



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

**Anbau gentechnisch
veränderter Pflanzen (GVP):
Auswirkungen auf den
Verbrauch von Pflanzenschutz-
mitteln und Bewertung
möglicher Veränderungen
hinsichtlich der Belastung der
Umwelt und des Naturhaushaltes**

Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums
für Umwelt, Gesundheit und
Verbraucherschutz (StMUGV)



6

2004

ISSN 1611-4159

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: <http://www.LfL.bayern.de>

Institut für Pflanzenschutz

Lange Point 10, 85354 Freising-Weihenstephan

Email: IPS@LfL.bayern.de

Redaktion: Abt. Information, Wissensmanagement, SG Öffentlichkeitsarbeit

Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan

Email: AIW@LfL.bayern.de

Text: K. Gehring

Layout: K. Gehring

1. Auflage September 2004

Druck: Druckhaus Kastner, Wolnzach

© LfL

Die Beiträge in dieser Schriftenreihe geben die Meinung des Autors wieder.



Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP): Auswirkungen auf den Verbrauch von Pflanzenschutzmitteln und Bewertung möglicher Veränderungen hinsichtlich der Belastung der Umwelt und des Naturhaushaltes

Im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV)

Projektbearbeiter: Dr. Ursula Wurzer-Faßnacht
Projektleitung: Klaus Gehring
Dr. Michael Zellner

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz,
Lange Point 10, 85354 Freising – Weihenstephan

Laufzeit: 01.04.2003 – 31.12.2003

Inhaltsverzeichnis

Seite

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1.0	Einführung	8
2.0	Verfügbarkeit gentechnisch veränderter Kulturpflanzen	10
2.1	Mais mit Herbizid- und/oder Insektenresistenz	13
2.1.1	Mais mit Herbizidresistenz	13
2.1.2	Mais mit Insektenresistenz	13
2.1.3	Mais mit kombinierter Insekten- und Herbizidresistenz (stacked genes)	14
2.2	Raps (Canola) mit Herbizidresistenz	15
2.3	Sojabohnen mit Herbizidresistenz	17
2.4	Baumwolle mit Herbizid oder Insektenresistenz	18
2.4.1	Baumwolle mit Herbizidresistenz	18
2.4.2	Baumwolle mit Insektenresistenz	18
2.5	Beta-Rüben mit Herbizidresistenz	19
2.6	Kartoffeln mit Insekten-, Virus-, Pilzresistenz und veränderten Inhaltsstoffen	20
2.6.1	Kartoffeln mit Insektenresistenz	20
2.6.2	Kartoffeln mit kombinierter Insekten- und Virusresistenz	21
2.6.3	Kartoffeln mit einer Resistenz gegen <i>Phytophthora infestans</i>	21
2.6.4	Kartoffeln mit veränderten Inhaltsstoffen	22
2.7	Weizen mit Pilz- und Herbizidresistenz	22
2.7.1	Weizen mit Resistenz gegen Pilzkrankheiten	22
2.7.2	Weizen mit Herbizidresistenz	24
2.8	Wein mit gentechnischen Veränderungen	25
2.9	Weltweite Zulassungen weiterer gentechnisch veränderter Pflanzen	25
3.0	Anbauflächen gentechnisch veränderter Kulturpflanzensorten	26
3.1	Spezielle Situation in einzelnen Ländern	28
3.1.1	USA / Kanada	28
3.1.2	Mexiko und Südamerika	29
3.1.3	China	30
3.1.4	Japan, Australien, Indien, Entwicklungsländer	30
3.1.5	Europa	31

4.0	Die Bedeutung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen für den praktischen Pflanzenschutz	32
4.1	Aufwand / Einsparungen bei Insektiziden und Herbiziden in Mais	32
4.1.1	Insektizide	32
4.1.2	Herbizide	34
4.2	Aufwand/Einsparungen bei Herbiziden in Raps	35
4.3	Aufwand/Einsparungen bei Herbiziden in Sojabohnen	36
4.4	Aufwand/Einsparungen bei Insektiziden in Baumwolle	38
4.5	Aufwand/Einsparungen bei Herbiziden in Zuckerrüben	38
4.6	Aufwand/Einsparungen bei Insektiziden in Kartoffeln	40
4.7	Fallstudien/Modellrechnungen zu möglichen Einsparungen bei Pflanzenschutzmitteln durch Einsatz der Grünen Gentechnik	40
5.0	Anbauumfang und Bedeutung der Kulturarten in Bayern, für die gentechnisch veränderte Sorten in anderen Ländern Verwendung finden	45
5.1	Bedeutung von Mais	45
5.2	Bedeutung von Raps	46
5.3	Bedeutung des Kartoffelanbaus	47
5.4	Bedeutung der Zuckerrüben	47
5.5	Sojabohnen	48
6.0	Nutzungsmöglichkeiten gentechnisch veränderter Eigenschaften unter bayerischen Anbaubedingungen	49
6.1	Nutzung der Bt- und Herbizidresistenz (HR) -Technologie in Mais	49
6.1.1	Nutzung der Bt-Resistenz gegen Maiszünsler	49
6.1.2	Nutzung der HR -Technologie zur Unkrautbekämpfung	52
6.2	Nutzung der HR-Technologie in Raps	55
6.3	Nutzung der HR-Technologie in Zuckerrüben	57
6.4	Nutzung der Bt-Resistenz gegen den Kartoffelkäfer	59
6.5	Anmerkung zu Sojabohnen	59
7.0	Einsparungen an Pflanzenschutzmittelmengen und Anwendungshäufigkeiten	61
7.1	Einsparungsmöglichkeiten bei gentechnisch verändertem Mais	61
7.1.1	Einsparungen beim Anbau von Bt-Mais	62
7.1.2	Einsparungen beim Anbau von HR-Mais	64
7.2	Einsparungen beim Anbau von HR-Raps	68
7.3	Einsparungen beim Anbau von HR-Zuckerrüben	71
7.4	Einsparungen beim Anbau von Bt-Kartoffeln	74

8.0	Technologische und wirtschaftliche Vor-/Nachteile für den Landwirt	75
8.1	Anbau von HR-Mais	75
8.2	Anbau von HR-Raps	76
8.3	Anbau von HR-Zuckerrüben	78
8.4	Anbau von HR-Sojabohnen	81
8.5	Zusammenfassende Bewertung der HR-Technologie	81
8.6	Anbau von Bt-Mais	83
8.7	Anbau von Bt-Kartoffeln	86
9.0	Auswirkung der HR- und Bt-Technologie auf Umwelt und Naturhaushalt	87
9.1	Erfassung der Vor- und Nachteile bei Einsatz der HR-Technologie	88
9.2	Erfassung der Vor- und Nachteile auf Umwelt und Naturhaushalt bei Anbau von Bt-Kulturen	96
10.0	Zukünftige Lösungsmöglichkeiten von aktuellen Pflanzenschutzproblemen durch gentechnisch veränderte Pflanzen	100
10.1	Maiswurzelbohrer (<i>Diabrotica virgifera virgifera</i>)	100
10.2	Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel (<i>Phytophthora infestans</i>)	103
10.3	<i>Fusarium</i> an Weizen	105
10.4	Zukunftsperspektiven der Gentechnologie an Kulturpflanzen	107
11.0	Zusammenfassung	109
	Literaturverzeichnis	114
	Anlagen	126

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, herbizidresistenter Mais-sorten (2003)
- Tab. 2: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, insektenresistenter (Mais-zünsler und Maiswurzelbohrer) Maissorten (2003)
- Tab. 3: Weltweite Zulassungen von gentechnisch veränderten Maissorten mit Insek-ten- und Herbizidresistenz (2003)
- Tab. 4: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, herbizidtoleranter Sommerrapssorten (2003)
- Tab. 5: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter Sojabohnen mit Herbizid-resistenz (2003)
- Tab. 6: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, herbizidresistenter Baum-wolle (2003)
- Tab. 7: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, insektenresistenter Baum-wolle (2003)
- Tab. 8: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, herbizidresistenter Beta-Rüben (2003)
- Tab. 9: Kommerzieller Anbau gentechnisch veränderter, insektenresistenter Kartof-felsorten (2003)
- Tab. 10: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter Kartoffelsorten mit kom-binierter Insekten- und Virusresistenz
- Tab. 11: Transgener Weizen – Freisetzungversuch in Deutschland 2003
- Tab. 12: Herbizidtoleranter Weizen
- Tab. 13: Weltweite Anbauflächen (in Mio. ha) gentechnisch veränderter Kultur-pflanzen in den Jahren 2002 und 2003
- Tab. 14: Weltweite Anbauflächen konventioneller und transgener Pflanzen im Ver-gleich
- Tab. 15: Anbauflächen gentechnisch veränderter Kulturen in den USA 2003
- Tab. 16: Gegenwärtige und potentielle Auswirkungen gentechnisch veränderter Kul-turen auf den Pflanzenschutzmitteleinsatz in der US-Landwirtschaft
- Tab. 17: Kalkulation bzw. Prognose der Gesamteinsparungen im Pflanzenschutz-mitteleinsatz in Abhängigkeit von unterschiedlichen Eigenschaften
- Tab. 18: Prognose der Gesamteinsparungen an Pflanzenschutzmitteln bei einem An-bau von GVO-Sorten auf 50 % der Flächen, die in der EU in 2001 bestellt wurden
- Tab. 19: Prognose der möglichen Einsparung von Pflanzenschutzmitteln in der EU und Deutschland bei Anbau von Bt-Mais, HR-Zuckerrüben und Kartoffeln mit Pilzresistenz
- Tab. 20: Anbauflächen in 1.000 ha in Bayern

