzt.
- Bt-Eiweiße gelangen auch durch Pollen, die sich auf der Bodenoberfläche absetzen oder durch Stängelmaterial und Wurzeln, die nach der Ernte untergepflügt werden, in den Boden. Diese werden als Nahrungsquelle unabhängig von ihrem Ursprung von den im Boden lebenden Mikroorganismen abgebaut.
- In allen bis heute durchgeführten Feldstudien mit transgenen Bt-Pflanzen unter natürlichen Bedingungen (die wissenschaftlich viel aussagekräftiger sind als Laborexperimente unter künstlichen Bedingungen) konnte gezeigt werden, dass die Bt-Toxine der gentechnisch veränderten Pflanzen im Boden

vergleichbar oder sogar schneller abgebaut wurden als jene von den Bt-Spritzmitteln. Nach rund ein bis vier Wochen konnten Bt-Eiweisse im Boden nicht mehr nachgewiesen werden. Keine der durchgeführten Untersuchungen zeigte eine Ansammlung von Bt-Proteinen im Boden.

- In zwei bisher nicht publizierten Feldstudien aus Mississippi und Alabama, in denen während drei bis sechs aufeinanderfolgenden Jahren gentechnisch veränderte Bt-Baumwolle angepflanzt und am Ende der Anbausaison jeweils wieder untergepflügt wurde, konnten Bt-Proteine im Boden nicht einmal mehr nachgewiesen werden.
- Durch Sprühungen von Bt-Bakterien, wie sie in der Bio-Landwirtschaft praktiziert werden, gelangt eine deutlich grössere Menge Bt-Toxine in den Boden als durch transgene Pflanzen. Noch nie konnte bisher eine Akkumulation im Boden oder ein negativer Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit festgestellt werden.
- Bt-Insektizide wirken spezifisch auf Schmetterlinge und Motten. Da sich deren Raupen nicht im Boden aufhalten, ist die Gefahr der Resistenzbildung gegen Bt-Eiweisse während des Verbleibs der Toxine im Boden bei den Schadinsekten unwahrscheinlich.
- Zahlreiche Studien belegen, dass Nutzinsekten und andere Nicht-Ziel-Organismen in transgenen Bt-Feldern weniger (oder zumindest nicht mehr) geschädigt werden, als in nicht-transgenen Feldern (siehe auch Kapitel 6.3.2) [81].

Fest steht, dass die ökologische Begleitforschung bei der Freisetzung von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen weitergeführt und intensiviert werden muss. Tatsache ist, dass dies international in einem bisher noch nie dagewesenen Ausmass – weder in der konventionellen Landwirtschaft noch im Bio-Landbau – auch gemacht wird.

6.3.2 Auswirkungen auf Nützlinge und Nicht-Ziel-Organismen

Ein zweiter, sehr wichtiger Aspekt bei der Beurteilung von transgenen, schädlings- oder krankheits-resistenten Pflanzen ist ihre potenzielle Wirkung auf Nützlinge und andere sogenannte Nicht-Ziel-Organismen. Wiederum am Beispiel Bt-Mais soll dieses Thema etwas näher betrachtet werden. Ende Mai 1999 wurde im Wissenschaftsjournal „Nature“ eine Laborstudie publiziert, die zeigte, dass Bt-Maispollen negative Auswirkungen auf die Larven von Monarch-Schmetterlingen hat. Der Artikel löste ein weltweites Medienecho und grosse Beunruhigung betreffend den Risiken von gentechnisch veränderten Pflanzen aus und führte sogar soweit, dass die zuständigen Behörden der EU verschiedene Zulassungsverfahren von transgenen Nutzpflanzen für Europa stoppten. Aufgrund der nachfolgenden Faktenzusammenstellung ist die Frage berechtigt, ob dieser Entscheid nicht zu voreilig gefällt wurde.

a) Losey-Studie zu Bt-Mais und Monarchfaltern

Um eine potenzielle Gefährdung von Monarch-Schmetterlingen, einem in den USA äusserst beliebten Nutzinsekt, durch den Verzehr von Bt-Maispollen (respektive dem darin enthaltenen Bt-Toxin) zu überprüfen, führte die Gruppe unter Prof. John Losey der Cornell Universität eine Fütterungsstudie im Labor durch. Dabei wurden befeuchtete Blätter der Seidenpflanze (engl. milkweed), einem weit verbreiteten Unkraut, mit Pollen von Bt-Mais und herkömmlichem Mais bepudert. Diese Blätter wurden anschliessend während vier

Tagen als einzige Nahrungsquelle an drei Tage alte Larven des Monarch-Schmetterlings, der sich normalerweise von verschiedenen Seidenpflanzenarten ernährt, verfüttert.

Die Studie zeigte, dass die Überlebensrate der Larven, die Blätter mit Bt-Pollen fressen, signifikant kleiner war als von solchen, die sich von Blättern mit normalen Maispollen oder ohne Pollen ernährten (56% gegenüber 100%). Die gefressene Blattmenge war bei den Blättern, die mit Bt-Pollen bepudert waren, signifikant kleiner (0.57) als bei Blättern mit normalen Pollen (1.12) oder ohne Pollen (1.61). Zudem war die Wachstumsrate der Raupen (Gewicht der überlebenden Larven), die auf Blättern mit Bt-Pollen lebten, geringer (0.16) als jene der Raupen auf Blättern ohne Pollen (0.38) [82].

Kritik an der Laborstudie von Losey et al.

Die Studie von Losey wurde in der Folge von zahlreichen Wissenschaftlern kritisiert, insbesondere da es sich um eine Laborstudie unter künstlichen Bedingungen handelt, die mit den in der Natur vorkommenden Verhältnissen nicht annähernd übereinstimmt. Der Autor der Arbeit selbst betonte, dass die Studie im Labor durchgeführt wurde, und dass es allein aufgrund dieser ersten Resultate unangemessen wäre, irgendwelche Schlussfolgerungen für das Risiko der Monarch-Populationen im Feld zu ziehen. („Our study was conducted in the laboratory and, while it raises an important issue, it would be inappropriate to draw any conclusions about the risk to monarch populations in the field based solely on these initial results.“)

Hier eine Auswahl der wichtigsten Kritik-Punkte:

- Die Pollenmenge auf den Seidenpflanzenblättern wurde nicht quantitativ bestimmt. Ein Vergleich mit ähnlichen Studien ist daher nicht möglich.
- Die verwendeten Bt-Maispollen stammten von der Bt11-Linie der Firma Novartis. Die zur Kontrolle verwendeten Nicht-Bt-Pollen stammten von einer anderen Maissorte.
- Die Raupen wurden im Versuch zwangsverfüttert, d.h. sie hatten keine Wahlmöglichkeit wie in der Natur, um beispielsweise Blätter mit wenig Pollen als Nahrung auszuwählen.
- Die Larven wurden nach vier Tagen Behandlung untersucht. Es fanden keine Beobachtungen über die Entwicklung der Larven bis zum Schmetterling statt.
- Maisfelder sind kein typischer Lebensraum von Monarch-Faltern. Hartnäckige Seidenpflanzen werden auf den Feldern wie andere Unkräuter durch Herbizide bekämpft. Die Weibchen legen ihre Eier vorwiegend auf kleine, freistehende Seidenpflanzen in Hecken, Gräben und Weiden und kaum auf den verbleibenden Unkräutern innerhalb des Maisfeldes.
- Der grösste Teil (90%) der relativ schweren Maispollen fällt in einem Abstand von wenigen Metern vom Feld zu Boden. Nur vereinzelt werden Maispollen durch den Wind über grössere Distanzen transportiert.
- Mais blüht nur während ca. 5-10 Tagen, d.h. die empfindlichen Monarch-Larven können nur in dieser kurzen Zeitspanne in Kontakt mit dem Bt-Toxin der Pollen kommen. Im Mittleren Westen der USA, dem Hauptanbaugebiet von Mais und dem Hauptverbreitungsgebiet des Monarch-Falters, sind die Monarch-Raupen gewöhnlich im Juni anzutreffen. Mais dagegen blüht dort erst zwischen Mitte Juli und Anfang August.
- Die Studie unternahm keinen Vergleich zu den Auswirkungen von Spritzungen mit konventionellen Insektiziden oder Bt-Sprays auf die Monarch-Larven. Statt dessen geht sie von einer extrem hohen Bt-Pollen-Belastung aus, die in der Natur nur selten vorkommt.

- Die Monarch-Schmetterling-Population hat in den USA von 1998 auf 1999 um 40% zugenommen, obwohl in der gleichen Zeit die Bt-Mais-Anbaufläche um rund 30% stieg.
- Die in der Studie beschriebenen, möglicherweise erheblichen Auswirkungen auf die Erhaltung der Monarch-Falter durch Bt-Pollen wirken im Vergleich zu anderen, tatsächlichen Gefahren realitätsfremd. Weitaus bedrohlicher sind für die Schmetterlinge die Zerstörung von Lebensraum in ihrem Winterquartier in Mexiko durch Abholzung und Spritzungen mit synthetischen, viel weniger spezifisch wirkenden Insektiziden sowie der Bekämpfung der als Unkraut geltenden Seidenpflanzen innerhalb der Landwirtschaft [81, 83].

b) Resultate aus verschiedenen Feldstudien

Aufgrund der in „Nature“ publizierten Resultate der Fütterungsstudie von Bt-Pollen an Monarch-Falter untersuchten verschiedene Forschungsteams den Einfluss von gentechnisch veränderten Maispollen auf die Schmetterlingslarven in Feldstudien unter natürlichen Bedingungen. Das effektive Risiko, das von einem Pestizid ausgeht, wird immer bestimmt durch seine Toxizität (Giftigkeit für einen bestimmten Organismus) und dem Mass der Aussetzung (d.h. wie oft und wie stark der Organismus mit dem Pestizid in Kontakt tritt).

Genau diesem Aspekt – wie stark Monarch-Larven im Freiland den Bt-Maispollen ausgesetzt sind – widmete sich eine Feldstudie aus Kanada unter der Leitung von Dr. Mark Sears der Universität von Guelph, die von der Kanadischen Regierung unterstützt wird. Dabei bestätigten die vorläufigen Resultate des ersten Sommers in Übereinstimmung mit oben genannten Kritik-Punkten, dass das Risiko für frisch geschlüpfte Monarch-Raupen, durch das Toxin von Bt-Maispollen (der Sorte Bt 176 von Novartis) geschädigt zu werden, sehr gering ist.

Folgendes waren die Schlüssel-Resultate:

- Der weitaus grösste Teil der Pollen fällt innerhalb weniger Meter vom Maisfeld zu Boden (ca. 90% innerhalb von 5 Metern).
- Die durchschnittlich auf den Seidenpflanzenblättern gefundene Anzahl Bt-Pollen aus dem Innern des Maisfeldes (78 Körner pro cm^2) oder vom Maisfeldrand (26 Körner pro cm^2) war tiefer, als die aufgrund der Fütterungsstudien an Monarch-Larven ermittelten toxischen Mengen ($\text{LD}_{50} = 389$ Körner pro cm^2). Bei tieferen Pollen-Konzentrationen (133 Körner pro cm^2) war die Sterberate der Larven gleich wie in der Kontrollgruppe, der Nicht-Bt-Pollen verfüttert wurden. Nur 5 Meter vom Rand des Maisfeldes entfernt fanden sich praktisch keine Maispollen mehr (1.4 Körner pro cm^2).
- Seidenpflanzen treten in Naturschutzgebieten häufiger auf als in landwirtschaftlichen Anbaugebieten, wobei Strassenränder hier eine Ausnahme bilden.
- Erste Daten zeigten keine grössere zeitliche Überlappung von Maisblüte mit Pollenflug und dem Auftreten der empfindlichen Larven-Stadien des Monarch-Falters in Ontario im Jahre 1999 [81, 84].

Zu sehr ähnlichen Resultaten aus dem Feld gelangten verschiedene andere Studien aus den USA, die vergangenen November am Monarch Butterfly Research Symposium in Chicago präsentiert wurden, sowie Untersuchungen des japanischen Ministeriums für Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei [83, 85]. Entgegen den Befürchtungen aufgrund der im Labor beschriebenen Toxizität von Bt-Maispollen für Monarch-Larven zeigten alle bisher durchgeführten Feldstudien, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Kontakt von

Monarch-Larven mit Bt-Pollen klein ist, und dass der Einfluss auf die Monarch-Schmetterlinge generell sehr klein ist. Von einer Bedrohung des Monarch-Falters durch Bt-Mais kann jedenfalls nicht ausgegangen werden.

c) Hansen/Obrycki-Studie zu Bt-Mais und Monarchfaltern

Substanziell nur wenig Neues brachte die neueste Studie zu diesem Thema von Obrycki et. al. der Iowa State University vom April 2000. Auch in dieser Untersuchung, einer Fütterungsstudie unter Laborbedingungen mit Feldproben, verfütterten die Forscher Blätter von Seidenpflanzen mit darauf abgelagerten Bt-Maispollen als einzige Nahrungsquelle an die Larven des Monarch-Falters. Untersucht wurde die Überlebensrate der Larven nach (a) weniger als 12 Stunden bzw. (b) 12 bis 36 Stunden Entwicklungszeit beim Verzehr von Bt-Maispollen mit einer Konzentration von 14 Pollen/cm², 135 Pollen/cm² und 1'300 Pollen/cm² (die inmitten des Maisfeldes gemessenen Pollenkonzentrationen waren 74-217 Pollen/cm² für 1998 und 80-115 Pollen/cm² für 1999).