- Tab. 21: Vergleich der Flächenanteile USA/Bayern bei Anbau von gentechnisch veränderten Mais auf 34 % der Maisanbaufläche (2002)
- Tab. 22: Insektizideinsparung und Reduzierung der Applikationshäufigkeit bei Anbau von Bt-Mais in gleichem prozentualen Umfang wie in den USA
- Tab. 23: Mögliche Reduzierung der Insektizidmenge und Applikationshäufigkeit bei Anbau von Bt-Mais in Bayern auf steigenden GVO-Anbauflächen
- Tab. 24: 2002 in Bayern ausgebrachte Breitbandherbizide in Mais
- Tab. 24 a: Sonderbehandlungen gegen Problemunkräuter in Mais
- Tab. 24 b: Summe aus Breitband- und Sonderbehandlungen zur chemischen Unkrautbekämpfung in Mais
- Tab. 25: Einsatz von Roundup und Liberty in unterschiedlichen Mengen und Kombinationen in HR-Mais auf 34.299 Hektar im Vergleich
- Tab. 26: Gesamtherbizideinsatz (Breitbandmittel und Graminizide) in Raps in Bayern 2001/2002
- Tab. 27: Anwendung der HR-Systeme Liberty Link bzw. Roundup Ready in Raps bei unterschiedlichem Anwendungsumfang
- Tab. 28: Gesamtherbizideinsatz (Breitbandherbizide + Graminizide) in Zuckerrüben in Bayern 2002
- Tab. 29: Präparat- und Wirkstoffaufwand der HR-Systeme (Roundup Ready / Liberty Link) auf 100 % der Zuckerrübenfläche je nach Einsatzintensität
- Tab. 30: Mögliche Einsparungen an Insektizidmengen und Reduzierung der Applikationshäufigkeit bei Anbau von Bt-Kartoffeln zur Bekämpfung des Kartoffelkäfers
- Tab. 31: Bewertung der verschiedenen Maiszünslerbekämpfungsverfahren für Bayern
- Tab. 32: Bewertung verschiedener Mittel/-Kombinationen hinsichtlich Umweltverträglichkeit bei Mais
- Tab. 33: Bewertung verschiedener Mittel/-Kombinationen hinsichtlich Umweltverträglichkeit bei Raps
- Tab. 34: Bewertung verschiedener Mittel/-Kombinationen hinsichtlich Umweltverträglichkeit bei Zuckerrüben
- Tab. 35: Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln bei Anbau von gentechnisch veränderten Maissorten mit einer Resistenz gegen den Maiswurzelbohrer
- Tab. 36: Mögliche Reduzierung an Fungizidmengen bei Anbau phytophthora-resistenter Kartoffelsorten bei mittlerer Behandlungsintensität
- Tab. 37: Mögliche Einsparungen an Fungizidmengen bei Anbau gentechnisch veränderter fusariumresistenter Weizensorten in Bayern auf 10.000 ha
- Tab. 38: Einsparungsmöglichkeiten entsprechend dem GVO-Anbau in den USA und zukünftig möglicher bzw. verfügbarer GVO-Technologien

Abkürzungsverzeichnis

ACPA	American Crop Protection Association
BBA	Biologische Bundesanstalt (Braunschweig)
BIO	Biotechnology Industry Organization
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Bt	Bacillus thuringiensis (Bodenbakterium)
CAST	Council For Agricultural Science and Technology (The Science Source for Food, Agricultural, and Environmental Issues)
CBI	Council for Biotechnology Information
CCC	Canola Council of Canada
CLM	Centrum voor Landbouw en Milieu (Zentrum für Landwirtschaft und Umwelt, Utrecht/NL)
EPA	Environmental Protection Agency (US-amerikanische Umweltbehörde)
EPSPS	Enolpyruvylshikimat-3-Phosphat-Synthase
EPPO	European and Mediterranean Plant Protection Organization
ERS	Economic Research Service der US-amerikanischen Landwirtschaftsbehörde
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
GVO	Gentechnisch veränderter Organismus
GVP	Gentechnisch veränderte Pflanzen
ha	Hektar
HR	Herbizid-Resistenz
HR-System	Herbizid-Resistenz-System
HR-Technik / Technologie	Herbizid-Resistenz-Technik / Technologie
ISAAA	International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (International tätige Agrobiotechnologie-Agentur)
LBP	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflan- zenbau
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Mio.	Million
NASS	National Agricultural Statistics Service
NCFAP	US National Center for Food and Agricultural Policy
PAT	Phosphinotricin-Acetyl-Transferase
PPT	Phosphinotricin
PLRV	Kartoffelblattrollvirus
PVY	Kartoffelvirus Y
RR-System	Roundup Ready-System
t	Tonne
TBA	Terbuthylazin
UFOP	Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.
USDA	United States Department of Agriculture

1.0 Einführung

Seit Mitte der 90er Jahre stehen gentechnisch veränderte Kulturpflanzen für die Praxis in größerem Umfang zur Verfügung. Schwerpunkte wurden bei Sojabohnen, Mais und Baumwolle mit dem Ziel gesetzt, den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln bei diesen durch Schädlinge oder Unkräuter in ihrer Ertragsleistung stark gefährdeten Kulturen zu mindern und dadurch umweltverträglicher zu produzieren. Die Vorteile wurden in den USA von den Landwirten rasch erkannt, so dass sich die Anbaufläche dieser Genotypen in Rekordgeschwindigkeit vergrößerte. Diese „Technologie“ ist in der Geschichte der Landwirtschaft als die Entwicklung zu sehen, welche bisher am schnellsten von Praktikern übernommen wurde [1]. Die Vorteile werden in höheren Erträgen, niedrigeren Produktionskosten, dem einfacheren Pflanzenschutzmittelmanagement, der Minderung des Aufwandes an Pflanzenschutzmitteln und einer geringeren Belastung der Ökosysteme gesehen.

In den USA ist die Akzeptanz der Gentechnik bei der Nahrungsmittelerzeugung mit dem Ziel einer Reduzierung von Umweltbelastungen in der Bevölkerung groß [48]. In Europa lehnt nach einer Umfrage von Eurobarometer im Jahre 2002 [4] die Mehrheit der Europäer die Gentechnik in der Landwirtschaft und im Lebensmittelbereich ab. In Deutschland ermittelte das Institut für Demoskopie Allensbach im Jahre 2001 [3], dass die Akzeptanz der Gentechnologie seit über drei Jahren in der Bevölkerung kontinuierlich zunimmt. Während 1998 nur 25 % der Befragten davon überzeugt waren, dass der Nutzen der Gentechnologie gegenüber den Risiken überwiegt, waren Ende des Jahres 2001 bereits 44 % dieser Auffassung.

Die schnellste Verbreitung erfuhren in den USA gentechnisch veränderte Kultursorten mit spezieller Herbizidtoleranz. Sie bieten dem Anbauer eine größere Flexibilität und Effektivität bei der Bekämpfung von Unkräutern [50]. Herbizidtolerante Sorten von Sojabohnen, Baumwolle, Raps und Mais wurden 2003 bereits auf 48 % der Anbaufläche in den USA kultiviert.

Durch gentechnische Veränderungen erzeugte Sorten mit Resistenz gegen bestimmte Insektengruppen stehen u.a. bei Mais, Baumwolle und Kartoffeln für eine kommerzielle Nutzung zur Verfügung. Sie werden als Bt-Kulturen bezeichnet, da die Resistenz gegen Insekten (Lepidoptera, Coleoptera, Diptera) auf die Einführung von Genen aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* zurückgeht. Es wird ein insektengruppenspezifisch wirkendes toxisches Protein in den Pflanzen erzeugt, welches den Raupenfraß unterbindet und die Schädlingspopulation stark reduziert. Vor allem bei Mais und Baumwolle führten diese Genotypen ab Markteinführung im Jahre 1996 zu einer steigenden Nutzung. Die höchste Zunahme ist im Baumwollanbau zu verzeichnen. Bei Mais ist die Nutzung von Bt-Sorten vom Auftreten des Maiszünslers und dadurch bedingten wechselnden Erträgen abhängig.

Der Frage, inwieweit durch Anbau von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln unter Praxisbedingungen tatsächlich vermindert wird, sind Wissenschaftler besonders in den USA nachgegangen. Mittlerweile liegt auch Zahlenmaterial aus einigen anderen Ländern vor.

Generell gehen die Befürworter der „Grünen Gentechnologie“ davon aus, dass die stetig steigenden Anbauflächen mit gentechnisch veränderten Varianten zu einer Gesamtreduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes und damit zur Entlastung der Umwelt führen, auch wenn zuverlässiges Zahlenmaterial noch nicht in allen Ländern erarbeitet wurde. In einer Studie für das Joint Research Centre der Europäischen Kommission [31] wird darauf hingewiesen, dass unter dem Aspekt von Vorteilen für den Verbraucher und für die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Landwirtschaft weiterhin Bedarf an der Weiterentwicklung gentechnisch veränderter Organismen innerhalb der EU besteht. Dabei sollten aussereuropäische Aktivitäten, allerdings unter Beachtung der Abschätzung ihres Einflusses auf den europäischen Markt, einbezogen werden.

Die vorliegende Literaturstudie wurde im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), seit 14.10.03 Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV), durchgeführt. Sie hatte sich mit dem Fragenkomplex zu beschäftigen, welchen Einfluss ein Anbau gentechnisch veränderter Kulturpflanzen in gleichem prozentualen Flächenanteil wie in den USA bereits praktiziert, auf die Agrarproduktion in Bayern nehmen könnte. Direkte Vergleiche sind wegen der anders gearteten Anbaubedingungen in Teilen der USA nur sehr begrenzt möglich. Die amerikanischen Großkulturen Baumwolle und Soja haben für Bayern keine Bedeutung; dem Maisanbau steht in Mitteleuropa eine andere Schaderregerpopulation entgegen. Unabhängig von diesen Einschränkungen werden die internationalen wissenschaftlichen Erkenntnisse zu Fragen des Anbaus gentechnisch veränderter Kulturpflanzenarten zusammengestellt und im Zusammenhang mit den besonderen Bedingungen in Mitteleuropa/Bayern diskutiert.

2.0 Verfügbarkeit gentechnisch veränderter Kulturpflanzen

Der weltweite Anbau gentechnisch veränderter Sorten ist bei den Kulturen Soja, Baumwolle, Raps und Mais von Bedeutung. Kartoffeln, Zuckerrüben und Tomaten spielen weltweit eine untergeordnete Rolle.

In Deutschland werden bisher keine gentechnisch veränderten Pflanzen zu kommerziellen Zwecken angebaut.

Die wichtigsten, durch gentechnische Eingriffe veränderten Merkmale in % aller gentechnischen Veränderungen an Nutzpflanzen waren im Jahre 2003 [10]:

Herbizidresistenz (73 %)

Insektenresistenz (18 %)

Kombinationen von Insekten- und Herbizidresistenz (stacked genes) (8%)

Virusresistenz (< 1 %)

Pilzresistenz (< 1 %)

Herbizidresistenz

Herbizidresistente Pflanzen erlauben zur Bekämpfung von Unkräutern den Einsatz von im Boden biologisch rasch abbaubenden Wirkstoffen. In der EU werden Mais, Raps und Zuckerrüben mit Herbizidresistenz-Eigenschaften gegen die beiden Wirkstoffe Glyphosat und Glufosinat getestet. Das System besteht aus zwei Komponenten: (A) die resistente Kulturpflanzensorte und (B) der Wirkstoff, gegen welchen die Resistenz gegeben ist.

Als Beispiel seien angeführt: (A) Roundup-resistente Kulturpflanzensorte, (B) Herbizid Roundup (Komplementärherbizid). Ferner (A) Liberty-resistente Kulturpflanzensorte, (B) Herbizid Liberty. Das Verfahren Herbizid-Resistenz-System, auch HR-System bezeichnet, wird unter den Warenzeichen Roundup Ready[®] und Liberty Link[®] vermarktet.

Der Wirkstoff von Roundup ist Glyphosat, von Liberty Glufosinat (in Deutschland auch unter dem Handelsnamen Basta[®] vertrieben); beide Wirkstoffe wirken nicht selektiv auf grüne Pflanzenteile (Totalherbizid), d.h. gegen fast alle Pflanzenarten. Der Wirkstoff Glyphosat wird systemisch in der Pflanze verteilt, wodurch auch Wurzelunkräuter gut bekämpft werden. Glufosinat ist dagegen wenig beweglich und besitzt nur eine kontakt- bzw. teilsystemische Wirkung [122]. Sie werden in verschiedenen Bereichen (Obstbau, Weinbau, Ziergehölze, Forst, Getreide-Stoppel,-Vorernte, Stilllegung, Grünland etc.) in Mitteleuropa seit 28 bzw. 19 Jahren als Breitbandherbizide eingesetzt [8].

Glyphosat hemmt das Enzym EPSP-Synthetase, das zur Herstellung aromatischer Aminosäuren im Stoffwechsel der Pflanze benötigt wird. Nach 3-7 Tagen stellt die

Pflanze das Wachstum ein und stirbt ab. Dieser Wirkungsprozess findet in allen Pflanzen statt. Gentechnisch veränderten Kulturpflanzen wurde das Gen für die CP-4EPSP-Synthase aus dem Bodenbakterium *Agrobacterium tumefaciens* übertragen. Aufgrund verschiedener Strukturunterschiede zur pflanzlichen EPSP-Synthase wird dieses durch Glyphosat nicht gehemmt. Die Pflanze kann auch bei Glyphosatanwendung aromatische Aminosäuren herstellen und wird nicht geschädigt [146].

Die herbizide Wirkung des Wirkstoffs Glufosinat (1984 erstmals zugelassen) beruht ebenfalls auf einer Enzymhemmung. Durch Hemmung der Glutaminsynthetase häuft sich Ammoniak in der Pflanzenzelle in so hoher Konzentration an, dass die Pflanze nach wenigen Tagen abstirbt. Bei glufosinat-resistenten Kulturpflanzen wird durch Gentransfer aus dem Genpool von *Streptomyces viridochromogenes* ein PAT-Gen (Phosphinotricin-acetyl-transferase) übertragen. Der Ammoniakabbau zu Glutamin kann somit ungehindert ablaufen [122].

Insektenresistenz

Insektenresistenz ist nach Herbizidresistenz das zweithäufigste kommerziell genutzte Merkmal. Insektenresistenzgene finden z.B. Anwendung bei Mais gegen Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) und Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) (Tab. 2 und 3), bei Baumwolle gegen den Baumwollkapselkäfer (*Helicoverpa armigera*) (Tab. 7) und bei Kartoffeln gegen den Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*) (Tab. 9 und 10).

Die Resistenz ist durch Bt-Toxine bedingt, die infolge übertragener Gene aus *Bacillus thuringiensis* in den Pflanzen entstehen. Das Bt-Toxin ist ein Protein (Cry Protein), das natürlicherweise von *Bacillus thuringiensis*, einem insektenpathogenen Bodenbakterium, gebildet wird. Es ist ein Fraßgift, zerstört die Darmwand der Insektenlarven und wirkt insektengruppenspezifisch.

In der Entwicklung befinden sich transgene Pflanzen, bei denen die Insektenresistenz nicht auf Bt-Toxinen basiert, sondern u.a. auf Stoffen wie Lektinen oder Protease-Inhibitoren. Die Wirkungsweise und Expression der Transgene zeigte sich bisher noch nicht effektiv genug.

Pilzresistenz

An der Entwicklung gentechnisch erzeugter pilzresistenter Pflanzen wird bei Kartoffeln, Getreide, Wein und Erdbeeren intensiv gearbeitet. Weltweit gibt es jedoch noch keine anwendungsreifen Sorten. Ansätze zur Erzeugung von Pilzresistenzen sind die Übertragung pflanzlicher oder bakterieller Gene für antifungale Substanzen (z.B. Chitinase, Glucanasen) [74][76], das Einschleusen antifungaler Proteine und die Erhöhung der hypersensitiven Reaktion. Mit Hilfe gentechnischer Arbeiten wird versucht, den

Auslösemechanismus einer hypersensitiven Reaktion, die in vielen Genotypen durch klassische Züchtung selektiert rassenspezifisch vorliegt, zu beschleunigen.

Virusresistenz

Ansätze zur Erzeugung von Virusresistenzen sind die Verwendung von Hüllproteinen, die Unterbindung der Verbreitung bzw. Vermehrung der Viren in der Pflanze, oder die Übertragung antiviraler Proteine. Bei allen derzeit eingesetzten virusresistenten Pflanzen werden Hüllproteine als Virenschutz verwendet z.B. auch bei Zuckerrüben mit einer Resistenz gegen Rizomania [147].

Im Folgenden werden die gentechnisch erzeugten Genotypen mit Resistenzgenen gegen Herbizide, Insekten und Viren aufgeführt. Soweit bekannt bzw. verfügbar erfolgt die Auflistung geordnet nach der Kulturpflanzenart unter Angabe des Unternehmens, des Markennamens, des Events und der Länder mit kommerzieller Nutzung.

Ein „Event“, die Bezeichnung der gentechnisch veränderten (transformierten) Zelle, aus der die jeweilige Pflanze herangezogen wird, kann in verschiedenen Pflanzensorten verwendet werden.

2.1 Mais mit Herbizid- und/oder Insektenresistenz

2.1.1 Mais mit Herbizidresistenz

Herbizidresistenz ist bei den derzeit kommerziell genutzten, gentechnisch veränderten Pflanzen das dominierende Merkmal (73 %). Der kommerzielle Anbau herbizidresistenter Maissorten beschränkt sich auf USA und Kanada (Tab. 1).

Tab. 1: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, herbizidresistenter Maissorten (2003)

Unternehmen (Wirkstoff)	Markenname	Event	Kommerzieller Anbau
Monsanto (Glyphosat)	Roundup Ready	GA 21 MON 832	USA/Kanada
	Roundup Ready	NK 603	
DeKalb Genetics (Glufosinat)		B 16	USA
BayerCropScience (Glufosinat)	InVigor*	MS 3	
	InVigor*	MS 6	
Pioneer Hi-Bred* (Glufosinat)		676,678,680	

*) Einige herbizidresistente Maissorten besitzen das Merkmal "Männliche Sterilität". Männliche Sterilität erleichtert die Züchtung von Hybridsorten.

2.1.2 Mais mit Insektenresistenz

Bt-Mais wurde 2003, einschließlich Versuchsanbau, in neun Ländern auf insgesamt 9,1 Mio. ha angebaut (Anlage 2, Tab. 2). Dies entspricht 13,4 % der weltweit mit transgenen Pflanzen angebaute Fläche von 67,7 Mio. ha. In Südafrika erhöhte sich die Anbaufläche von Bt-Mais seit 2001 um das 14-fache auf 84.000 ha. Neue Anbauländer sind Bulgarien und Honduras. Seit 2003 wird Bt-Mais auch auf den Philippinen kommerziell angebaut [10]. Am 11. 03. 2003 veröffentlichte Spanien im offiziellen „Boletín Oficial del Estado, Num. 60, Page 9607“ die Zulassung von 5 Bt-Varianten. Dabei handelt es sich um Mon 810 Events der Firmen Limagrain, Monsanto, Pioneer und Nickerson Seeds und ein Bt-176 Event der Firma Syngenta.

Unter dem Handelsnamen „YieldGard rootworm“ ist in USA ab der Anbausaison 2003 eine gegen den Maiswurzelbohrer resistente Maissorte der Firma Monsanto im Handel, unter dem Handelsnamen „YieldGard Plus“ eine gegen den Maiszünsler und

den Maiswurzelbohrer resistente Sorte [152]. Die Resistenz gegen den Maiswurzelbohrer wird über eine spezifisch wirksame Variante (Cry 3 Bb1) des Bt-Toxins vermittelt [103].