Bei den beiden höheren Pollenkonzentrationen zeigte sich eine um rund 20% erhöhte Mortalität, wenn sich die Larven während 48 Stunden von Blattmaterial mit Pollen der Bt-Maissorte 176 ernährten im Gegensatz zur Probe mit Nicht-Bt-Pollen oder gewaschenen Blättern. Eine Korrelation der Sterberate mit der Pollenkonzentration auf dem Blattstück oder dem Standort der Seidenpflanze konnte hingegen nicht festgestellt werden. Entwicklungszeit und Charakteristika der adulten Larven, welche die 48-Stunden-Fütterung überlebt hatten, zeigten keine Veränderungen durch die Bt-Maispollen. Aus diesen Resultaten prognostizieren die Forscher, dass transgene Bt-Maispollen negative Effekte auf den Monarchfalter in und am Rande von Bt-Maisfeldern haben werden [86].

Kritik an der Hansen/Obrycki-Studie

Ein grundsätzlicher Kritikpunkt zur Studie von Obrycki et al. liegt darin, dass es kaum möglich ist, zuverlässige Prognosen über ökologische Effekte im Feld aufgrund von grösstenteils Laborresultaten unter unnatürlichen Bedingungen aufstellen zu können. Für biologische Studien dieser Art werden in der Regel Hunderte von Larven untersucht, um eine realistische Probenanzahl auswerten zu können. In dieser Studie wurden nur 35 Larven während 48 Stunden mit Blattproben mit Pollen von Bt-Mais 176 gefüttert. Von den 35 Larven starben 20% oder 7 Larven. Aufgrund der kleinen getesteten Populationszahl könnten andere Faktoren wie Handhabung und Transport zur erhöhten Mortalität beigetragen haben. Die Autoren konnten selber keine Korrelation zwischen Dosis und Sterblichkeit feststellen.

Unklar ist, warum derart hohe Pollenkonzentrationen (1'300 Pollen/cm²) getestet wurden, obwohl die im Feld nachgewiesenen zwischen 74-217 Pollen/cm² lagen und eine Mortalität bei den Larven bei Konzentrationen zwischen 10-306 Pollen/cm² beobachtet wurde. Und auch Konzentrationen von 135 Pollen/cm² dürften, abgesehen vom Maisfeld selber, in dem gewöhnlich nur wenige Seidenpflanzen wachsen, in der Natur nur selten zu finden sein.

Wie schon in anderen Studien gezeigt, war der Effekt bei der Sorte Bt-Mais 176 am grössten, da hier der Gehalt an Bt-Toxin bedeutend höher ist (1999 wurden jedoch nur 2% der nordamerikanischen Maisanbaufläche mit dieser Sorte bepflanzt, und im Anbaujahr 2000 wird es schätzungsweise rund 1% der Maisanbaufläche sein) [87].

Die am Monarch Butterfly Research Symposium in Chicago präsentierten, internationalen Feldstudien sind noch nicht publiziert. Die Arbeiten sollen Ende Sommer beendet werden, um Daten aus zwei Anbaujahren (1999-2000) auswerten zu können. Bisherige Ergebnisse aus dem Feld lassen den Schluss, Bt-Maisfelder haben negative Effekte auf Monarch-Populationen, nicht zu. Trotzdem geben die Laborresultate erste Hinweise und bestätigen die Anstrengungen, Effekte von insektenresistenten transgenen Nutzpflanzen auf Nicht-Ziel-Organismen in und in der Umgebung der Felder in mehrjährigen Monitoring-Programmen zu untersuchen. Als Entscheidungshilfen für politische Beschlüsse sollten sie jedoch nicht herbeigezogen werden. Entscheidend sind hierzu reine Feldstudien mit statistisch gesicherten Zählungen der Nützlingsinsekten. Vermehrt gefördert sollten zudem direkte Vergleiche zwischen verschiedenen agronomischen Strategien, ihren ökologischen Nutzen und Risiken.

d) Wichtige Forschungsarbeiten zum Studium der Wirkung von Bt-Mais auf Nicht-Ziel-Organismen

Die Wirkung von Bt-Maissorten auf verschiedene andere Nützlinge und sogenannte Nicht-Ziel-Organismen wurde bisher in zahlreichen Studien untersucht. Nachfolgend sind die wichtigsten Arbeiten und Resultate in einer 1999 von Novartis zusammengestellten Übersicht tabellarisch zusammengestellt [88]:

Untersuchte Organismen	Angewandte Form des Bt-Eiweisses CryIA(b)	Studien-Design	Resultate	Autoren
Grosser Wasserfloh	Pollen von Bt176-Mais	Laborstudie	Kein Effekt, Wasserflöhe von allen Gruppen normal	Springborn Laboratories ¹⁾
Regenwürmer	Bt176-angereichertes Maisblätter-Protein	Laborstudie	Kein Effekt auf Überlebensrate, keine Anzeichen von Toxizität	Springborn Laboratories ¹⁾
Larven des Marienkäfers	Pollen von Bt176-Mais	Laborstudie	Keine Unterschiede bzgl. Überlebensfähigkeit und Entwicklungszeit der Larven zwischen Fütterung mit Bt- und Nicht-Bt-Maispollen (Unterschiede zwischen Pollen-Diät und optimaler Diät mit Erbsen-Blattläusen)	Iowa State University ¹⁾
Larven des Marienkäfers	Pollen von Bt176-Mais	Laborstudie	Keine statistisch signifikanten Unterschiede bzgl. Überlebensfähigkeit und Entwicklungszeit der Larven	Pilcher et al. (1997)
Larven der Honigbiene	Bt176-Maispollen und ein Tropf Wasser als alleinige Nahrungsquelle	Laborstudie	Keine Unterschiede bzgl. Entwicklungszeit der Bienenlarven, keine Effekte auf das Verhalten	California Agricultural Research ¹⁾

Honigbienen	Pollen von ganzen Bt176-Maispflanzen	Halb-Feldstudie	Kein Einfluss von Bt-Mais auf Sterblichkeit und Verhalten der Bienen	Schur et al. (2000)
Springschwänze	Bt176-angereichertes Maisblätter-Protein	Laborstudie	Maximale akzeptable Toxin-Konzentration (MATC) zwischen 125-250 mg Protein/kg Erde	Springborn Laboratories ¹⁾
Verschiedene Populationen von Nicht-Ziel-Insekten (Zweiflügler, Hautflügler, Gleichflügler, Käfer)	Ganze Bt176-Maispflanzen	Feldstudie	Keine Unterschiede bzgl. Gesamtanzahl der Insektenpopulationen oder Anzahl Insekten innerhalb einer spezifischen Gruppe	Novartis (1993)
Verschiedene Populationen von Nicht-Ziel-Insekten (Zweiflügler, Hautflügler, Schmetterlinge, Käfer)	Ganze Bt176-Maispflanzen	Feldstudie	Keine signifikanten Unterschiede der untersuchten Insektenpopulationen	Novartis (1994)
Natürliche Schädlingspopulationen des Maiszünslers	Ganze Bt176-Maispflanzen	Feldstudie	Kein Einfluss auf Befall, Parasitierung oder Abstreifung der Maiszünsler-Eier; keine Unterschiede in der Häufigkeit der Feindpopulationen	Orr et al. (1997)
Über 200 Arten von am Boden und auf Pflanzen lebenden sowie fliegenden Gliederfüßern	Ganze Bt176-Maispflanzen	Feldstudie von 1998	Keine Effekte auf Anzahl und Populationsentwicklung sämtlicher untersuchter am Boden und auf Pflanzem lebenden Insektenarten, z.T. leichte (statistisch nicht signifikante) Reduktion der Fluginsekten im Feld	Candolfi et al. ¹⁾ (Publikation in Vorbereitung) [89]
Sekundäre Schmetterlings-schädlinge	Ganze Maispflanzen verschiedener Bt176-Sorten	Feld- und Laborstudie	Keine Effekte auf die Eulenfalter-Larven <i>Agrotis ipsilon</i> und <i>Papaipema nebris</i> , bei <i>Pseudaletia unipuncta</i> leicht geringeres Gewicht der Puppen, verzögerte Entwicklungszeit und tendenziell tiefere Überlebensfähigkeit bei der Aufzucht mit Bt-Mais-Blattextrakten (erwartungsgemäss für Ziel-Organismen von Bt-Toxinen)	Pilcher et al. (1997)

Raubinsekten (Marienkäfer, Raubwanzen und Florfliegen)	Pollen von Bt-Maissorten	Feld- und Laborstudie	Keine akut schädlichen Effekte der Bt-Pollen auf Entwicklung, Vorkommen auf dem Feld und Überlebensfähigkeit der 3 untersuchten Raubinsekten-Arten	Pilcher et al. (1997)
Larven des Monarch-Schmetterlings	Pollen von Bt11-Mais, mit denen Seidenpflanzen-Blätter künstlich bepodert wurden	Laborstudie	Höhere Sterblichkeit bei Larven gefüttert mit Seidenpflanzen-Blättern mit Bt-Pollen	Losey et al. (1999)
Larven des Monarch-Schmetterlings	Pollen, der auf Seidenpflanzenblätter in und am Rand eines Bt176-Maisfeldes fiel	Laborstudie	Höhere Sterblichkeit bei Larven gefüttert mit Seidenpflanzen-Blättern mit Bt-Pollen	Hansen und Obrycki (1999)
Larven des Monarch-Schmetterlings	Bt-Pollen-Kontakt unter Feldbedingungen	Feldstudie	Laufendes Forschungsprojekt	Gremium von universitären und unabhängigen Forschern ²⁾
Florfliegen und andere Raubinsekten (Nützlinge)	Ganze Bt176-Maispflanzen	Zweijährige Feldstudie und Laborstudie	Keine Effekte auf Anzahl und Sterblichkeit der untersuchten Nützlingsarten	Pilcher et al. (1997)
Blattläuse und Florfliegen	Blätter von Bt176-Maispflanzen	Laborstudie	Keine Effekte der Bt-Maispflanzen auf Entwicklungszeit, Fruchtbarkeit und Überlebensfähigkeit der Blattläuse, kein Einfluss der mit Bt-Mais gefütterten Blattläuse auf Entwicklung und Sterblichkeit der Florfliegen	Lozzia et al. (1998)
Verschiedene Gliederfüßer inkl. Florfliegen	Ganze Bt176-Maispflanzen	Zweijährige Feldstudie	Keine Unterschiede in der Anzahl Insekten der untersuchten Populationen	Lozzia et al. ¹⁾ (1998)
Larven der Florfliege	Maiszünsler-Larven, die sich von Bt176- und Nicht-Bt-Mais ernährten	Laborstudie	Höhere Sterblichkeit der Florfliegenlarven in der Bt-Mais-Gruppe	Hilbeck et al. (1998)
Larven der Florfliege	Gereinigtes Bt-Toxin auf spezieller Trägersubstanz	Laborstudie	Höhere Sterblichkeit der Florfliegenlarven gefüttert mit Bt-Toxin, keine Unterschiede bzgl. Entwicklungszeit	Hilbeck et al. (1998)

Laufkäfer	Ganze Bt176-Maispflanzen	Zweijährige Feldstudie	Keine signifikanten Unterschiede der untersuchten Käferpopulationen bei Bt-Mais und Nicht-Bt-Mais	Lozzia et al. ³⁾ (1999) [90]
Spinnmilben	Blätter von Bt176-Maispflanzen	Laborstudie	Keine Unterschiede auf Überlebensfähigkeit und Entwicklung der untersuchten Spinnmilbenart	Lozzia ³⁾ (2000) [91]

¹⁾ Von Novartis unterstützte Studien

²⁾ Von verschiedenen Firmen unterstützte Studien

³⁾ Neuere, nicht in der Literaturübersicht von Novartis enthaltene Studien (siehe 8. Literatur)

Aus der obigen Zusammenstellung der bisher publizierten Studien geht hervor, dass Nicht-Ziel-Organismen (inklusive Nutzinsekten) auf dem Feld durch Bt-Maispflanzen nicht geschädigt werden. Einzig in einigen Fütterungsstudien unter künstlichen Bedingungen im Labor konnten gewisse schädliche Effekte auf Nutzinsekten (z.B. grüne Flurfiegen) gezeigt werden, die im Freiland bisher jedoch nie beobachtet werden konnten.

Im Gegensatz dazu hat die Verwendung konventioneller Insektizide zum Teil dramatische Effekte auf die Gesamtanzahl der Insekten und auf die Anzahl verschiedener spezifischer Insektengruppen (inklusive Nutzinsekten) im Vergleich zu unbehandelten Feldern. Von besonderem Interesse sind diesbezüglich die Resultate einer grossangelegten Feldstudie, die 1998 im Auftrag von Novartis im französischen Burgund vom Forschungsteam unter Dr. Marco Candolfi durchgeführt wurde. In dieser Feldstudie wurde der Einfluss von Bt-Mais (Bt176), einem synthetischen Insektizid (Karate Xpress) und einem Bt-Spray (Delfin WG) auf über 200 verschiedene Gliederfüsser-Arten von am Boden und auf Pflanzen lebenden sowie fliegenden Insekten direkt miteinander verglichen. Während beim synthetischen Insektizid statistisch signifikante, negative Effekte auf zahlreiche Gliederfüsser und beim Bt-Spray geringere Effekte auf einige der auf Pflanzen lebenden Insekten festgestellt werden konnten, hatte der Bt-Mais keine negativen Auswirkungen auf die im Boden und auf Pflanzen lebenden Gliederfüsser. Einzig bei den Fluginsekten konnten einige Tendenzen (leicht verminderte Populationen von Fluginsekten im Versuchsfeld), statistisch jedoch nicht signifikante Effekte beobachtet werden [89].