Tab. 2: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, insektenresistenter (Maiszünsler* und Maiswurzelbohrer) Maissorten (2003)

Unternehmen	Markenname	Event	Kommerzieller Anbau
Syngenta Seeds	NaturGard	Bt 176	USA/Argentinien/EU
	Maximizer		
	Knock Out		
Monsanto	YieldGard (corn borer)	MON 810	USA/Kanada/Philippinen Argentinien/Südafrika
		MON 80100	
	YieldGard (rootworm)	MON 863 (Cry3Bb1)	USA
	YieldGard Plus (cornborer + rootworm)	MON 863+MON810	USA

*) European Corn Borer (ECB) / Southwestern Corn Borer (SWCB)

2.1.3 Mais mit kombinierter Insekten- und Herbizidresistenz (stacked genes)

Auf 5,8 Mio. ha (8,6 %) der weltweit mit transgenen Kulturen bebauten Fläche wuchsen im Jahre 2003 Pflanzen, die sowohl eine Herbizid- als auch eine Insektenresistenz besitzen (stacked genes) [10]. In Tabelle 3 sind die weltweiten Zulassungen von gentechnisch veränderten Maissorten mit Insekten- und Herbizidresistenz zusammengestellt. Bei dem Genkonstrukt Bt 176 ist neben der Insektenresistenz auch eine Herbizidresistenz vorhanden. Da die Herbizidresistenz, nach Firmenangabe, jedoch nicht zuverlässig exprimiert wird, wurde Bt 176 unter Punkt 2.1.3 nicht aufgeführt.

Tab. 3: Weltweite Zulassungen von gentechnisch veränderten Maissorten mit Insekten- und Herbizidresistenz (2003)

Unternehmen	Markenname*	Event	Kommerzieller Anbau
Syngenta Seeds		Bt 11	USA/Kanada/Argentinien Japan/EU (Import)
Monsanto		Mon 809	USA
Monsanto	YieldGard	Mon 802	USA
DeKalb Genetics	Bt Xtra	DBT 418	USA/Kanada
BayerCropScience	LibertyLink	T14,T25	USA/Kanada
BayerCropScience	StarLink	CBH 351 (Cry9)	(bis 2000 in USA)
Mycogen: (DuPont/Pioneer)	Herculex	TC 1507	nicht bekannt

*) falls vorhanden

Weitere Ziele in der Entwicklung gentechnisch veränderter Maissorten sind die Anpassung an neue Standorte und Klimazonen (Hitze-, Salz- und Aluminiumtoleranz), die Anreicherung bestimmter Aminosäuren (Lysin, Methionin, Tryptophan) sowie die Veränderungen von Speicherproteinen und der Fettsäurezusammensetzung [31].

2.2 Raps (Canola) mit Herbizidresistenz

Herbizidresistenter Sommerraps (Canola) wurde 2003 in Kanada und den USA auf 3,6 Mio. ha angebaut. Das entspricht 5,3 % der weltweit mit transgenen Pflanzen bebauten Flächen [10].

Bei den in Tabelle 4 aufgeführten, gentechnisch veränderten Rapssorten handelt es sich ausschließlich um Sommerraps, auch als Canola bezeichnet. Sommerraps wird vornehmlich in Kanada und den USA angebaut. In diesen Ländern ist ein Anbau von Winterraps nicht möglich. Bei den entsprechenden Anträgen auf Zulassung innerhalb der EU handelt es sich jedoch um Winterrapsformen. 2003 wurde nach Mitteilung der Firma BayerCropScience Liberty Link-Raps auch in Australien zugelassen.

Tab. 4: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, herbizidtoleranter Sommerrapssorten (2003)

Unternehmen (Wirkstoff)	Markenname	Event	Kommerzieller Anbau
BayerCropScience	Innovator	HCN 92	Kanada
LibertyLink	Independence	HCN 10	Kanada
(Glufosinat)	LibertyLink	HCN 28, T45	Kanada
	Restorer*	MS1xRF1;PGS1	Kanada
	Restorer*	MS1xRF2;PGS2	Kanada
	Restorer*	MS8xRF3	Kanada (EU-Antrag auf Zulassung als WR)
		PHY 14, PHY 35 PHY 36, PHY 23	Japan
		Falcon GS40/90	EU-Antrag auf Zulassung
		Liberator (L62)	EU-Antrag auf Zulassung
BayerCropScience (Bromoxynil)	Navigator	Westar-OXY-235	Kanada
Monsanto (Glyphosat)	RoundupReady	GT73,RT73	USA/Kanada/ Australien
	RoundupReady	GT200,RT200	
	RoundupReady	ZSR500/502 (Rübsen;Kreuzung mit GT 73)	

*) Einige herbizidresistente Rapssorten besitzen das Merkmal „Männliche Sterilität“. Gentechnische Konzepte, die eine männliche Sterilität vermitteln, erleichtern die Züchtung von Hybridsorten.

Gentechnische Veränderungen in der Fettsäurezusammensetzung befinden sich noch in der Entwicklungsphase [16]. Zulassungen der Events 23-18-17 und 23-198 für höheren Laurat- und Myristatgehalt erfolgten in den USA und Kanada, der Events 45 A37, 46 A40 und 46 A16 für erhöhten Ölsäure-, erniedrigten Linolsäuregehalt in Kanada.

2.3 Sojabohnen mit Herbizidresistenz

Herbizidresistente Sojabohnen wurden 2003, einschließlich Versuchsanbau, in 7 Ländern auf insgesamt 41,4 Millionen Hektar bzw. 61 % der weltweit mit transgenen Pflanzen bestellten Flächen angebaut [10]. Aus Tabelle 5 wird ersichtlich, dass die HR-Technik bei Sojabohnen von zwei Firmen vermarktet wird, wobei das Liberty Link-System ausschließlich in den USA für einen Vertragsanbau zur Verfügung steht. Innerhalb der EU besteht nur eine Zulassung für Import und Verarbeitung zu Futter- und Lebensmitteln.

Tab. 5: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter Sojabohnen mit Herbizidresistenz (2003)

Unternehmen (Wirkstoff)	Markenname	Event	Kommerzieller Anbau
Monsanto (Glyphosat)	Roundup Ready Soja	GTS 40-3-2	USA/Argentinien/ Kanada/Uruguay/ Rumänien
BayerCropScience (Glufosinat)	LibertyLink	A 2704-12 A 2704-21 A 5547-35 W 62, W 98 GU 262,A5547-127	USA USA USA USA USA

Für Import und Verarbeitung zu Futter- und Lebensmitteln ist Roundup Ready-Soja der Firma Monsanto in folgenden Ländern zugelassen: Schweiz, Polen, Russland, Australien, Thailand, Japan, Korea, und in der EU [33].

Seit September 2003 hat auch Brasilien den Anbau gentechnisch veränderter Sojabohnen erlaubt. Für Anbau und Vertrieb wurden fünf herbizidresistente Roundup Ready-Sorten freigegeben [18].

2.4 Baumwolle mit Herbizid- oder Insektenresistenz

2.4.1 Baumwolle mit Herbizidresistenz

In den USA wird nur Roundup Ready-Baumwolle der Firma Monsanto auf 3,2 Mio. ha kommerziell angebaut. Baumwolle mit Resistenz gegen die selektiv wirkenden Herbizide Bromoxynil und Sulfonylhurea hat in verschiedenen Staaten nur eine Zulassung zur Nutzung als Lebens- und/oder Futtermittel (Tab. 6).

Tab. 6: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, herbizidresistenter Baumwolle (2003)

Unternehmen (Wirkstoff)	Markenname	Event	Kommerzieller Anbau
Monsanto (Glyphosat)	RoundupReady	MON 1445,1698	USA
Calgene Monsanto (Bromoxynil)		BXN	
DuPont (Sulfonylhurea)		19-51 A	

Neuere Arbeiten beschäftigen sich zunehmend auch mit der Kombination von Herbizid- und Insektenresistenz (stacked genes) bei Baumwolle.

2.4.2 Baumwolle mit Insektenresistenz

Bei Baumwolle beruht die Insektenresistenz auf Bt-Toxinen gegen Fraßinsekten wie den Baumwollkapselbohrer. Marktführend ist weltweit die Firma Monsanto mit Bollgard-Baumwolle (Tab. 7). Argentinien (0,04 Mio. ha), Australien (0,1 Mio. ha) und vor allem China (2,8 Mio. ha) haben in den letzten Jahren den Anbau erheblich ausgeweitet. Indien und Kolumbien haben 2002 erstmals den Anbau von Bt-Baumwolle zugelassen. Die Entwicklung resistenter Sorten für weitere Schadinsekten, mit Kälte- oder Hitzetoleranz, einer verbesserten Faserqualität, sowie Baumwolle, die einen blauen Farbstoff bildet und sich sozusagen „von selbst“ färbt, ist das Ziel weiterführender gentechnischer Arbeiten [92].

Bei Bollgard II werden zur Minderung einer Resistenzbildung bei Schadinsekten zwei Proteine exprimiert. Darüber hinaus bietet Bollgard II eine zusätzliche Wirkung gegen die Zuckerrübenmotte (*Spodoptera exigua*), den Heerwurm (*Spodoptera litura*) und die

Spannerlarve (*Pseudoplusia includens*). Die Zulassung wurde 2002 für die USA erteilt [43].

Tab. 7: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, insektenresistenter Baumwolle (2003)

Unternehmen	Markenname*	Event*	Kommerzieller Anbau
Monsanto	Bollgard II Bollgard	MON 15985-7 MON 531,757,1076	USA (ab 2002) USA/Argentinien/ Australien/Mexiko Südafrika/China/ Indien
Calgene (Monsanto)		31807,31808	
CAAS (Chinese Academy of Agricultural Science)			China

*) soweit bekannt

2.5 Beta-Rüben mit Herbizidresistenz

Gentechnische Arbeiten bei Beta-Rüben beschäftigen sich vor allem mit der Herbizidresistenz. Die Resistenzquelle (CP4-Gen aus *Agrobacterium tumefaciens* und PAT-Gen aus *Streptomyces viridochromogenes*) sowie die physiologische Wirkung der Herbizide ist identisch der bei Raps und Mais. Obwohl in USA seit 1999 gentechnisch veränderte, herbizidresistente Zuckerrübensorten für den konventionellen Anbau zugelassen sind (Tab. 8), findet aufgrund mangelnder Akzeptanz durch die verarbeitende Zuckerindustrie kein Anbau statt [56].

Tab. 8: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter, herbizidresistenter Beta-Rüben (2003)

Unternehmen (Wirkstoff)	Markenname	Event	Zulassung für kommerziellen Anbau
Syngenta Seeds/ Monsanto (Glyphosat)	InVigor	GTSB 77	USA (Antrag auf Zulassung EU)
BayerCropScience (Glufosinat)		T 120-7	
Trifolium (Monsanto) (Glyphosat)			Futterrübe A5/15 (Antrag auf Zulassung EU)

In Deutschland werden seit Mitte der 1990er Jahre auch transgene Zuckerrüben mit einer Virusresistenz gegen Rizomania (Auslöser BNYV-Virus) im Freiland getestet. Eine Sortenzulassung wurde bisher nicht beantragt [147].

2.6 Kartoffeln mit Insekten-, Virus-, Pilzresistenz und veränderten Inhaltsstoffen

2.6.1 Kartoffeln mit Insektenresistenz

Vier Bt-Kartoffelsorten mit einer Resistenz gegen den Kartoffelkäfer sind in den USA und Kanada für den landwirtschaftlichen Anbau und für die Verwendung als Lebensmittel freigegeben (Tab. 9). In der EU sind derzeit keine gentechnisch veränderten Kartoffeln zugelassen und es befinden sich auch noch keine gentechnisch veränderten Kartoffelsorten im sortenrechtlichen Zulassungsverfahren. Eine Vermarktung ist weder als Pflanzgut, noch als Lebensmittel zulässig [7].

In Japan ist nach Angaben von Transgen.de nur die Einfuhr von getrockneten, verarbeiteten Lebensmittelprodukten aus gentechnisch veränderten Kartoffeln erlaubt. Die Einfuhr ganzer Kartoffeln ist generell untersagt, um ein Einschleppen von Pflanzenkrankheiten zu verhindern.

Tab. 9: Kommerzieller Anbau gentechnisch veränderter, insektenresistenter Kartoffelsorten (2003)

Unternehmen	Markenname	Event	Kommerzieller Anbau
Monsanto	New Leaf Russet Burbank	BT 6 und weitere	USA/Kanada
Monsanto	New Leaf Atlantische Variante	ATBT 04-6	USA/Kanada

2.6.2 Kartoffeln mit kombinierter Insekten – und Virusresistenz

Von den vier in den USA und Kanada zugelassenen gentechnisch veränderten Bt-Kartoffelsorten besitzen zwei eine Resistenz gegen die auch in Bayern wichtigen Potyviren (Y-Virus) und Luteoviren (PLRV) (Tab. 10).

Tab. 10: Weltweite Zulassungen gentechnisch veränderter Kartoffelsorten mit kombinierter Insekten- und Virusresistenz

Unternehmen	Markenname (Resistenztyp)	Event	Kommerzieller Anbau
Monsanto	New Leaf Y (Potyvirus Y)	RBMT 15-101 und weitere	USA/Kanada
Monsanto	New Leaf Plus (PLRV)	RBMT 21-129 und weitere	USA/Kanada

2.6.3 Kartoffeln mit einer Resistenz gegen *Phytophthora infestans*

Die wichtigste Kartoffelkrankheit, verursacht durch den Pilz *Phytophthora infestans*, ist die Kraut- und Knollenfäule. Der Erreger ist nur durch häufige Fungizidanwendungen zu bekämpfen.

Während Forschungsansätze zur Ermittlung einer Resistenz gegen *Phytophthora infestans* im Verbundvorhaben GABI (Genomanalyse im biologischen System Pflanze) des Bundesministeriums für Bildung und Forschung bisher nicht zum gewünschten Erfolg führten [22], veröffentlichten amerikanische Forscher 2003 die Entdeckung eines neuen Genes, das die Kartoffelpflanzen gegen *Phytophthora infestans* schützt. Dieses Gen, gefunden in einer mexikanischen Wildkartoffel (*Solanum bulbocastum*), scheint ein hohes Resistenzpotenzial zu haben. Die Wissenschaftler konnten durch Gentransfer Kartoffelpflanzen erzeugen, die gegen alle *Phytophthora infestans* Rassen resistent sind [77]. Mit Hilfe dieser gentechnisch veränderten Pflanzen könnten Landwirte den Fungizidaufwand erheblich reduzieren und damit die Umwelt entlasten.

Gegenwärtig findet sich jedoch weltweit noch keine gentechnisch veränderte, phytophthoraresistente Kartoffelsorte im Handel.

2.6.4 Kartoffeln mit veränderten Inhaltsstoffen

Bei Kartoffeln mit veränderter Stärkezusammensetzung handelt es sich um Pflanzen, die sich als nachwachsende Rohstoffe eignen. So können aus Kartoffeln mit einem hohen Anteil einer bestimmten Stärkeart verschiedene Produkte wie z.B. Folien oder Klebstoffe hergestellt werden. In Schweden läuft ein Genehmigungsverfahren für das EU-weite Inverkehrbringen einer GVO-Kartoffel, die ausschließlich amylosefreie Stärke bildet. Die Kartoffel soll nur als Stärkerohstoff, nicht als Lebensmittel verwendet werden.

An der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) werden seit 1999 transgene Amylopektinlinien der Kartoffelsorten Walli und Patrone im Freiland getestet. Amylopektin wird in der Lebensmittel-, Papier- und Textilindustrie verarbeitet. Um Kartoffellinien, die ausschließlich Amylopektin produzieren zu erhalten, wird mit Hilfe der anti-sense Technik das für die Amylosesynthese essentielle GBSS Gen spezifisch abgeschaltet.

Mit gentechnisch veränderten Kartoffeln zur Erhöhung des Carotinoidgehaltes (Zeaxanthin) in Kartoffelknollen beschäftigt sich die TU-München. Ein Freisetzungsvorhaben wurde im Juni 2003 jedoch zerstört. Carotinoide vermitteln unter anderem einen besseren Schutz gegen degenerative (altersbedingte) Erkrankungen beim Menschen, wobei speziell Zeaxanthin Augenerkrankungen wie Altersblindheit vorbeugen soll.

2.7 Weizen mit Pilz- und Herbizidresistenz

2.7.1 Weizen mit Resistenz gegen Pilzkrankheiten

In der Weizenzüchtung wird vermehrt auf den Einsatz gentechnologischer Methoden gesetzt. Die wichtigsten Ziele sind Herbizidresistenz, Resistenz gegen Pilzkrankheiten (Fusarien, Mehltau, Septoria, Roste) und Viren. Bisher wurden in der EU 23 Weizen-Freisetzungsvorhaben in den Ländern Großbritannien, Spanien, Italien und Belgien genehmigt. Für viele Resistenzgene sind diagnostische Marker entwickelt worden. In vitro-Selektionssysteme gegen Pilzkrankheiten sind etabliert. Die Transformation der Pflanzen gestaltet sich wegen der Größe und Komplexität des Genoms jedoch nach wie vor schwierig [17]. Eine weitere Möglichkeit ist die Erhöhung der unspezifischen Pilzabwehr. Weizen wird z. B. mit der Chitinase aus Gerste transformiert, die den Weizen vor pathogenen Pilzen (Mehltau) schützen soll, indem die Zellwände der Pilze abgebaut werden [74].

An der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich wird in der Grundlagenforschung mit transgenem Weizen, der das virale Protein KP4 enthält, gearbeitet. KP4 besitzt eine pilzabwehrende Wirkung und soll eine Resistenz gegen den Weizensteinbrand *Tilletia tritici* vermitteln [76]. Zusätzlich besitzt dieser Weizen eine Toleranz (bar-Gen) gegenüber dem herbiziden Wirkstoff Phosphinothricin [11]. Phosphinothricin, ein mikrobieller Naturstoff, ist auch synthetisch herstellbar und als Glufosinat (Basta) zugelassen [122].

Der erste Freisetzungsversuch von transgenem Weizen in Deutschland, der nach Genehmigung durch das Robert-Koch-Institut im thüringischen Friemar starten sollte, wurde 2003 abgesagt, nachdem Anti-Gentechnik-Aktivist*innen eine Aussaat verhinderten. Getestet werden sollte Weizen der Fa. Syngenta (Tab. 11) mit gentechnisch vermittelter, nicht organspezifischer Pilzresistenz gegen *Fusarium* [12]. Nach Auskunft der Firma Syngenta wurde fusariumresistenter Sommerweizen in USA, Argentinien und Kanada bereits in Freisetzungsversuchen geprüft. In Europa war dies bisher noch nicht möglich. Eine Sortenzulassung ist weltweit noch nicht beantragt, optimistisch gesehen wird frühestens 2010 eine vermarktungsfähige Sorte zur Verfügung stehen.