Der Anbau von Bt-Maissorten hilft daher, die Populationen diverser Nutzinsekten-Arten zu erhalten, die durch die Anwendung chemisch-synthetischer Spritzmittel bedroht wären.

6.4 Bekämpfung von Pilzkrankheiten

6.4.1 Problematische Kupferanwendung im Bio-Landbau

Pilzkrankungen stellen im Obst-, Wein-, Gemüse-, Kartoffel-, Weizen- und Hopfenanbau – auch in der Schweiz und insbesondere in feuchten Jahren – ein schwerwiegendes landwirtschaftliches Problem dar, für das heute zum Teil nur sehr unbefriedigende Lösungen zur Verfügung stehen. Während in der konventionellen und der integriert produzierenden Landwirtschaft vorwiegend Fungizide (chemische

Pilzbekämpfungsmittel) zur Bekämpfung der Pilzerreger zur Anwendung kommen, werden im Bio-Landbau, wo die Verwendung chemisch-synthetischer Hilfsmittel verboten ist, auch heute noch häufig anorganische Kupfer- und Schwefelpräparate gespritzt. Die pilzabtötende Wirkung des Schwermetalls Kupfer wurde bereits 1761 entdeckt. Kupfer, insbesondere Kupfer-Sulfat, wird beispielsweise zur Bekämpfung des Pilzes *Phytophthora infestans* (Erreger der Kraut- und Knollenfäule) im biologischen Kartoffelanbau oder gegen die Schaderreger Echter (*Uncinula necator*) und Falscher Mehltau (*Plasmopara viticola*) sowie Graufäule (*Botrytis cinerea*) im Bio-Rebbau eingesetzt [1, 69, 92, 93, 94].

Die Höchstmengen an Reinkupfer, die gemäss BIO SUISSE-Richtlinien pro Jahr und Hektare eingesetzt werden dürfen, sind: Kernobst 1.5 kg, Steinobst 4 kg, Beerenobst 2 kg, Gemüse 4 kg, Kartoffel 4 kg, Weinbau 4 kg und Hopfenanbau 4 kg. Für die integrierte Produktion gilt ebenfalls ein jährlicher Maximalwert von 4 kg/ha Kupfer, wobei den IP-Bauern je nach Problem und Kultur weitere 80 chemisch-synthetische fungizide Wirkstoffe zur Verfügung stehen [4, 69].

Mehr als 150 Jahre lang wurden in der Schweizer Landwirtschaft aber jährlich über 30 kg Kupfer pro Hektare gespritzt. Problematisch ist Kupfer in zweierlei Hinsicht. Erstens ist es in höheren Konzentrationen giftig für Säugetiere inklusive Menschen und kann zu Nieren-, Leber- oder Magen-Darm-Schädigungen führen. Zweitens reichert sich Kupfer, da es kaum abgebaut wird, in den Böden an und wirkt sich negativ auf die Bodenfruchtbarkeit aus, weil es mitunter für Bodenwürmer sehr toxisch ist [8, 69].

Eine 1998 abgeschlossene Studie des Landwirtschaftlichen Zentrums Ebenrain in Sissach, bei der über zehn Jahre lang die Baselbieter Böden auf Schwermetalle hin untersucht wurden, stellt fest, dass sich „eine Tendenz zur Anreicherung von Kupfer von Böden unter Obstbau beobachten“ lässt. Gemäss den Studienautoren gelangt das Schwermetall mit den Pflanzenschutzmitteln oder mit der Gülle in den Boden, da Kupfer auch dem Tierfutter in Spuren beigefügt wird [69]. Das Problem der Anreicherung von giftigen Schwermetallen wie Cadmium, Blei und Quecksilber in biologisch bebauten Böden wurde kürzlich auch von niederländischen Wissenschaftern gezeigt.

Kupfer und Blei in konventionell und biologisch produzierten Weinen

In einer anderen Studie vom Herbst 1999 untersuchte das Laboratorium der Urkantone die Mengen an Pestizidrückständen, schwefliger Säure, Sorbinsäure, Blei und Kupfer in biologisch und konventionell gewonnen Weinen. Über die erzielten Resultate berichtete eine Kassensturzsending am 16. Mai 2000 unter dem Titel: „Biowein: verbotene Chemie statt Natur pur“ sowie die Ausgabe vom 17. Mai 2000 des Konsumentenmagazins „K-Tip“.

Von 83 getesteten in- und ausländischen Bio-Weinen wiesen 51 Produkte im Bio-Landbau nicht zugelassene Pestizid-Rückstände auf. Bei den 31 untersuchten Schweizer Proben waren gar in 29 Schädlingsbekämpfungsmittel nachweisbar [95]. Die gefundenen Kupfer- und Bleiwerte sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst:

Vergleich von Blei- und Kupfergehalt in biologisch und konventionell gewonnen Weinen

Prüfgegenstand	Kupfer mg/kg	Blei mg/kg
Bestimmungsgrenze (BG)		0.025
Toleranzwert für Wein	1	0.1
Grenzwert für Wein		0.3
Konventionell produzierte Weine (n=15)	Kupfer mg/kg	Blei mg/kg
Anzahl Proben mit Rückstand (>BG)	15	2
Median aller Proben mit Rückstand (>BG)	0.122	0.013
Mittelwert aller Proben mit Rückstand (>BG)	0.144	0.019
Maximalwert	0.338	0.064
Biologisch produzierte Weine (n=83)	Kupfer mg/kg	Blei mg/kg
Anzahl Proben mit Rückstand (>BG)	82	36
Median aller Proben mit Rückstand (>BG)	0.151	0.013
Mittelwert aller Proben mit Rückstand (>BG)	0.225	0.029
Maximalwert	0.890	0.202

Im Vergleich mit konventionellen Weinen enthalten Bio-Weine durchschnittlich 56% mehr Kupfer und 57% mehr Blei. Gemäss Aussagen des zuständigen Kantonschemikers stellen die gefundenen Kupfer-Werte jedoch kein gesundheitliches Problem dar, da sie rund 10 Mal unter dem gesetzlich zugelassenen Toleranzwert von 15 mg/kg liegen, und sich der Kupferstatus der Schweizer Bevölkerung eher beim Minimum-Wert befindet.

Weit problematischer ist Kupfer – wie bereits mehrfach erwähnt – im Zusammenhang mit der Bodenfruchtbarkeit. In gewissen Anbaugebieten von Bordeaux-Weinen können heute junge Reben gar nicht mehr anwachsen, da ein zu hoher Kupfergehalt den Boden unfruchtbar gemacht hat [96].

In Europa soll aufgrund der ökologischen und gesundheitlichen Problematik gemäss EU-Kommission die Kupferanwendung im Jahre 2002 aus der Positivliste in der Ökoverordnung 2092/91 gestrichen werden. Obwohl die Schweiz noch kein Mitglied des Staatenbundes ist, ist davon auszugehen, dass sich die schweizerischen Bio-Bauern den europäischen Vorschriften anpassen müssen und die Anwendung von Kupfersulfat ebenfalls verbieten, falls sie ihre Produkte auch im Ausland vermarkten wollen [69].

Obschon im Bio-Landbau verschiedene Ansätze für eine ökologischere Pilzbekämpfung wie die Verwendung von schwefelhaltigen Tonerdepräparaten, schorfresistente Sorten im Bio-Obstbau, Aktivierung von pflanzeigenen Resistenzen durch Natursubstanzen (induced resistance) oder Resistenzinduktion durch geeignete Bodenbewirtschaftungsmassnahmen (Düngung, Bodenbearbeitung oder Bodenfruchtbarkeit) bestehen, gibt es kaum alternative Pflanzenschutzmittel, die ähnlich wirksam sind wie Kupfer. Die meisten dieser Mittel sind entweder nicht während der ganzen Vegetationsperiode einsetzbar oder im Vergleich zu Kupfer massiv teurer und daher unwirtschaftlich. Und die Anwendung von Schwefel wirkt in grösseren Konzentrationen auch gegen nützliche Raubmilben, was einen vermehrten Schädlingsbefall zur Folge haben kann. Zudem befindet sich die Bio-Forschung auf diesem Gebiet erst an ihrem Anfang.

Auch eine von FiBL, Öko-Institut (Freiburg im Breisgau, D) und Blauen-Institut publizierte Studie kommt zum Schluss, dass ein Verbot der Kupferanwendung den Bio-Landbau vor grosse Probleme stellen dürfte: „Das bevorstehende EU-weite Verbot des Kupfereinsatzes nimmt dem biologischen Rebbau sowie anderen Kulturen wie Obst-, Kartoffel- und Hopfenanbau das wirksamste biokonforme Fungizid. Falls Alternativen nicht rechtzeitig bereitgestellt werden können, dürfte dies in Europa zu einer massiven Beeinträchtigung des Bio-Landbaues führen.“ [69, 97].

6.4.2 Gentechnische Strategien

In der Schweiz und anderen europäischen Ländern laufen zahlreiche Forschungsprojekte, in denen an einem Krankheitsschutz gegen gefährliche Pilzinfektionen bei typisch schweizerischen landwirtschaftlichen Produkten wie Kartoffeln, Weizen oder Reben geforscht wird. Gerade in diesem Bereich, in dem die bisherigen Anstrengungen der traditionellen Züchtung oder des Bio-Landbaus an ihre Grenzen stossen, eröffnet die Gentechnik neue interessante Möglichkeiten für einen nachhaltigen Pflanzenschutz.

a) Pilzresistenz bei Kartoffeln

Die Kartoffel ist mit rund 12'000 Hektaren Anbaufläche eine der wichtigsten Kulturpflanzen der Schweizer Landwirtschaft, obwohl der Kartoffelanbau hierzulande seit Jahren stark rückläufig ist und nicht einmal mehr den Inlandbedarf deckt [98]. *Phytophthora infestans*, der Pilz, der die Kraut- und Knollenfäule verursacht, ist der gefürchtetste Schaderreger im Kartoffelanbau. Jährlich werden allein in der Schweiz gegen diese Krankheit über 50 Tonnen Pilzbekämpfungsmittel (Fungizide) eingesetzt.

Ein Netzwerk von sieben Forschungsgruppen beschäftigt sich im Rahmen des Schwerpunktprogramms Biotechnologie (Gruppe „Kartoffeln“, Modul „Biotechnologie der höheren Pflanzen“) in der Schweiz an der gentechnischen Züchtung von krankheitsresistenten Kartoffeln. Die Ziele sind genau definiert und praxisbezogen. Dabei werden drei verschiedene Strategien verfolgt, um die Kartoffeln gegen Pilzattacken zu schützen:

- Synthese von Proteinen wie Thionin, Glucanase oder Chitinase, welche die Vermehrung der Pilze in der Pflanze verhindern.
- Synthese von Enzymen wie Oxalatoxidase, welche als Signalmoleküle die generelle Pflanzenabwehr starten.
- Synthese oder Hemmung von Enzymen, die an der Infektionsstelle gebildet werden und die rasche Ausbreitung der sogenannte Nekrose (Zelltod) einleiten. Bei diesem Ansatz werden bewusst einige Kartoffelzellen geopfert, um die Fortschreitung der Infektion zu verhindern.

Inzwischen konnten verschiedene Kartoffelpflanzen gezüchtet werden, die im Labor eine erhöhte Krankheitsresistenz gegenüber der Kraut- und Knollenfäule aufweisen. Ob sie sich unter Anbaubedingungen und nicht nur im Labor ausreichend vor dem Pilzbefall schützen können, müssten nun Freilandversuche zeigen [93].

b) Pilzresistenz beim Weizen

Jährlich werden in der Schweiz für die Pilzbekämpfung bei Kulturpflanzen etwa 1'000 Tonnen Fungizide eingesetzt. Ein Drittel dieser Menge entfällt auf den Getreideanbau, was alleine bei Weizenkulturen Kosten von rund 50 Millionen Franken verursacht.

Insgesamt vier Arbeitsgruppen arbeiten in der Schweiz in der Gruppe „Weizen“ des Schwerpunktprogramms Biotechnologie mit gentechnischen Methoden an der Züchtung von pilzresistenten Weizensorten mit dem Ziel, die Menge an chemischen Fungiziden drastisch zu reduzieren. Der Schwerpunkt der Forschung liegt auf der Resistenzzüchtung gegen Pilzkrankheiten wie Mehltau, Braunrost, Stinkbrand, Flugbrand und Spelzenbräune. Dabei dienen gentechnische Methoden unter anderem der Identifizierung und Charakterisierung von natürlichen Resistenzgenen beim Weizen zur Unterstützung der konventionellen Züchtung.