Tab. 11: Transgener Weizen – Freisetzungsversuch in Deutschland 2003

Unternehmen	Markenname	Event	Zulassung
Syngenta		Event im Test*	>2010

*[ein neues, aus bestimmten Fusarien stammendes Gen, das für eine „Entgiftung“ der Mykotoxine sorgen soll (www.bioSicherheit.de)]

Fusarien bilden hochgiftige Mykotoxine, welche die pflanzlichen Produkte und die daraus erzeugten Lebens- und Futtermittel erheblich belasten können. Maßnahmen, die zu einer Reduzierung der Mykotoxingehalte im Getreide führen, sind u.a. Resistenzzüchtung, Anbaumaßnahmen und Fungizide. Die bei Getreide am häufigsten anzutreffenden Mykotoxine (Deoxynivalenol (DON) und Nivalenol) beeinträchtigen das Immunsystem und verursachen Vergiftungserscheinungen wie Übelkeit und Erbrechen. Andere Fusarien-Toxine wirken krebserregend oder stören den Hormonhaushalt (Zearalenon) [13]. In Deutschland sind derzeit noch keine gesetzlichen Grenzwerte für Mykotoxine in Speisegetreide, Mehl oder verarbeiteten Getreideprodukten festgelegt, sondern nur Richtwerte für die Beurteilung des DON-Gehaltes in Futtermitteln [71]. Die vorgeschlagenen Grenzwerte der europäischen Kommission sind noch nicht beschlossen (Stand April 2003). Einige Länder, z.B. Holland, haben deswegen nationale Vorschriften erlassen.

Kanadische Züchter wollen 2004 eine neue, nicht gentechnisch veränderte, fusarium-resistente Weizensorte unter dem Namen „Wonder“ auf den Markt bringen [91].

2.7.2 Weizen mit Herbizidresistenz

In den USA steht eine herbizidtolerante Roundup Ready-Weizensorte der Firma Monsanto bereits kurz vor der Markteinführung (Tab. 12). Aus den Angaben geht nicht hervor, mit welchen Resistenzmechanismen die Firma arbeitet oder aus welchem Organismus die Gene stammen. Im Frühjahr 2002 wurde auf ca. 14 ha Versuchsfläche Roundup Ready-Weizen angebaut [123]. Für Europa erwägt Monsanto derzeit lediglich die Zulassungsbeantragung für den Import [124].

Tab. 12: Herbizidtoleranter Weizen

Unternehmen (Wirkstoff)	Markenname	Event	Zulassung
Monsanto (Glyphosat)	“Roundup Ready Weizen”		2003/2004 erwartet

Studien der Universität von Saskatchewan (Kanada) zufolge müssen kanadische Landwirte bei zukünftigem Anbau von Gentechnik-Weizen (Roundup Ready-Weizen) mit Ertragseinbußen in einer Höhe von 185 Millionen kanadischen Dollar rechnen. Ursache ist der Verlust von Exportmärkten aufgrund mangelnder Verbraucherakzeptanz [zit. in 154]. Die geplante Einführung von gentechnisch verändertem Weizen auf dem kanadischen Markt zu verhindern ist nach Mitteilung im Ernährungsdienst 2003 [83] auch das oberste Ziel des „Canadian Wheat Board“ (kanadische Exportagentur), nachdem 80 % der Kunden Gentechnik in Lebensmitteln ablehnen. Wegen der Furcht, Absatzmärkte zu verlieren, wird der Nutzen von Roundup Ready-Weizen für den Erzeuger in Frage gestellt. Die gleiche Haltung nimmt bei dieser Diskussion Australien ein.

Gentechnisch veränderter Weizen befindet sich in den USA und Kanada noch in der Entwicklungsphase, die Industrie rechnet allerdings mit einer kommerziellen Nutzung von Roundup Ready-Weizen ab 2003/2004 [123].

Eine steigende Anzahl von Freisetzungsversuchen lässt darauf schließen, dass in absehbarer Zeit mehrere marktfähige Sorten zur Verfügung stehen.

2.8 Wein mit gentechnischen Veränderungen

Seit 1999 laufen in Franken und der Pfalz Versuche mit gentechnisch veränderten Weinreben der Sorten Riesling, Dornfelder und Seyval blanc. Untersucht wird die verbesserte Widerstandsfähigkeit transgener Sorten gegen Pilzbefall und die positiven Auswirkungen auf die Qualität des Weines [89]. Da hiesige Rebsorten in ihrem Genpool keine Abwehrmechanismen gegen die Pilzkrankheiten aufweisen, ist die Züchtung pilzresistenter Rebsorten auf konventionellem Wege schwierig. Gene aus der Gerste sollen die Weinreben widerstandsfähig gegen Grauschimmel (*Botrytis cinerea*), Echten (*Uncinula necator*) und Falschen Mehltau (*Plasmopara viticola*) machen und damit den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln vermindern. Weitere Züchtungsziele gentechnischer Arbeiten sind Resistenzen gegen verschiedene Pflanzenviren, Bakterien und Nematoden zu etablieren, die Erhöhung der Kältetoleranz (Kanada) sowie die Geschmacks- und Farbstabilität des Weines (Australien). Aufgrund fehlender Verbraucherakzeptanz, vor allem in Europa, werden vorerst jedoch keine gentechnisch veränderten Reben im Handel erhältlich sein [93].

2.9 Weltweite Zulassungen weiterer gentechnisch veränderter Pflanzen

Für folgende Kulturen bestehen noch Zulassungen:

Zucchini mit Virusresistenz in USA;

Radicchio/Chicorée mit Herbizidresistenz (Glufosinat) und männliche Sterilität in USA und EU (nur zu Saatgut Zwecken);

Papaya mit Virusresistenz (papaya ringspot virus, PRSV) in USA, Japan und Kanada.

Melone mit Virusresistenz (cucumber mosaic virus) und Reifeverzögerung (durch Unterdrückung der natürlichen Ethylenbildung) in USA und Japan;

Reis mit Herbizidresistenz (Glufosinat/Glyphosat), Resistenzen gegen Schädlinge (Insekten) und Krankheitserreger (Pilze, Bakterien, Viren) in den USA, Kanada und Japan;

Flachs (Leinsamen) mit Herbizidresistenz gegen den Wirkstoff Sulfonylurea;

Nelken (Schnittblumen) mit Herbizidresistenz gegen den Wirkstoff Sulfonylurea, veränderter Blütenfarbe und längerer Haltbarkeit; **Petunien** mit veränderter Blütenfarbe; **Paprika** mit CMV-Resistenz.

Tomaten mit Reifeverzögerung, Resistenzen gegen Insekten und Viren sowie Herbizidresistenz in den USA, Kanada, China, Japan und Mexiko. Der Anbau gentechnisch veränderter Tomaten ist in der EU nicht erlaubt, verarbeitete Produkte sind nicht zugelassen.

[Quellen: AGBIOS, ISAAA, USDA, Transgen, EU, Firmenunterlagen]

3.0 Anbauflächen gentechnisch veränderter Kulturpflanzenarten

Weltweit betrachtet befinden sich 99 % der Flächen, auf welchen gentechnisch veränderte Pflanzen angebaut werden, in sechs Ländern. Mit 42,8 Mio. ha liegt die USA an der Spitze, gefolgt von Argentinien (13,9 Mio. ha), Kanada (4,4 Mio. ha), Brasilien (3,0 Mio. ha), China (2,8 Mio. ha) und Südafrika (0,4 Mio. ha). Für 2003 wird der Anbau insgesamt mit 67,7 Mio. ha angegeben. Gentechnisch veränderte Kulturen wurden von ca. 7 Mio. landwirtschaftlichen Betrieben in 18 Ländern angebaut. Eine Auflistung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen nach Eigenschaften wird in Tabelle 13 gegeben. Gegenüber dem Anbaujahr 2002 ergibt sich eine Zunahme von 9,0 Mio. ha, das entspricht 15 %. Die Ausdehnung des Anbaus gentechnisch veränderter Sorten von Sojabohnen, Mais, Baumwolle und Canola (Sommerraps) erreicht ein Viertel (25 %) der gesamten globalen Anbauflächen [10].

Tab. 13: Weltweite Anbauflächen (in Mio. ha) gentechnisch veränderter Kulturpflanzen in den Jahren 2002 und 2003

Kultur	2002 Mio. ha	2003 Mio. ha	Anteil an der Gesamtfläche in % (für 2003)
HR-Soja	36,5	41,4	61
Bt-Mais	7,7	9,1	13
HR-Sommerraps (Canola)	3,0	3,6	5
HR-Mais	2,5	3,2	5
Bt/HR-Mais	2,2	3,2	5
Bt-Baumwolle	2,4	3,1	5
Bt/HR-Baumwolle	2,2	2,6	4
HR-Baumwolle	2,2	1,5	2
Total	58,7	67,7	100

Quelle: International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA)

Transgene, herbizidresistente Sojabohnen erreichen in beiden Jahren die Spitzenposition in den folgenden sieben Ländern: USA, Argentinien, Kanada, Mexiko, Rumänien, Uruguay und Südafrika. Die zweite Stelle nehmen gentechnisch veränderte Maissorten (Bt-Mais) ein; ihr Anbau erfolgt in den USA, in Kanada, Argentinien, Südafrika, Spanien, Honduras und in begrenztem Umfang (auf Versuchsflächen) auch in Deutschland. Sommerraps mit Herbizidresistenz steht an dritter Position mit dem Anbau in Kanada und den USA. Die restlichen fünf Kulturpflanzen mit gentechnisch veränderten Sorten umfassen nur 2 - 5 % der Flächen mit transgenen Pflanzen und zwar in der Reihenfolge: HR-Mais, Bt/HR-Mais > Bt-Baumwolle > Bt/HR-

Baumwolle > HR-Baumwolle. Ein Überblick zum weltweiten Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen für das Jahr 2003 wird in Anlage 1 und 2 gegeben.