Andere Projekte beschäftigen sich mit der Übertragung von Genen gegen Pilzerreger aus der Gerste. Interessant sind dabei die Gene für Enzyme wie Chitinasen oder Glucanasen, welche die Zellwand von Pflanzenpathogenen angreifen und den Pilz schwächen, oder solche, deren Produkte die Eiweissproduktion des Pilzes und somit die Entwicklung des Erregers hemmen. Mit Hilfe des Einbaus von sogenannten Steuerungssignalen wird versucht, die Abwehrgene im Weizen schon vor einer Infektion zu aktivieren, damit die Pflanze ständig vor dem Pilzbefall geschützt ist – vergleichbar mit einer Art Impfung. Obwohl auch eine klassische Kreuzung aus Gerste und Weizen denkbar wäre, ist sie aufgrund der mitübertragenen, unerwünschten Eigenschaften agronomisch uninteressant. Zudem ist der Arbeitsaufwand dazu sehr gross. Gegen den Mehltau beim Weizen konnten bisher zwölf vielversprechende Gene identifiziert werden, die zum Teil im Labor eine gute Abwehrwirkung zeigten. Auch gegen Brand-Krankheiten fanden die Forscher mehrere potenzielle Resistenzgene, die via Gentransfer in Weizensorten eingebaut wurden. Ziel ist es nun, die transgenen Weizensorten über mehrere Generationen weiter zu beobachten, um zu testen, ob die eingeführten Gene die Pilzabwehr dauerhaft erhöhen. Entscheidend ist, dass diese Sorten nicht nur im Labor, in Klimakammern oder im Gewächshaus getestet werden können, da Experimente unter simulierten Bedingungen aus wissenschaftlicher Sicht zu wenig aussagekräftig für eine spätere praktische Anwendung sind. Erklärtes Ziel der Forscher ist es daher, die Pflanzen in Zukunft auch unter natürlichen Bedingungen im Freiland zu testen [99].

Gentechnische Methoden eröffnen der klassischen Züchtung neue Möglichkeiten, um den Landwirten in vernünftigen Zeiträumen neue, weniger anfällige Sorten zur Verfügung zu stellen. Krankheitsresistente Weizensorten sind dabei nicht nur ökologisch sinnvoll, sie sind auch für die Gesundheit der daraus produzierten Lebensmittel von Vorteil, da sie einerseits keine Rückstände von Pestiziden enthalten und andererseits im Erntegut bedeutend weniger von Krankheitserregern produzierte Toxine vorhanden sind [69, 92].

c) Pilz- und Virusresistenz beim Rebbau

Der Weinbau gehört vor allem durch die im 19. Jahrhundert aus Nordamerika eingeschleppten Schadpilze (Echter und Falscher Mehltau) zu den spritzmittelintensivsten Kulturen. In der Schweiz wurden 1994 auf einer Fläche von 15'000 Hektaren für 22 Millionen Franken Pflanzenschutzmittel ausgebracht, etwa zwei Drittel dieser Summe allein für Fungizide.

Seit Juli 1999 werden in Deutschland auf den Versuchsanlagen des Instituts für Rebenzüchtung Geilweilerhof Freisetzungsversuche mit gentechnisch veränderten Reben durchgeführt. Die transgenen Reben (Sorten Riesling, Dornfelder und Seyval blanc) tragen ein Chitinase- und ein sogenanntes Ribosomen-inaktivierendes-Protein-Gen (RIP) aus Gerste, die beide Pilzresistenz gegen den Echten und Falschen Mehltau sowie gegen den Grauschimmel verleihen. Das Enzym Chitinase baut – wie bereits geschildert – bestimmte Zellwandbestandteile bei Schadpilzen ab; das RIP hemmt die Eiweissynthese im Pilz und soll die Reben auch vor Falschem Mehltau schützen, dessen Zellwände kein Chitin enthalten. Ob sich die transgenen pilzresistenten Reben bewähren und die heute je nach Lage und Klima üblichen bis zu 10 Spritzungen allein gegen Pilzbefall deutlich zu reduzieren vermögen, lässt sich gemäss den verantwortlichen Wissenschaftlern erst in etwa 25 Jahren mit Sicherheit sagen [100].

In der Schweiz arbeiten verschiedene Forschungsteams an gentechnisch veränderten Rebstöcken, die sich selbst vor Virenbefall schützen. Zwei bedeutende Viruserkrankungen bei Reben können beträchtliche, irreparable Schäden anrichten und führen im Extremfall zu Ernteaufschlägen von bis zu 80%. Die Viren GFVL (Virus der Kurzknötigkeit der Rebe) und ArMV (Arabis Mosaik Virus) – bekannt unter dem Namen Reisigkrankheit – werden von Fadenwürmern (Nematoden) im Boden übertragen. Da gegenwärtig bei der Rebe keine brauchbare Resistenz gegen die Reisigkrankheit oder ihre Überträger bekannt ist, kann man heute die befallenen Rebstöcke lediglich ausgraben und vernichten. Ziel der Genforscher ist es, die Reben durch den Einbau eines Gens des Hüllproteins der Viren gegen den Virenbefall zu „impfen“. Diese Methode wurde bereits erfolgreich bei mehreren Nutzpflanzen angewendet. Dabei werden die transgenen, gegen den Virenbefall aus dem Boden widerstandsfähigen Reben als Wurzelstöcke verwendet, die als Unterlage für verschiedene Rebsorten dienen. Auf diese Unterlagsreben könnten regional erwünschte Weinsorten aufgepfropft werden, deren Trauben durch den transgenen Wurzelstock gegen die Viren geschützt, selber aber nicht gentechnisch verändert sind [69].

6.5 Ökologische Benefits der Gentechnik

Die biologische Landwirtschaft birgt im ökologischen Bereich unbestrittenermassen verschiedene Vorteile. An erster Stelle stehen hier die Massnahmen zur Erhaltung und Steigerung der natürlichen Bodenfruchtbarkeit, basierend auf einer weniger intensiven Bewirtschaftung der Böden, dem verminderten Gebrauch an synthetischen Pflanzenschutzmitteln und Düngern sowie der Entwicklung hin zu gemischten Landwirtschaftsbetrieben (Pflanzenproduktion und Viehwirtschaft), wodurch der Anteil der organischen Masse in den Böden und das Auftreten von Bodenorganismen erhöht werden kann. Zudem hat die Tendenz zu vielseitigeren Anbaumustern und die Förderung von ökologischen Ausgleichsflächen das Potenzial, die Biodiversität in und um die biologisch bebauten Flächen zu steigern.

Dennoch wäre es wohl kaum gerechtfertigt, den Bio-Landbau als das einzige System zum Erreichen einer nachhaltigen Landwirtschaft zu bezeichnen. Das britische Institute of Arable Crop Research (IACR) äusserte sich dazu folgendermassen: „Jedes landwirtschaftliche System, sei es konventionell, integriert oder biologisch, kann dieselben Umweltvorteile erzielen, welche durch den Bio-Landbau angestrebt werden („Any farming system, whether it be conventional, integrated or organic, can achieve the environmental benefits that organic farming aims to achieve“) [8].

Im Gegensatz zur Bio-Landwirtschaft konzentriert sich die Debatte um gentechnisch veränderte Nutzpflanzen – speziell in Europa – häufig auf denkbare negative Effekte, die vielleicht morgen entstehen könnten, während die bereits heute bestehenden Vorteile schlicht ignoriert werden. Allen Unkenrufen zum Trotz sind die jährlichen Zuwachsraten beim kommerziellen Anbau transgener Kulturpflanzen imposant (siehe Kapitel 2.6). Immer mehr Landwirte entscheiden sich also für den Anbau gentechnisch veränderter Pflanzensorten. Dieser Zuwachs reflektiert die Zufriedenheit der Landwirte mit den neuen Produkten. Folgende Faktoren werden von den Landwirten als Vorteile der transgenen Sorten angegeben: Verhinderung von Ertragsverlusten, grössere Flexibilität bei der Wahl der Fruchtfolge, höhere Hektarerträge, Kostenreduktion und erhöhte Umweltverträglichkeit durch den reduzierten Einsatz von synthetischen Pflanzenschutzmitteln [14].

Einige der ökologischen (und ökonomischen) Benefits von transgenen Nutzpflanzen, hauptsächlich auf den Daten der Anbaujahre von 1996 bis 1999 in USA und Kanada basierend, seien an dieser Stelle kurz erwähnt.

6.5.1 Insektenresistente Bt-Baumwolle

Seit 1996 wird in den USA transgene Bt-Baumwolle, die resistent ist gegen den Befall mit dem Baumwoll-Kapselwurm und dem roten Kapselwurm, angebaut. Eine Anbaustudie von 1998 ergab, dass die Landwirte im Vergleich zu den vier bis sechs Insektizidspritzungen pro Jahr mit herkömmlichen Baumwollsorten bei Bt-Baumwolle durchschnittlich 2.3 Spritzungen weniger benötigten, was jährlich insgesamt 5.3 Millionen Insektizidbehandlungen entspricht. Seit ihrer Einführung im Jahre 1996 konnten in den fünf wichtigsten Staaten des US-Baumwoll-Anbaugebietes mit transgenen Bt-Baumwollsorten beinahe eine Million Kilogramm chemische Insektizide eingespart werden, was mit einer Zunahme der Nützlingspopulationen auf den Äckern einhergeht.

Pro Hektare Ackerland erzielten die Bauern mit transgener Baumwolle einen Mehrertrag von 17 kg, was in einer gesamten Ertragssteigerung von 39 Millionen kg Baumwolle für 1998 aufgrund der reduzierten Schädigungen durch Insektenfrass resultierte. Aus ökonomischer Sicht belief sich der Netto-Gewinn für die amerikanischen Baumwoll-Produzenten für dieses Jahr auf 92 Millionen US Dollar [101].

6.5.2 Insektenresistenter Bt-Mais

Auch beim Anbau von Bt-Maissorten stehen aus ökologischer Sicht die Einsparungen an Insektizid-Spritzungen im Vordergrund, was sich positiv auf die Nützlingspopulationen im Feld auswirkt. Obwohl die Bedrohung der Maisernte durch den Maiszünsler von Jahr zu Jahr stark variiert, führte der Einsatz von Bt-Mais in den USA in den Jahren 1997 und 1998 zu einem signifikanten Ertragszuwachs: Der im amerikanischen "corn belt" nicht an den Maiszünsler verlorene Maisertrag entspricht einer Anbaufläche von schätzungsweise 140'000 - 180'000 Hektaren. Allein 1998 konnte durch den Anbau von Bt-Maissorten eine Maisanbaufläche von über 800'000 Hektaren eingespart werden, die mit Insektiziden gegen den Maiszünsler bespritzt worden wäre.

1997 hat sich der Einsatz von Bt-Mais für die Landwirte aufgrund der höheren Erträge (4.7 bushels pro Hektare) auch finanziell ausbezahlt. 1998 mussten hingegen Einbussen in Kauf genommen werden, da der Maiszünslerbefall in diesem Jahr extrem niedrig war und somit nur ein Mehrertrag von 1.7 bushels pro Hektare resultierte. Für den Landwirt sind Bt-Maissorten gewissermassen eine Versicherung, da das Ausmass des Maiszünslerbefalls in Frühjahr bei der Maissaat nicht vorhersehbar ist [101].

6.5.3 Herbizidtolerante Soja

Toleranz gegenüber Herbiziden (Unkrautvertilgungsmittel) ist bis heute die am häufigsten gentechnisch in Nutzpflanzen eingeführte Eigenschaft. 50% des amerikanischen Sojaanbaus erfolgte 1999 mit transgenen, herbizidtoleranten Sojasorten – auf 15'000 Millionen Hektaren Ackerland. Ökologisch vorteilhaft ist der Anbau solcher Sojapflanzen, da der Bauer nur noch ein einzelnes Herbizid verwenden muss, um seine Sojafelder vor Unkräutern zu schützen, gegenüber vier bis fünf verschiedenen Herbiziden im konventionellen Sojaanbau. Zudem kann der Herbizideinsatz gezielt nur nach Bedarf vorgenommen werden, und das mit ökologisch unproblematischen Unkrautvernichtungsmitteln (z.B. Glyphosat), die im Boden sehr rasch abgebaut werden. Der Einsatz beispielsweise von Roundup-Ready-Sojabohnen führte zwischen 1996 - 1999 je nach Region zu einer durchschnittlich 10-20%-igen und maximal bis zu 50%-igen Reduktion des Spritzmitteleinsatzes. Unterschiede bei den Herbizidspritzungen ergeben sich durch klimatische Verhältnisse, Reihenabstände sowie Art und Ausmass des Unkrautvorkommens. Zugleich erzielten die Sojabauern eine Ertragssteigerung von durchschnittlich 5%, d.h. ein Plus von 134 kg Sojabohnen pro Hektar, was rund 30 Dollar Mehreinnahmen pro Hektar entspricht [14, 102].

Zu ähnlichen Resultaten kommt eine Studie des National Center for Food and Agricultural Policy vom April 2000, in welcher der Herbizid-Gebrauch der US-amerikanischen Soja-Bauern in den Jahren 1995 (dem Jahr vor der Einführung transgener Sojabohnen) und 1998 (aktuellste verfügbare Daten) verglichen wurden. Die Zahlen zeigen, dass das Gesamttotal an Herbizid-Anwendungen während dieser Zeit um 9% sank, trotz einer Zunahme der Sojaanbaufläche um 12% zwischen 1995 und 1998. Absolut entspricht diese Reduktion 16 Millionen Herbizid-Anwendungen. Die Menge aktiver Wirksubstanz des Herbizids pro Sojaanbaufläche sank im gleichen Zeitraum um 19%. Zugleich ermöglichte der Anbau herbizidtoleranter Sojasorten eine Reduktion jener Unkrautvertilgungsmittel, die ein grosses Potenzial zur Resistenzbildung bei den Unkräutern besitzen. Und bereits herbizidresistente Unkrautpopulationen konnten mit Glyphosat besser kontrolliert werden [103].

6.6 Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität

a) DOK Feldversuch (FiBL und FAL)

Im Jahre 1974 wurde im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) eine Feldstudie lanciert, um die Leistung verschiedener landwirtschaftlicher Systeme in der Schweiz zu untersuchen. Im sogenannten DOK Langzeit-Feldversuch werden in 96 zufällig angeordneten Parzellen à 100 m² die Vor- und Nachteile von bio-dynamischer, bio-organischer und konventioneller Landwirtschaft (integrierte Produktion, IP) miteinander verglichen. Diese bisher einzigartige Feldstudie, bei der das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) und die Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) mit Bauern und Forschern zusammenarbeiten, startete 1978. Während anfänglich vor allem agronomische Fragestellungen wie Ertrag und Produktequalität der angebauten Nutzpflanzen (z.B. Kartoffeln, Weizen, Gerste, Gras-Klee) untersucht wurden, standen im letzten Jahrzehnt ökologisch relevante Aspekte wie Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität im Vordergrund.

Die wichtigsten Unterschiede bezüglich Düngung und Pflanzenschutz der drei untersuchten Landwirtschaftssysteme sind untenstehend zusammengefasst.

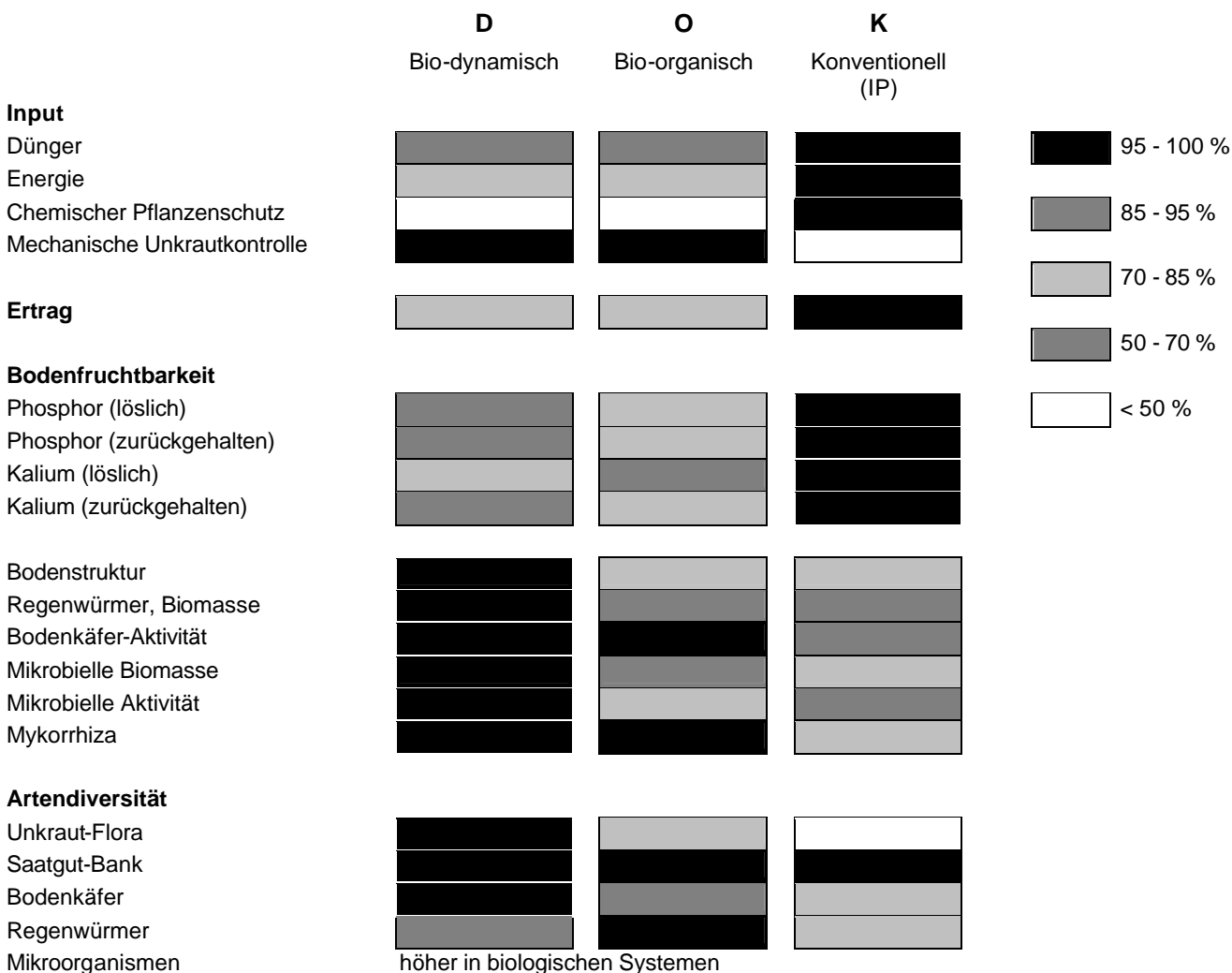
Hauptunterschiede der landwirtschaftlichen Systeme

Behandlungen	bio-dynamisch		bio-organisch		konventionell (IP)		Mineralien NPK (IP)	ungedüngt
	D1	D2*	O1	O2*	K1	K2*	M*	N
Düngung								
Bauernhof-Gülle/Mist (FYM)	kompostierte Gülle/ Mist & organische Abfälle		verrottete Gülle/Mist & belüftete organische Abfälle		gestapelte Gülle/Mist & organische Abfälle		-	-
Nutztier-Einheiten	(0.6) 0.7	(1.2) 1.4	(0.6) 0.7	(1.2) 1.4	(0.6) 0.7	(1.2) 1.4		-
Mineraldünger	-		Gesteinsmehl, Kalimagnesia		NPK Dünger als Zusatz		mineralische NPK allein	-
Pflanzenschutz								
Unkrautkontrolle	mechanisch				mechanisch und chemisch			mechanisch
Krankheitskontrolle	indirekte Methoden				chemisch (Schwellen)			indirekte Methoden
Insektenkontrolle	Pflanzenextrakte, Bio-Kontrolle				chemisch (Schwellen)			Pflanzenextrakte, Bio-Kontrolle
spezielle Behandlungen	biodynamische Präparationen		CuSO ₄ bei Kartoffeln bis 1991		Pflanzenwachstums-Regulatoren			biodynamische Präparationen

* Düngemengen entsprechen der schweizerischen Landwirtschaftspraxis. Resultate beziehen sich auf diese Werte.

Die in 21 Jahren gesammelten und ausgewerteten Resultate des DOK Feldversuch lassen sich im Überblick wie folgt resümieren:

DOK Feldversuch: Resultate von 21 Jahren im Überblick



Abkürzungen

D1*	Bio-dynamisch (0.6) 0.7 Nutztier-Einheiten pro Hektare
D2**	Bio-dynamisch (1.2) 1.4 Nutztier-Einheiten pro Hektare
O1*	Bio-organisch (0.6) 0.7 Nutztier-Einheiten pro Hektare
O2**	Bio-organisch (1.2) 1.4 Nutztier-Einheiten pro Hektare
K1*	Konventionell (IP) (0.6) 0.7 Nutztier-Einheiten pro Hektare plus Mineraldüngung
K2**	Konventionell (IP) (1.2) 1.4 Nutztier-Einheiten pro Hektare plus Mineraldüngung
N	Ungedüngt
M**	Konventioneller Landbau (IP) ohne Gülle/Mist
CRP	Fruchtwechsel-Periode (crop rotation period)
IP	Integrierte Produktion
*	Reduzierte Düngung
**	Düngemengen gemäss Landwirtschaftspraxis in der Schweiz

Es zeigte sich einerseits, dass im Vergleich zur integrierten Produktion, in der biologischen Landwirtschaft Ertragseinbussen von durchschnittlich 20% akzeptiert werden müssen, die je nach angebaute Kultur zwischen 10-40% variieren können. Andererseits geht aus den Resultaten hervor, dass biologische

Anbausysteme (abgesehen von gewissen Nährstoffdefiziten) positivere Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit (mehr organischer Anteil, weniger saure Böden, verbesserte Bodenstruktur und -aktivität, mehr Bodelebewesen) sowie die Artenvielfalt (Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen) auf dem Feld hat verglichen mit der integrierten Landwirtschaft [104].

Mit dem DOK Feldversuch erhielten die Bio-Bauern in der Schweiz eine faire Chance, die Durchführbarkeit ihres anfänglich kritisierten und belächelten Landwirtschaftssystems im direkten Vergleich mit alternativen Strategien zu evaluieren, um ihre agronomische Daseinsberechtigung wissenschaftlich beweisen zu können. Es ist nicht einzusehen, weshalb mit einer neuen Züchtungsstrategie nicht auch solche vergleichende Feldstudien durchgeführt werden sollten.

b) Herbizidtolerante-Soja und pflugloser Ackerbau

Dank der effektiveren Unkrautbekämpfung (siehe 6.5.3) fördert der Anbau herbizidtoleranter Soja-Sorten die konservierende, pfluglose Bodenbearbeitung, insbesondere den Einsatz des sogenannten Direktsaat-Verfahrens – eine Ackerbaumethode, die den Boden mit Ausnahme der Bepflanzung und der Zugabe von Nährstoffen in seinem ursprünglichen Profil belässt. Diese führt im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung zu folgenden ökologischen Vorteilen:

- verbesserte Bodenerhaltung aufgrund geringerer Erosion durch Wind und Wasser um 90% oder mehr,
- verbesserte Bodenqualität (Zunahme an organischer Substanz, Aggregatstabilität, Wasserspeichervermögen und Porenvolumen),
- verbesserte Bodenfruchtbarkeit durch erhöhtes Nährstoff-Rückhaltevermögen und verringerte Nährstoffauswaschung,
- verbesserte Qualität von Oberflächengewässern und Grundwasser,
- höherer Kohlenstoffrückhalt im Boden,
- verringerter Kraftstoffverbrauch und CO₂-Ausstoss,
- verbesserte Lebensbedingungen für zahlreiche Tierarten, von Bodenorganismen über wirbellose Tiere bis hin zu Vögeln und Säugetieren [102].

6.7 Landwirtschaftliche Erträge, Stickstoffdüngung und Welternährung

Die Steigerung der landwirtschaftlichen Erträge ist eines der vordergründigen Ziele des weltweiten Agrarsektors. Mit der Einführung von Hohertragsorten und dem massiven Einsatz von synthetischen Stickstoffdüngern zu Beginn der Grünen Revolution in den 60er Jahren gelang es der landwirtschaftlichen Produktion mit der rasant wachsenden Weltbevölkerung Schritt zu halten – insbesondere in den Entwicklungsländern. Die erzielten Mehrerträge bewirkten zudem, dass die weltweiten Preise für Nahrungsmittel real um über 70% sanken, was vor allem für arme Bevölkerungsschichten, welche den grössten Teil ihres Einkommens für Lebensmittel aufwenden, eine entscheidende Verbesserung bedeutete. Während 1960 rund 50% der Bevölkerung von Drittweltländern an Hunger litt, sind es heute noch um die 20% oder 800 Millionen Menschen, die chronisch unterernährt sind.

Die Prognosen für die Zukunft sehen hingegen düsterer aus. Während die Weltbevölkerung vor allem in den Entwicklungsländern weiterhin rapide zunimmt – bis ins Jahr 2020 müssen 1.5 Milliarden Menschen zusätzlich ernährt werden – stossen weitere Ertragssteigerungen mit klassischen Züchtungsmethoden an ihre Grenzen. Zudem nimmt das verfügbare Ackerland pro Kopf stetig ab. Obwohl heute theoretisch weltweit genug Nahrungsmittel für alle produziert werden, ist eine gerechte Verteilung eine unerfüllte Vision fernab der Realität geblieben. Sowohl die globale Marktwirtschaft wie auch die zahlreichen Hilfsprogramme erwiesen sich als längerfristig unwirksame (wenn auch punktuell erfolgreiche) Lösungsstrategien. Notwendig ist daher eine Art zweiter Grüner Revolution, welche die Landwirtschaft nicht nur produktiver macht, sondern auch nachhaltiger mit den Ressourcen und der Umwelt umgeht. Dazu müssen neben politischen, sozialen und volkswirtschaftlichen Massnahmen auch neue agronomische Techniken, wie die Anwendung moderner Biotechnologie, angepasst an die landwirtschaftlichen Bedürfnisse der Entwicklungsländer, genutzt werden [105].