Die Daten einer ISAAA Studie 2003 (Tab. 14) zeigen, dass die weltweite Anbaufläche von gentechnisch verändertem Mais im Vergleich zum Jahr 2002 um 25 % auf insgesamt 15,5 Mio. ha, von gentechnisch verändertem Sommerraps (Canola) um 20 % auf 3,6 Mio. ha und von gentechnisch veränderter Baumwolle von 6 % auf 7,2 Mio. ha zugenommen hat. Der Anbau von biotechnologisch verbesserter Soja stieg um 13 % auf 41,4 Mio. ha an und erreicht damit die 55 %-Marke der weltweiten Sojaanbaufläche von 76 Millionen Hektar [10].

Tab. 14: Weltweite Anbauflächen konventioneller und transgener Pflanzen im Vergleich

Kultur	Global 2003 (Mio. ha)	Anbauflächen		Transgen 2003 (%)
		Transgen 2002 / 2003 (Mio. ha)		
Soja	76	36,5	41,4	55
Baumwolle	34	6,8	7,2	21
Sommerraps	22	3,0	3,6	16
Mais	140	12,4	15,5	11
Total	272	58,7	67,7	

Quelle: ISAAA 2003

Es wird erwartet, dass die weltweite Anbaufläche gentechnisch veränderter Pflanzen bis 2008 auf 100 Mio. ha ansteigt.

3.1 Spezielle Situation in einzelnen Ländern

3.1.1 USA / Kanada

Die vereinigten Staaten waren auch im Jahr 2003 mit 63 % der gesamten Anbaufläche gentechnisch veränderter Organismen (GVO) weltweit führend in der Produktion mit gentechnisch veränderten Pflanzen. Angebaut wurden Soja-, Mais-, Baumwoll-, Raps- und Kartoffelsorten mit verschiedenen Resistenzgenen (Tab. 15).

Tab. 15: Anbauflächen gentechnisch veränderter Kulturen in den USA 2003

Kultur	% Anteil an Gesamt-anbaufläche	GVO-Fläche Mio. ha	davon (%)		
			Bt-Resistenz	H-Resistenz	stacked genes*
Soja	81	24,30	--	> 99,0	---
Mais	40	12,80	62,0	27,0	10,0
Baumwolle	69	3,90	19,0	44,0	37,0
Raps	76	0,40	--	75,0	---
Kartoffeln	< 2	< 0,01	---	---	---

*) Kombination von Insekten- und Herbizidresistenz

Quelle: USDA; ISAAA; TransGen; Firmenangaben (Monsanto)

Nach offiziellen Angaben der US-Landwirtschaftsbehörde USDA stieg auch 2003 die Gesamtanbaufläche für gentechnisch veränderte Pflanzen trotz skeptischer Einstellung der Verbraucher in Europa und Asien, den wichtigsten Absatzmärkten für US-Agrarexporte, weiter an (NASS Report 2003) [9].

In Kanada nimmt die Akzeptanz von gentechnisch verändertem Raps seit seiner Einführung 1995 ständig zu. Im Jahr 2000 bauten bereits über 80 % der westkanadischen Landwirte transgene Sorten an. Das wichtigste Merkmal ist die Herbizidresistenz. Angebaut werden: Roundup Ready-Raps (tolerant gegen den Herbizidwirkstoff Glyphosat), Liberty Link-Raps (tolerant gegen den Herbizidwirkstoff Glufosinat) und „In Vigor-Sorten“ (Hybridraps, tolerant gegen den Herbizidwirkstoff Glufosinat) [41]. Bei Sommerraps hat 2002 allein Seedlink/Liberty Link einen Marktanteil von ca. 20 % (Firmenangabe: Bayer-CropScience). In Nordamerika wurden 2002 0,51 Mio. ha transgener Raps ausgesät.

Seit 1996 werden in den USA und Kanada gentechnisch veränderte **Kartoffelsorten** (Bt-Sorten) angebaut. Ihre Anbaufläche steigt bis 1999 auf 20.000 ha (USA) bzw. 5.000 ha (Kanada) an. Ab dem Jahr 2000 reduziert sich die Anbaufläche fortlaufend, da die Anpflanzung der Bt-Sorten infolge fehlender Wirkung gegen Blattläuse als

Virusvektoren nicht zu einem verminderten Einsatz von Insektiziden beigetragen hat. Im aktuellen ISAAA Report 2003 werden Kartoffeln nicht mehr aufgeführt.

Auf Flächen unter 100.000 ha werden gentechnisch veränderte, virusresistente **Papayas** und **Squash** (Zucchini) angebaut. Der kommerzielle Anbau transgener **Tomaten** und **Tabakpflanzen** wurde 2002 fast ganz eingestellt, obwohl die Anbaufläche gentechnisch veränderter Tomaten in den USA seit 1998 bei ca. 200.000 ha lag. Die erste als Lebensmittel zugelassene gentechnisch veränderte FlavrSavr-Tomate hat die wirtschaftlichen Erwartungen der Hersteller aufgrund schlechter Qualitäten für die technische Verarbeitung nicht erfüllt.

Mit Hilfe der Gentechnologie wird zunehmend daran gearbeitet, die Qualität bzw. Inhaltsstoffe zu verbessern. In den USA werden bereits **Sojabohnensorten** die einen höheren Anteil an ungesättigten Fettsäuren (Ölsäure) enthalten, auf einer Fläche von 30.000 ha angebaut. Damit wird das Produkt Sojaöl ernährungsphysiologisch aufgewertet.

3.1.2 Mexiko und Südamerika

In Mexiko und Uruguay werden gentechnisch veränderte Pflanzen nur in geringem Umfang angebaut. In Kolumbien wurde im Jahre 2002 erstmals Bt-Baumwolle und in Honduras Bt-Mais kommerziell genutzt.

In Argentinien haben sich die herbizidresistenten Sojasorten fast vollständig durchgesetzt, der GVO-Anteil liegt bei 92 %. In Brasilien, dem größten Sojalieferanten für Europa, war der Anbau gentechnisch veränderter Sojabohnen bis September 2003 offiziell nicht erlaubt. Es wird angenommen, dass gentechnisch verändertes Saatgut auf illegalem Wege aus Argentinien eingeschleust und angebaut wird, offizielle Anbauzahlen gibt es jedoch nicht. Nach Informationen von transgen.de hat Brasilien im September 2003 nun doch den Anbau von gentechnisch veränderten Sojabohnen erlaubt mit der Auflage, dass Anbauer Lizenzgebühren bezahlen und für mögliche Umweltschäden haften müssen. Die Regelung ist zunächst auf ein Jahr begrenzt. Bei einem GVO-Anteil von mehr als 1 % (künftig 0,9 %) ist eine Kennzeichnung der Ware vorgeschrieben [18].

Es wird erwartet, dass der Anbau transgener Pflanzen weiterhin zunimmt.

3.1.3 China

In China hat sich der Anbau von transgener Bt-Baumwolle von 2.000 Hektar (1997) auf 500.000 Hektar im Jahre 2000 erhöht. Eine Verdreifachung der Anbaufläche auf 1,5 Mio. ha erfolgte 2001. Im Jahre 2003 beträgt die Anbaufläche von Bt-Baumwolle bereits 58 % (2,8 Mio. ha.) der gesamten Baumwollanbaufläche (4,8 Mio. ha).

Chinesische Firmen erzeugen zur Zeit einen wachsenden Anteil des transgenen Saatgutes in einem „joint venture“ mit der Firma Monsanto selbst [43]. Das Land investierte allein 1999 ca. 112 Mio. Euro in die grüne Gentechnologie und liegt damit nach Nordamerika an zweiter Stelle bei der Höhe der Investitionen. Schwerpunktmäßig wird bei der Entwicklung transgener Pflanzen die Widerstandsfähigkeit gegenüber Schadinsekten und Pflanzenkrankheiten erforscht. Chinesische Forschungsinstitute arbeiten derzeit an über 140 Gen-Tech-Projekten. Bei 65 fanden bereits Freilandtestungen statt. Zugelassen für den kommerziellen Anbau sind verschiedene Sorten von Bt-Baumwolle, süße Paprika, Petunien und Tomaten.

Freigesetzt werden verschiedene Sorten von Reis, Mais, Soja, Kartoffeln, Raps, Chili und Papaya [151]. Eine weitere Steigerung der Anbauflächen ist zu erwarten.

3.1.4 Japan, Australien, Indien, Entwicklungsländer

In Japan liegen 15 Genehmigungen für transgene Rapssorten vor, in Australien sind 7 für den Anbau und 3 nur für Importe zugelassen. Gentechnisch veränderte Maissorten sind in Japan und Australien nur für den Import und/oder als Futtermittel erhältlich. Anders ist die Situation in Indien und anderen Entwicklungsländern. Der ISAAA-Bericht [10] gibt an, dass im Jahre 2003 etwa 30 % der globalen Biotech-Anbaufläche in elf Entwicklungsländern (u.a. Indien, Kolumbien, Philippinen) lag. In Indien steigt der Anbau von Bt-Baumwolle fortgesetzt an, ein bedeutender Anstieg wird auch in den nächsten Jahren erwartet.

Mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung lebt in Ländern, in denen gentechnisch veränderte Kulturpflanzen zugelassen sind und zum Anbau kommen.

Ein weiterer Anstieg der Anbauflächen gentechnisch veränderter Pflanzen kann erwartet werden.

3.1.5 Europa

Nur in geringem Umfang werden gentechnisch veränderte Pflanzen in Spanien, Rumänien, Bulgarien und der Ukraine kommerziell genutzt. In Deutschland sind bisher keine Sortenzulassungen ausgesprochen. Ein Versuchsanbau zur Erweiterung der vorhandenen Erfahrungsbasis erfolgt auf deklarierten Flächen. Sie umfassen in Deutschland im Jahre 2001 ca. 2.500 ha, 2002 ca. 1.000 ha und 2003 weniger als 250 ha (Firmenangaben). Es kommt vor allem Saatgut von gentechnisch veränderten Maissorten (Bt-/HR-Mais) zur Anwendung. Ein Versuchsanbau mit gentechnisch veränderten Zuckerrüben oder gentechnisch verändertem Raps findet nur in geringem Umfang statt. Für die vier bisher in der EU zur Verfügung stehenden gentechnisch veränderten Maissorten besteht die Zulassung teilweise nur für Import und Verarbeitung [5].