Ein Beispiel, wie auch gentechnische Methoden ihren Beitrag zum Erreichen dieses Ziels leisten können, ist der sogenannte „Goldene Reis“, eine von der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Internationalen Reisforschungsinstitut gezüchtete, gentechnisch veränderte Reissorte, welche im Reiskorn selber die Vorstufe von Vitamin A produziert. Dieser vitaminreiche Reis, der nun via Zuchtprogrammen in lokale Reissorten eingekreuzt und gratis an die Bauern der Dritten Welt abgegeben wird, könnte dereinst den rund 130 Millionen Menschen, die von Vitamin-A-Mangelkrankheiten wie erhöhter Anfälligkeit gegenüber Infektionskrankheiten aufgrund geschwächter Immunabwehr oder Blindheit betroffen sind, wirksamen Schutz bieten [106].

Im biologischen Landbau sind die landwirtschaftlichen Erträge pro Hektare Anbaufläche oder pro Tier generell tiefer als in der konventionellen Landwirtschaft. In der Getreideproduktion betragen die biologischen Erträge zwischen 60 bis 70% der konventionellen Produktion, in der Milchwirtschaft werden sie mit 70 bis 75% von jenen herkömmlicher landwirtschaftlicher Produktionsmethoden beziffert [8].

Einer der grundlegenden Unterschiede der konventionellen Landwirtschaft im Vergleich zum Bio-Landbau betrifft die Düngung. Bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts war die Verfügbarkeit von Stickstoff der entscheidende limitierende Faktor landwirtschaftlicher Erträge. Stickstoff ist neben Kalium und Phosphor der wichtigste Nährstoff für das pflanzliche Wachstum. Und obwohl Stickstoff in der Atmosphäre im Überfluss vorhanden ist (knapp vier Fünftel der Luft besteht aus Stickstoff in Form von N_2), liegt es dort in einer chemisch sehr stabilen Form vor, die von Menschen, Tieren und den meisten Pflanzen nicht genutzt werden kann. Stickstoff wird nicht nur für den Aufbau von Proteinen und zahlreichen anderen Bio-Molekülen benötigt, sondern auch für die Synthese von DNS und RNS, den Molekülen, die genetische Information speichern und übertragen. Mensch und Tier müssen diesen wertvollen Nährstoff daher via Nahrung und die meisten Kulturpflanzen in Form von Ammoniumverbindungen (z.B. Ammoniak) oder Nitrat aus dem Boden aufnehmen.

Der weitaus grösste Teil der natürlichen Stickstoff-Fixierung aus der Luft wird von gewissen Mikroorganismen der Gattung *Rhizobium* (Knöllchenbakterien), die symbiotisch mit verschiedenen Hülsenfrüchten wie Erbsen, Bohnen, Linsen oder Klee zusammenleben, übernommen. Weitere Beiträge –

jedoch in einem viel geringeren Ausmass – liefern Blitzschläge oder Cyanobakterien. Da dem Erdreich mit der Ernte jeweils Stickstoff entzogen wird, müssen die Bauern dem Acker diesen via Düngung wieder zuführen, da nur ein kleiner Teil davon aus dem geologischen Untergrund ersetzt wird. Traditionellerweise erfolgte diese Zufuhr durch die Düngung mit menschlichen und tierischen Fäkalien (Jauche/Gülle, Mist, Abwässer), pflanzlichem Kompost (Grüdünger) oder durch den Fruchtwechsel mit oben genannten Hülsenfrüchten. Diese Düngevarianten werden heute primär von den Bio-Bauern angewendet. Theoretisch können damit einer Hektare Ackerland jährlich rund 200 kg Stickstoff verfügbar gemacht werden, was in der Produktion von 200-250 kg pflanzlicher Proteine resultiert. Berechnungen zeigen, dass mit einer Hektare Ackerland unter idealen Bedingungen (fruchtbare Erde, genügend Feuchtigkeit, mildes Klima) auf diese Weise etwa 15 Personen ernährt werden können. Praktisch gesehen, infolge nicht optimaler Boden-, Feuchtigkeits- und Klimabedingungen, Ernteverlusten durch Krankheiten und Schädlinge, durch Fruchtwechsel sowie beim Anbau von Pflanzen, die nicht für die Ernährung bestimmt sind (z.B. Baumwolle), liegt dieser Wert jedoch bei ca. 5 Personen pro Hektare.

Der entscheidende Durchbruch für die globale Verfügbarkeit von landwirtschaftlich verwertbarem Stickstoff via synthetischer Produktion gelang mit der Entwicklung des Haber-Bosch-Verfahrens 1899, mit dem Ammoniak aus Stickstoff und Wasserstoff gewonnen wird. Dieser Prozess ist heute verantwortlich für ca. 40% der rund 175 Millionen Tonnen Stickstoff, der jährlich weltweit den Kulturpflanzen zugeführt wird. Ohne die Verwendung synthetischer Stickstoff-Dünger – mit anderen Worten allein durch biologische Landwirtschaft – könnten heute maximal vier der sechs Milliarden Menschen ausreichend ernährt werden. Oder anders ausgedrückt: Um die gleiche Menge Stickstoff, die heute chemisch fixiert wird, auf biologische Weise zu ersetzen, bräuchte es zusätzlich fünf bis sechs Milliarden Kühe, die den dafür notwendigen organischen Dünger liefern. Dies würde jedoch eine dramatische Ausweitung des verfügbaren Ackerlands erfordern.

Die ökologische Kehrseite des Haber-Bosch-Produktionsprozesses und des massiven Düngemittel-Einsatzes der letzten 50 Jahre ist vielschichtig: Verschmutzung von Grundwasser, Übersäuerung der Böden, Zerstörung der Ozonschicht und Treibhaus-Effekt. Die erfreuliche Steigerung der globalen Nahrungsmittelproduktion erfolgte zu Lasten der Umwelt. Leider hat die Menschheit heute (noch) keine Alternativen in der Hand. Es besteht jedoch die Hoffnung, mit gentechnischen Methoden dereinst die Fähigkeit symbiotischer Rhizobium-Bakterien, Stickstoff aus der Luft zu fixieren, auch für wichtige Getreidepflanzen wie Reis, Mais und Weizen zu adaptieren. Intensive Forschungsanstrengungen dazu sind im Gange. Ohne solche Lösungen hingegen wird die Abhängigkeit der Menschheit von synthetischen Stickstoffdüngern weiter zunehmen [107, 108, 109].

7. Zusammenfassung und Fazit

Die aktuelle Diskussion rund um biologische und gentechnisch veränderte Nahrungsmittel wird heute vielerorts vorwiegend „über den Bauch“ geführt. Meinungsumfragen und Medienberichte dokumentieren häufig eine sehr einseitige Wahrnehmung sowohl von biologischen wie auch von gentechnischen Anwendungen und Produkten im Landwirtschafts- und Ernährungsbereich. Während Bio-Lebensmittel von vielen Konsumenten als gesünder, sicherer und ökologischer als konventionelle Produkte angesehen werden, gelten gentechnisch veränderte Nahrungsmittel oft als unnatürlich und als potenzielles Risiko für Mensch, Tier und Umwelt.

Doch wie verhält es sich, wenn an Stelle von Emotionen wissenschaftliche Fakten treten? Ein sachlicher Vergleich von Bio- und Gentech-Landwirtschaft ist vor allem auch deshalb von Bedeutung, da in naher Zukunft im Rahmen der Ausgestaltung der Gen-Lex im Parlament die politischen Weichen für den Anbau transgener Pflanzen auf Schweizer Äckern gestellt werden. Während sich der Bundesrat in seiner Botschaft an das Parlament für eine strenge Bewilligungspflicht derartiger Pflanzen eingesetzt hat, wird von verschiedenen Umweltverbänden und aus Bauernkreisen neuerdings ein Moratorium gefordert (in Abweichung von gemachten Aussagen während der Abstimmung zur Gen-Schutz-Initiative). Deren Begründungen für ein „Verbot auf Zeit“ weichen jedoch zum Teil stark voneinander ab. Für die Umweltverbände stehen denkbare, nicht abschätzbare (aber keineswegs bewiesene) gesundheitliche und ökologische Risiken im Vordergrund. Demgegenüber stützt sich der Schweizerische Bauernverband vorwiegend auf marktwirtschaftliche Überlegungen, in dem er sich von einer Gentechnik-freien, naturnahen Landwirtschaft als Marketingstrategie bei den Konsumenten Wettbewerbsvorteile gegenüber dem steigenden Druck ausländischer Konkurrenz erhofft.

Zentral dabei ist, dass politische Entscheidungen rund um die Frage, ob und welchen Platz gentechnisch veränderte Nutzpflanzen in der Schweizer Landwirtschaft in Zukunft einnehmen werden, nicht allein aufgrund emotionaler Vorbehalte, sondern primär anhand von wissenschaftlichen Tatsachen gefällt werden sollten.

Mit der vorliegenden Arbeit wurde versucht, anhand einer Recherche der wissenschaftlichen Literatur gesundheitliche und ökologische Nutzen und Risiken von Bio-Landbau, konventioneller Produktion und dem Einsatz von Gentechnik in der Landwirtschaft einem fundierten Vergleich näherzubringen.

Dabei zeigte sich einerseits, dass der Bio-Landbau, obschon er verschiedene, sehr sinnvolle Ansätze und Strategien für eine nachhaltige Landwirtschaft ausweist (z.B. Bodenfruchtbarkeit), nicht frei ist von ungelösten agronomischen Problemen (z.B. Pilzkrankungen bei Nutzpflanzen), ökologischen Fragezeichen (z.B. Kupferspritzungen) oder gesundheitlichen Risiken (z.B. Mykotoxine). Eine zusammenfassende, wenn auch nicht abschliessende Übersicht zu den Vor- und Nachteilen der biologischen Landwirtschaft gegenüber herkömmlichen Anbaumethoden findet sich im EU-Bericht „Organic Farming and the European Union“ von 1999 (leicht adaptiert) [8]:

Vorteile	Nachteile
<p>Tendenz zu vielseitigeren Anbaumustern und daher Erhöhung der Biodiversität.</p> <p>Tieferer gesamter Energieinput und CO₂-Produktion aufgrund der Abwesenheit von Stickstoff-Dünger.</p> <p>Tendenz zu gemischter Landwirtschaft, was den Anteil der organischen Masse in den Böden erhöht.</p> <p>Könnte die Beschäftigung in ländlichen Gebieten erhöhen.</p> <p>Mehr schädlings- und krankheitsresistente Pflanzen in Abwesenheit von Stickstoff-Düngern.</p>	<p>In der Regel tiefere Erträge.</p> <p>Erhöhtes Risiko von Ernteaussfällen.</p> <p>Qualitätsstandards (z.B. Weizen für Brotherstellung) nur schwer erreichbar.</p> <p>Benötigt intensivere Boden-Kultivierung, speziell bei der Kontrolle von Unkräutern, welche die Populationen von Wirbellosen und Bodenwürmern schädigen kann.</p> <p>Mähen von unbebauten Ausgleichsflächen ist für Wirbeltiere schädlicher als Herbizide.</p> <p>Ausgepflügter Klee auf bebaubaren Ackerflächen kann zum Auslaugen von grossen Mengen an Stickstoff führen.</p> <p>Mechanische Unkrautbekämpfung anstelle von Herbiziden kann am Boden nistende Vögel, junge Hasen etc. schädigen.</p> <p>Thermische Unkrautbekämpfung ist ebenfalls unselektiv.</p> <p>Hochtoxische anorganische Pestizide wie Kupfer und Sulfat sind erlaubt.</p> <p>Gesamtkosten pro Hektare sind höher aufgrund der tendenziell kleineren Betriebsgrösse.</p>

Die Annahme, biologische Lebensmittel seien sicherer und gesünder als herkömmlich hergestellte oder gentechnisch veränderte, konnte bisher wissenschaftlich nicht belegt werden. Demgegenüber zeigen einige Studien, dass die Gefahr einer Lebensmittelvergiftung durch die Kontamination der Erzeugnisse mit krebserregenden Pilzgiften bei Bio-Produkten fallweise grösser sein kann als bei konventionellen Lebensmitteln.

Bei der Einführung gentechnisch veränderter Nahrungsmittel hingegen standen von Beginn weg mögliche (oder auch nur denkbare) Risiken im Vordergrund. Noch nie wurde ein Lebensmittel derart intensiv auf seine gesundheitlichen Auswirkungen überprüft wie gentechnische Erzeugnisse. Weder die umfangreichen Sicherheitsanalysen der zugelassen Produkte noch ihr jahrelanger Verzehr durch Millionen von Konsumenten ergaben irgendwelche gesundheitliche Beeinträchtigungen für den Menschen. Zahlreiche wissenschaftliche Gremien und nationale Gesundheitsbehörden verschiedenster Länder kamen zum Schluss, dass gentechnisch veränderte Nahrungsmittel ebenso sicher sind wie ihre konventionellen Pendanten, und dass von ihnen kein Risiko für die menschliche Gesundheit ausgeht. Gerade im Fall von giftigen Mykotoxinen (Aflatoxine und Fumosinine bei Bt-Mais) erweisen sich Produkte von transgenen schädlingsresistenten Nutzpflanzen als sicherer im Vergleich zu herkömmlich oder biologisch gewonnenen, da ihr Gehalt an Pilzgiften deutlich reduziert sein kann.

Dasselbe konnte auch für gentechnisch veränderte Futtermittel in der Tierernährung gezeigt werden. In diversen Studien wurde weder ein Einfluss auf bedeutsame Inhaltsstoffe der Futtermittel noch auf die ernährungsphysiologischen Eigenschaften beim Tier gefunden. Zudem liessen sich bisher noch nie DNS

oder Proteine von transgenem Pflanzenmaterial in Milch, Fleisch oder Eiern von Tieren, die damit gefüttert wurden, nachweisen. Dies bedeutet, dass die Sicherheit für die menschliche Ernährung auch beim Verzehr von mit gentechnisch veränderten Futtermitteln gefütterten Nutztieren gegeben ist. Sicherheitsbedenken bei GVO-Nahrungsmitteln und -Tierfutter sind häufig im Bereich eines clever geführten Marketings zu sehen. Generell lässt sich festhalten, dass die Lebensmittel, die wir heute konsumieren, – seien sie aus konventioneller, integrierter, gentechnischer oder biologischer Produktion – aufgrund der gesetzlichen Vorschriften und ihrer Kontrolle sicherer sind als sie es jemals waren.

Auch im Bereich der Ökologie war der Fokus der öffentlichen Diskussion um die grüne Gentechnik bisher stark auf denkbare Risiken gerichtet, während den potenziellen und bereits erzielten Nutzen nur wenig Beachtung geschenkt wurde. Viel Aufsehen erregten beispielsweise einige Laborstudien, in denen schädliche Effekte von transgenen Pflanzen auf Nutzinsekten demonstriert werden konnten. Keine dieser Einflüsse unter künstlichen Bedingungen konnten jedoch unter realen Verhältnissen im Feld bestätigt werden. Tatsache ist, dass mit dem Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen bisher Tausende Tonnen chemischer Insektizide und Herbizide eingespart werden konnten mit positiven ökologischen Auswirkungen, insbesondere für die Nutzinsekten.

Gerade bei Pilzerkrankungen von Nutzpflanzen eröffnen gentechnische Forschungsprojekte neue Bekämpfungsstrategien mit grossem ökologischem Potenzial – auch für die Landwirtschaft in der Schweiz. Transgene, krankheitsresistente Kartoffel-, Weizen- oder Rebensorten könnten nicht nur die Anwendung synthetischer Fungizide in der konventionellen oder integrierten Produktion reduzieren, sondern würden auch die umweltschädigenden Kupferspritzungen im Bio-Landbau überflüssig machen.

Bei der Schädlingsbekämpfung stellt sich ferner auch die Frage, was passieren wird, falls sich die Bio-Landwirtschaft in Zukunft zu einer Mainstream-Landwirtschaft entwickeln sollte, die mehr als nur knapp 10% der landwirtschaftlichen Nutzfläche beansprucht. Viele Bio-Bauern profitieren heute möglicherweise indirekt vom Einsatz synthetischer Pestizide ihrer konventionell oder integriert produzierenden Nachbarn, die damit die Schädlingspopulationen in Schach halten. Müsste die Förderung des Bio-Landbaus nicht auch ein Szenario berücksichtigen, das von potenziell grösseren Schädlingswellen und einer viel problematischeren Schädlingsbekämpfung ausgeht, wenn die biologisch bebaute Fläche stetig zu- und der Pestizideinsatz entsprechend abnimmt?

Bei der häufig zitierten Gefahr der „Verunreinigung“ von Biofeldern durch Pollen von benachbarten Gentechfeldern, welche ein Nebeneinander von Bio- und Gentech-Bauer in der kleinparzelligen Schweizer Landwirtschaft verunmögliche, handelt es sich aus wissenschaftlicher Sicht grösstenteils um ein Phantom. Bei verschiedenen auch für die Schweiz bedeutenden Kulturen wie Kartoffeln, Zuckerrüben, diversen Getreidearten, Reben etc. stellt sich das Problem entweder gar nicht (vegetative Vermehrung bzw. Ernte vor der Blütezeit) oder liesse sich durch die Einhaltung von Isolationsabständen problemlos lösen (strenge Selbstbefruchter). Und auch bei diesbezüglich problematischeren Kulturen wie Raps stehen in Zukunft vermutlich gentechnische Lösungen zur Verfügung, welche ein Auskreuzen der Fremdgene grossenteils verhindern werden.

Es ist davon auszugehen, dass in absehbarer Zeit neue gentechnisch veränderte Sorten zur Verfügung stehen werden, die auch der Schweizer Landwirtschaft klare Vorteile bringen. Es wäre weder aus

gesundheitlichen noch aus ökologischen Gründen gerechtfertigt, dem schweizerischen Landwirt den Anbau solcher Sorten zu verwehren.

Ein englisches Sprichwort lautet: „For those with faith, proof is unnecessary; for those without faith, no proof is enough.“ Adaptiert auf die Diskussion um Bio-Landbau und grüne Gentechnik könnte es wohl bedeuten: „Wer an den Bio-Landbau glaubt, braucht keine wissenschaftlichen Beweise; wer nicht an die Gentechnik glaubt, für den ist kein wissenschaftlicher Beweis genug.“ Trotzdem sollten bei der Betrachtung der verschiedenen landwirtschaftlichen Systeme zukünftig faire, wissenschaftlich fundierte Vergleiche den Platz von Mythen, pauschalen Verurteilungen und irrealen Angstbildern einnehmen.

Vielleicht werden eines Tages die Strategien der Bio-Landwirtschaft zusammen mit den Möglichkeiten der Gentechnik Hand in Hand gehen, um das gesamte agronomische Potenzial für eine ökologisch und ökonomisch nachhaltige Landwirtschaft in Zukunft zu nutzen. Bis sich diese Visionen von „Organo Transgenic Crops“ und „Organic Precision Biotechnology“ (Prof. Klaus Ammann) erfüllen, dürfte es jedoch noch ein weiter Weg sein [110]. Fest steht, dass der Weg dorthin nur über ein Nebeneinander der einzelnen landwirtschaftlichen Strategien führen kann.

8. Literatur

Als ausgesprochen nützliche und wissenschaftlich fundierte Quelle erwies sich das Debate-Netzwerk von Prof. Klaus Ammann, Botanischer Garten, Universität Bern (E-Mail: klaus.ammann@ips.unibe.ch).

1. Schulte E., Käppeli O. 1997. Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft? Band 1. Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, BATS, Basel.
2. <http://www.fibl.ch/bio/bio.html>
3. <http://www.bio-suisse.ch/>
4. BIO SUISSE. Richtlinien für die Erzeugung, Verarbeitung und den Handel von Produkten aus biologischem (ökologischem) Anbau. Fassung vom 1. Januar 1999 mit Änderungen vom 23. September 1999.
5. Die Schweizer Gentechnik-Gesetzgebung. 2000. B.I.C.S, Basel (<http://bioweb.ch/de/guides/legislation/>).
6. Schweizer R.J. April 1999. Gen-Lex – Wo stehen wir? ETH-Bulletin Nr. 273.
7. Braun R. 12/1999. Schweizerische Gesetzgebung im Bereiche der Gentechnologie (http://www.gensuisse.ch/law/chlex_gen.html).
8. Select Committee on the European Communities. 1999. Organic Farming and the European Union. House of Lords, London, UK.
9. Food Safety and Quality as Affected by Organic Farming. Twenty Second FAO Regional Conference for Europa, Porto, Portugal, 24.-28. July 2000 (<http://www.fao.org/docrep/meeting/X4983e.htm>).
10. http://europa.eu.int/comm/dg06/envir/report/en/organ_en/report_en.htm
11. <http://www.organic-europe.net/>
12. <http://www.ers.usda.gov/whatsnew/issues/organic/>
13. Willer H., Yussefi M. 2000. Ökologische Agrarkultur Weltweit – Statistiken und Perspektiven. SÖL-Sonderausgabe Nr. 74. Stiftung Ökologie & Landbau, Deutschland.
14. James C. 1999. Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 1999. ISAAA Briefs No. 12. ISAAA, Ithaca, New York (<http://www.isaaa.org/>).
15. Collins K.J., Vogel F.A. Acreage. June 30, 2000. National Agricultural Statistics Service (NASS), Agricultural Statistics Board, U.S. Department of Agriculture (USDA), USA (<http://usda.mannlib.cornell.edu/reports/nassr/field/pcp-bba/>).
16. Hoyle R. 1998. Genetically engineered organic food? Nature Biotechnology 16: 214.
17. Kaufman M. Organic Farming Grows. April 3, 2000. The Washington Post, USA. (<http://washingtonpost.com/wp-dyn/articles/A63628-2000Apr2.html>).
18. IHA News 2/1999. IHA Institut für Marktanalysen AG, Hergiswil (<http://www.ihagfm.ch/>)
19. Brunner M. 31. März 2000. Der Schweizer Biohandel wächst weiter. Basler Zeitung, Basel.
20. Extracts from „The Organic Food and Farming Report 1999“. November 19, 1999. Soil Association, Bristol, UK (<http://www.soilassociation.org/>).

21. National Survey: USDA. May 24, 2000. Organic Food Labels Are Misleading. National Center for Public Policy Research, Washington, USA (<http://www.nationalcenter.org/PROrganicFood500.html>).
22. LID Mediendienst Nr. 2438. 4. November 1999. "Bio-Lebensmittel" bleiben in Europa ein Wachstumsmarkt. Landwirtschaftlicher Informationsdienst, Bern (<http://www.lid.ch/archiv/default.htm>).
23. Conklin, N. and Thompson, G. 1993. Product quality in organic and conventional produce: is there a difference? *Agribusiness*: 9;3; 295-307.
24. Basker D. 1992. Comparison of taste quality between organically and conventionally grown fruits and vegetables. *American Journal of Alternative Agriculture* 7: 129-136.
25. Weibel F.P., Bickel R., Leuthold S., Alfoeldi T., Niggli, U. 1999. Are organically grown apples tastier and healthier? A comparative field study using conventional and alternative methods to measure fruit quality. In publication.
26. Haglund Å., Johansson L. 1995. Sensorisk undersökning av morötter och tomaters / Sensory testing of carrots and tomatoes. *Vår föda / Our food, Journal of Swedish National Food Administration* 47(8): 52-55.
27. Longchamp C. 10/2000. Gentech-Akzeptanz zwischen Optimismus und Pessimismus. GfS-Forschungsinstitut, Zürich (<http://www.gfs.ch/publset.html>).
28. Bio- & Gentech-Archiv. Interpharma, Basel (<http://www.interpharma.ch/themen/biogen/archiv/index.html>)
29. Allen N. July 12, 2000. Organic Food Complaints Upheld. PA NewsCentre, Press Association, London, UK (http://www.ananova.com/news/story/sm_10080.html)
30. Woese K., Lang D., Boess C., Bogl KW. 1997. A comparison of organically and conventionally grown foods – results of a review of the relevant literature. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 74: 281-293.
31. Ames B.N., Profet M., Gold L.S. 1990. Nature's chemicals and synthetic chemicals: Comparative toxicology. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.* 87: 7782-7786.
32. Ames B. and Gold L.S. 1997. Environmental pollution, pesticides, and the prevention of cancer: misconceptions. *FASEB Journal* 11: 1041-52.
33. Of Mice and Men. 12/1991. Bruce Ames interviewed by Virginia Postrel. REASON online, USA. (<http://reason.com/amesint.html>).
34. Betarbet R., Sherer T.B., MacKenzie G., Garcia-Osuna M., Panov A.V., Greenamyre J.T. 2000. Chronic systemic pesticide exposure reproduces features of Parkinson's disease. *Nature Neuroscience*, Vol. 3, No. 12: 1301-1306 (Vorabdruck siehe unter: http://www.nature.com/neuro/journal/v3/n12/pdf/nn1200_1301.pdf).
35. Giasson B.I., Virginia Lee V.M.-Y. 2000. A new link between pesticides and Parkinson's disease. *Nature Neuroscience*, Vol. 3, No. 12: 1227-1228 (Vorabdruck siehe unter: http://www.nature.com/neuro/journal/v3/n12/pdf/nn1200_1227.pdf).
36. Kuiper-Goodman, T. 1998. Food safety: mycotoxins and phycotoxins in perspective. In *Mycotoxins and phycotoxins - Developments in chemistry, toxicology and food safety*, eds M. Miraglia, H. van Egmond, C. Brera and J. Gilbert. IUPAC.
37. Langlais C. 1999. Des pesticides dans les produits bio. *Biofil* n°3.

38. Andersson, A., Bergh, T. 1995. Pesticide residues in some vegetables and berries. *Vår föda / Our Food, Journal of Swedish National Food Administration*, 47(8): 22-24.
39. Lecerf J.M. 1995. L'agriculture biologique: intérêt en nutrition humaine? *Cah. Nutr. Diet.*, 30: 349-357.
40. Gesellschaft für MykotoxinForschung e.V., Deutschland (<http://www.mykotoxin.de/>)
41. Munkvold G.P., Hellmich R.L. 1999. The Good News About Bt Corn. Information Systems for Biotechnology (ISB), Blacksburg, USA (<http://www.nbiap.vt.edu/>).
42. Dowd P.F., Munkvold G.P. 1999. Associations between insect damage and fumonisin derived from field-based insect control strategies. Proceedings of the 40th Annual Corn Dry Milling Conference, June 3-4, 1999. Peoria, IL, USA.
43. Jukes T.H. 1990. Organic apple juice no antidote for alar. *J. Am. Dietetic. Assoc.* 90 (3): 371.
44. Marx H., Gedek B., Kollarczik B. 1995. Vergleichende Untersuchung zum mykotoxikologischen Status von ökologisch und konventionell angebautem Getreide. *Z. Lebensm. Unters. Forsch.* 201, 83-86.
45. Schollenberger M., Suchy S., Jara H.T., Drochner W., Muller H.M., Jaeger E.E., Carroll N.M., Choudhury S., Dunlop A.A., Towler H.M., Matheson M.M., Adamson P., Okhravi N., Lightman S. 1999. A survey of Fusarium toxins in cereal-based foods marketed in an area of southwest Germany. *Mycopathologia* 145(1): 49-57.
46. Belastung von Kleinkindernahrung mit Fusarientoxinen zu hoch! 6. Juli 2000. Pressedienst 12/2000 des Bundesinstituts für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BfV), Berlin, Deutschland. (http://www.bfV.de/presse/2000/pr_00_12.htm).
47. Mrasek V. 3. September 2000. Gib uns unser täglich Gift. *SonntagsZeitung*, Zürich.
48. Munkvold G.P., Hellmich R.L., Rice L.G. 1999. Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and non-transgenic hybrids. *Plant Disease* 83: 130-138.
49. Windham G.L., Williams W.P., Davis F.M. 1999. Effects of the southwestern corn borer on *Aspergillus flavus* kernel infections and aflatoxin accumulation in maize hybrids. *Plant Disease* 83: 535-540.
50. MacKenzie D. 1999. Red flag for green spray. *New Scientist*: 4.
51. Bernstein I.L., Bernstein J.A., Miller M., Tierzieva S., Bernstein D.I., Lummus Z., Selgrade M.K., Doerfler D.L., Seligy V.L. 1999. Immune responses in farm workers after exposure to *Bacillus thuringiensis* pesticides. *Environ Health Perspect* 107(7): 575-582.
52. Hammond B.G., Vicini J.L., Hartnell G.F., Naylor M.W., Knight C.D., Robinson E.H., Fuchs R.L., Padgett S.R. 1996. The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. *J. Nutr.* 126: 717-727.
53. Flachowsky G, Aulrich K. 1999. Tierernährung und gentechnisch veränderte Organismen (GVO). *Landbauforschung Völkenrode*, Heft 1: 13-20, Deutschland.
54. RKI stellt nochmals fest: Gensoja ist gesundheitlich unbedenklich. 20. September 1997. Pressemitteilung des Robert Koch-Instituts, Deutschland (<http://www.rki.de/AKTUELL/PRARCHIV/ARCHIVPR.HTM>).
55. Ewen S.W.B., Pusztai A. 1999. Effect of diets containing genetically modified potatoes expressing *Galanthus nivalis* lectin on rat small intestine. *Lancet* Vol. 354, No. 9187.
56. Pusztai's Experimente mit transgenen Kartoffeln. 1999. Internutrition, Zürich (http://www.internutrition.ch/sicher/pusztai/pus_idx.html).

57. Die Kartoffeln und Ratten von Pusztai. 1999. Gen Suisse, Bern (http://www.gensuisse.ch/act/kart_rat.html).
58. Kuiper H.A., Noteborn H.P., Peijnenburg A.A. 1999. Adequacy of methods for testing the safety of genetically modified foods. *Lancet* Vol. 354, No. 9187.
59. Der Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen als Futtermittel. 1999. Bund für Lebensmittelrecht und Lebensmittelkunde e.V., Bonn, Deutschland (http://www.bll.de/04_infob/02_infothek/texte/gentechnik/text9.htm).
60. Siehe dazu: Tsubota et al., 1974; Yamanaka et al., 1974; McAllan, 1982; Nadano et al., 1993; Shimada et al., 1998; Gil and Uauy, 1995; Jackson et al., 1997; Yu, 1998.
61. Schubbert R., Renz D., Schmitz B., Doerfler W. 1997. Foreign (M13) DNA ingested by mice reaches peripheral leukocytes, spleen and liver via the intestinal wall mucosa and can be covalently linked to mouse DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.* 94: 961-966.
62. Schubbert R., Renz D., Schmitz B., Doerfler W. 1998. On the fate of orally ingested foreign DNA in mice: chromosomal association and placental transmission in the fetus. *Molecular and General Genetics* 259: 569-576.
63. Klotz A., Einspanier R. 1998. Nachweis von "Novel-Feed" im Tier? Beeinträchtigung des Verbrauchers von Fleisch oder Milch ist nicht zu erwarten. *Mais* 3: 109-111.
64. Doerfler W., Schubbert R., Hohlweg U. 2000. Foreign DNA penetrates the intestine-blood and the placenta barrier. *Bioforum* 3: 120-122.
65. Klotz A., Einspanier R. 2000. Detection of chloroplast DNA fragments in lymphocytes of cattle and in muscle, liver, spleen and kidneys of chicken using Polymerase Chain Reaction (PCR) technology. Technical University of Munich, Freising, Germany (Posterpräsentation anlässlich der Konferenz „Genetically Modified Organisms in the Food Chain“ in München, 17.-18. Mai 2000).
66. FASS Facts on Genetically modified Crops – Impact on Meat, Milk, and Eggs. January 2000. Federation of Animal Science Societies (FASS), Savoy, USA (<http://www.fass.org/>).
67. Beever D.E., Kemp C.F. 2000. Safety issues associated with the DNA in animal feed derived from genetically modified crops. A review of scientific and regulatory procedures. *Nutrition Abstracts and Reviews, Series B: Livestock Feeds and Feeding.* Vol. 70, No. 3: 175-182.
68. Internet-Forum der Internutrition (verschiedene Beiträge), Zürich (<http://www.internutrition.ch/forum/>)
69. Syfrig J., Unternährer S. 2000. focus Agro-BioTeCH Nr. 3. Information und Kommunikation des Schwerpunktprogramms Biotechnologie (B.I.C.S.), Basel.
70. Schulte E., Käppeli O. 1997. Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft? Band 2 Abschlussbericht. Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, BATS, Basel.
71. Syfrig J., Castle P. 1997. focus Biosicherheit Nr. 2. Information und Kommunikation des Schwerpunktprogramms Biotechnologie (B.I.C.S.), Basel.
72. Trewavas A. 1999. Much food, many problems. *Nature* 402 (6759): 231-232.
73. Bodenmüller K., Holler A. 1997. Kompendium Gentechnologie und Lebensmittel. Internutrition, Zürich.
74. Gressel J., Kleifeld Y. 1994. Can wild species become problem weeds because of herbicide resistance? *Brachypodium distachyon*: a case study. *Crop protection*, 13 (8): 563-566.

75. Verordnung über den Umgang mit Organismen in der Umwelt (Freisetzungsverordnung) vom 25. August 1999.
76. Verordnung über Saat- und Pflanzgut von Acker- und Futterpflanzenarten (Saat- und Pflanzgut-Verordnung) vom 7. Dezember 1998 (Stand am 29. Februar 2000).
77. Syfrig J., Castle P. 1997. focus Biosicherheit Nr. 4. Information und Kommunikation des Schwerpunktprogramms Biotechnologie (B.I.C.S.), Basel.
78. Siehe dazu: Pruett et al. 1980, West et al. 1984, West 1984, Venkaterswerla et al. 1992, Ream et al. 1992, Palm et al. 1993, Keck et al. 1993, Tapp et al. 1994, Palm et al. 1994, Ream 1994, Sims et al. 1995, Tapp et al. 1995, Donegan et al. 1995, Sims et al. 1996, Donegan et al. 1996, Palm et al. 1996, Crecchio et al. 1997, Koskella et al. 1997, Tapp et al. 1997, Deepack et al. 1999.
79. Palm C.J., Schaller D.L., Donegan K.K., Seidler R.J. 1996. Persistence in soil of transgenic plant produced *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* δ -endotoxin. *Canadian Journal of Microbiology* 42: 1258-1262.
80. Saxena D., Florest S., Stotzky G. 1999. Transgenic plants: Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. *Nature* 402: 480.
81. Thema Bt-Mais. Internutrition, Zürich (http://www.internutrition.ch/news/themes/btmais/btm_idx.html).
82. Losey J.E., Rayor L.S., Carter M.E. 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399: 214.
83. Monarch Butterflies and Bt Corn: Lab Research & Field Realities. 1999. Monsanto Company, USA (<http://www.fooddialogue.com/monarch/index.html>).
84. Sears M.K., Stanley-Horn D.E., Mattila H.R. 2000. Preliminary Report on the Ecological Impact of BT Corn Pollen on the Monarch Butterfly in Ontario. Prepared for the Canadian Food Inspection Agency and Environment Canada.
85. Safety of Transgenic Corn Resistant to Target Insects. Press release. March 14, 2000. Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat (<http://www.maff.go.jp/eindex.html>).
86. Hansen L.C., Obrycki J.J. August 19, 2000. Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. *Oecologia*.
87. Sears M. (University of Guelph), Shelton A (Cornell University). August 29, 2000. Questionable Conclusions From Latest Monarch Study (Message No. 768 at AgBioView archive <http://agbioview.listbot.com/>).
88. Effects of Bt-Maize on Non-Target Insects – Regulatory and Non-Regulatory Required Studies. 1999. Novartis Seeds AG, Schweiz.
89. Candolfi M., Ahl Goy P., Reber B., Brown K. Novartis field study on potential effects of Bt-corn on non-target arthropods (Abstract from the ESF/AIGM Workshop, Berne, Switzerland. The Environmental Implications of Genetically Modified Plants with Insect Resistance Genes, 29.-30. September 2000).
90. Lozzia G.C. 1999. Biodiversity and structure of ground beetle assemblages (Coleoptera Carabidae) in Bt corn and its effects on non target insects. *Boll. Zool. agr. Bacchic. Ser II*, 31 (1): 37-58.
91. Lozzia G.C., Rigamonti I.E., Manachini B., Rocchetti R. 2000. Laboratory studies on the effects of transgenic corn on the spider mite *Tetranychus urticae* Koch. *Boll. Zool. agr. Bacchic. Ser II*, 32 (1): 35-47.
92. Syfrig J., Unternährer S. 1999. focus Agro-BioTeCH Nr. 1. Information und Kommunikation des Schwerpunktprogramms Biotechnologie (B.I.C.S.), Basel.

93. Bieri F., Syfrig J., Unternährer S. 2000. focus Agro-BioTeCH Nr. 2. Information und Kommunikation des Schwerpunktprogramms Biotechnologie (B.I.C.S.), Basel.
94. Uses of Copper Compound. The Copper Page (<http://www.copper.org/compounds/ukcomp.htm>).
95. Vonarburg T. 17. Mai 2000. Pestizide in Bio-Weinen. K-Tip Nr. 10, Zürich.
96. Pestizidrückstände, schweflige Säure, Sorbinsäure, Blei und Kupfer in konventionell und biologisch produzierten Weinen. Herbst 1999. Kampagne Laboratorium der Urkantone in Zusammenarbeit mit den Kantonslaboratorien von Zürich und Aargau.
97. Koechlin F. 1999. Zukunftsmodell Schweiz: Eine Landwirtschaft ohne Gentechnik? Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Öko-Institut e.V. und Blauen-Institut, Basel.
98. Zertifiziertes Saatgut – das Leistungspaket für die marktgerechte Produktion. Z-Saatgut Suisse, Düringen.
99. Keller B., Hütter E. 9/2000. Die Umwelt ist nicht vollständig simulierbar. Mitteilungsblatt Nr. 56, Verein «Forschung für Leben», Zürich.
100. Gentechnik in der Rebenzüchtung - geplante Freisetzungsversuche in Deutschland. 4. Februar 1999. BioLinX GmbH, Frankfurt a. M., Deutschland (<http://www.biolinx.de/>).
101. Gianessi L.P., Carpenter J.E. 1999. Agricultural Biotechnology: Insect Control Benefits. National Center for Food and Agricultural Policy, Washington DC, USA.
102. Das Roundup Ready ® Sojabohnen-System: Nachhaltigkeit und Herbizideinsatz. 1999. Monsanto (Deutschland) GmbH, Düsseldorf.
103. Gianessi L.P., Carpenter J.E. 2000. Agricultural Biotechnology: Benefits of Transgenic Soybeans. National Center for Food and Agricultural Policy, Washington, USA.
104. FiBL Dossier Nr. 1, August 2000. Organic farming enhances soil fertility and biodiversity – Results from a 21 year old field trial. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick.
105. Conway G., Toenniessen G. 1999. Feeding the World in the Twenty-first Century. Nature 402, C55.
106. Ye X., Al-Babili S., Klöti A., Zhang J., Lucca P., Beyer P., Potrykus I. 2000. Engineering the Provitamin A (β -Carotene) Biosynthetic Pathway into (Carotenoid-Free) Rice Endosperm. Science 287: 303-305.
107. Smil V. July 1997. Global Population and the Nitrogen Cycle. Scientific American.
108. Morrison P. August 1999. Dining on Ammonia. Scientific American.
109. Borlaug N. April 2000. Billions Served. Reason Magazine ONLINE, Los Angeles, USA (<http://www.reason.com/0004/fe.rb.billions.html>).
110. Ammann K., Jacot Y., Simonsen V., Kjellsson G. 1999. Methods for Risk Assessment of Transgenic Plants. III. Ecological risks and prospects of transgenic plants, where do we go from here? A dialogue between biotech industry and science. Birkhäuser Verlag Basel, Switzerland.