Spanien ist das einzige EU-Land mit einem seit 1998 genehmigten, kommerziellen Anbau von Bt-Maissorten. Auf einer Fläche von etwa 25.000 ha (5 % der Maisanbaufläche) wurde im Jahre 2002 insektenresistenter Bt-Mais (Bt-176 der Fa. Syngenta) angebaut. 2003 wurden fünf neue Bt-Sorten zugelassen, die Anbaufläche erhöhte sich gegenüber 2002 um etwa ein Drittel auf 32.000 Hektar. Bei starkem Maiszünslerbefall liefert die resistente Sorte 3-12 % höhere Erträge gegenüber konventionellen Sorten. Nach Schätzungen kommen etwa 36 % der spanischen Mais-Anbaufläche (ca. 500.000 ha) für Bt-Mais in Frage. Die Flächen für Bt-Mais werden jedoch nicht ausgeweitet, solange die Zulassung und Kennzeichnung von GVO-Pflanzen EU-einheitlich nicht geregelt ist [32]. In der EU wird trotz mehrerer Sortenzulassungen kein gentechnisch veränderter Raps angebaut.

4.0 Die Bedeutung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen für den praktischen Pflanzenschutz

Seit 1996 hat die Anbaufläche gentechnisch veränderter Kulturen stetig zugenommen und damit auch die öffentliche und politische Diskussion über den Einsatz der „Grünen Biotechnologie“ weltweit. Im Laufe der Jahre wurden viele Studien zu den wirtschaftlichen und umweltrelevanten Vor- und Nachteilen des kommerziellen Einsatzes gentechnisch veränderter Kulturen durchgeführt und veröffentlicht. Ihre Auswertung hinsichtlich Veränderungen oder Einsparungen beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln führt jedoch, wie folgend dargestellt, nicht immer zu einem Konsens der beteiligten Herausgeber bzw. Interessenvertreter. Meistens werden nur Mengenvergleiche dargestellt ohne Diskussionen weiterer Nebeneffekte. Über Wirtschaftlichkeit kann auch nur gesprochen werden, wenn längere Zeiträume mit unterschiedlichen Voraussetzungen erfasst werden. Eine Verallgemeinerung auf Basis von Einzeldaten darf nicht überbewertet werden.

4.1 Aufwand / Einsparungen bei Insektiziden und Herbiziden in Mais

4.1.1 Insektizide

Mais ist in Anbauwert und Flächenausdehnung die wichtigste Kultur in den USA. Seit über 80 Jahren wird versucht, Bekämpfungsstrategien gegen den Maiszünsler zu entwickeln, der in der US-Körnermaisproduktion Ertragsausfälle bis zu 7,5 Mio. t pro Jahr verursachen kann [30]. Konventionelle Züchtungsmethoden, biologische Bekämpfungsstrategien und der Einsatz von Insektiziden, mit denen nur 5 % der Flächen behandelt wurden, führten nicht zu gewünschten Erfolgen. Erst die Einführung transgener Bt-Maissorten ermöglichte eine einfache, wirkungsvolle Zünslerbekämpfung. Die Auswirkungen des Anbaus von Bt-Mais auf den Insektizidverbrauch in den USA 1997 und 1998, durchgeführt vom US National Center for Food and Agricultural Policy (NCFAP), stützen sich auf Erhebungen der US-Landwirtschaftsbehörde USDA (United States Department of Agriculture). Danach wurden 1997 1,6 Mio. ha (5 %), 1998 5,8 Mio. ha (18 %) der Maisanbaufläche mit Bt-Mais bestellt. Die USDA-Daten belegen einen Rückgang des flächenbezogenen Verbrauchs der gebräuchlichsten insektiziden Wirkstoffe (Chlorpyrifos, Permethrin, Parathion-methyl, lambda Cyhalothrin, Bt-Präparat) auf 7 % der Gesamtanbaufläche für Mais. Davon werden 2 % der Markteinführung eines neuen Insektizides zuge-

schrieben, die Hälfte der verbliebenen 5 % dem 1998 deutlich gestiegenen Bt-Maisanbau.

In der Studie wird eine Fläche von 500.000 ha angegeben, auf der keine Insektizide mehr ausgebracht werden. Die Kosten einer Insektizidbehandlung werden auf 35 Euro/ha geschätzt. Daraus ergibt sich eine Kosteneinsparung von 17,5 Mio Euro. In den USDA-Statistiken wird jedoch beim Insektizidverbrauch nicht nach der Art der Schadinsekten unterschieden, insofern ist nicht zu ermitteln, inwieweit geringerer Insektizidverbrauch in direktem Zusammenhang mit dem Anbau von Bt-Mais steht [27].

Von der US-Umweltbehörde EPA (Environmental Protection Agency) wird der Nutzen bei Einführung von Bt-Mais für die US-Landwirtschaft bei niedrigem Zünslerbefall auf 38 Mio. Euro und bei hohem Befall auf bis zu 219 Mio. Euro pro Jahr geschätzt [29].

In weiteren ebenfalls vom NCFAP durchgeführten Studien über einen Zeitraum von vier Jahren (1995-1999) wird festgestellt, dass sich der Verbrauch der fünf in den USA gegen den Maiszünsler eingesetzten Insektizide insgesamt um 6 % reduziert. Davon werden 1,5 % auf den Anbau von Bt-Mais zurückgeführt. Da nur 5 % der Maisfelder vor Einführung der Bt-Sorten gegen den Maiszünsler behandelt wurden, ergibt sich nur ein geringer Rückgang im Insektizidverbrauch. Bedingt durch die hohen Technologiegebühren, die den Saatgutpreis mit etwa 16 Euro/ha zusätzlich belasten, wird der Anbau von Bt-Mais nur in Jahren mit starkem Zünslerbefall wirtschaftlich positiv beurteilt [45].

Nach Erhebungen der EPA haben sich durch Anbau von Bt-Mais die empfohlenen Insektizidbehandlungen gegen den Maiszünsler (European Corn Borer) flächenmäßig 1999 von 2,4 Mio. ha um etwa ein Drittel auf 1,6 Mio. ha reduziert [15]. GIANESSI et al. 2002 [29] errechnen, dass sich durch den Anbau von Bt-Sorten der Insektizidverbrauch in den USA um 1.200 t (Wirkstoffmenge) pro Jahr verringert.

Die Auswertung von Anbauversuchen zur Ermittlung der wirtschaftlichen Vorteile von Bt-Mais an zwei Standorten in Spanien (2001/2002) ergibt in einer Region mit starkem Zünslerbefall Insektizideinsparungen von durchschnittlich 42 Euro/ha. Unter der Annahme, dass 36 % (173.000 ha) der Maisanbaufläche mit Bt-Mais bepflanzt werden, ergibt sich eine Reduzierung der Wirkstoffmengen von 35 – 54 t, entsprechend 26 % - 35 % der Gesamtwirkstoffmenge, die ausgebracht wird. In Regionen mit leichtem bis mittlerem Zünslerbefall werden die von ihm verursachten Ertragsausfälle hingenommen und keine Insektizide eingesetzt [32]. GIANESSI et al. 2003 [57] stützen sich in ihrer Studie auf Untersuchungen, die belegen, dass in Spanien auf etwa 67.000 ha Organophosphate (Chlorpyrifos) und auf 11.000 ha Pyrethroide gegen Zünslerbefall ausgebracht werden. Die durchschnittlich ausgebrachte Wirkstoffmenge beträgt 0,58 kg/ha. In Frankreich, Italien und Deutschland kommen nach ihrer

Auswertung dagegen nur Pyrethroide mit einer durchschnittlichen Wirkstoffmenge von 0,02 kg/ha zum Einsatz. Sie gehen davon aus, dass in der EU gegen den Maiszünsler auf 448.000 ha 52,6 t Wirkstoffe mit einem Kostenaufwand von 13 Mio. Euro pro Jahr ausgebracht werden.

4.1.2 Herbizide

In den USA werden im Mais jährlich durchschnittlich 2,3 kg an herbiziden Wirkstoffen pro Hektar ausgebracht. Etwa 40 % der von US-Farmern ausgebrachten Pflanzenschutzmittel entfallen auf Mais-Herbizide [55]. Über Einsparungsmöglichkeiten bei Anbau herbizidresistenter Sorten liegen konträre Auffassungen vor. Auf Datenbasis der jährlich bei allen Farmen durchgeführten Erhebungen durch den Economic Research Service (ERS) der US-Landwirtschaftsbehörde (USDA) werden Auswertungen über die Menge verbrauchter Herbizide infolge des Anbaus herbizidresistenter Maispflanzen in den Jahren 1996 - 98 vorgenommen [49]. Eine eindeutige Reduzierung im Herbizidverbrauch ist bei den Ergebnissen nicht zu erkennen. Der Verbrauch an Wirkstoffen geht zwar von 1996 bis 1998 von 3,0 auf 2,70 kg/ha (10 %) zurück, der Mehrverbrauch an Glyphosat bewegt sich im gleichen Zeitraum jedoch nur zwischen 0,03 und 0,04 kg/ha, obwohl der Flächenanteil an herbizidresistentem Mais in den untersuchten Regionen von 3 % auf 18 % zugenommen hat. Als Ursachen werden unter anderem Schwankungen in Klima und Unkrautdruck aufgeführt.

In einer weiteren Studie wird festgestellt, dass HR-Mais vor allem auch wegen der hervorragenden Möglichkeit, Problemunkräuter zu bekämpfen, von den Landwirten bevorzugt angebaut wird. Die Landwirte ersetzen in den letzten Jahren die Anwendung von bodenwirksamen Voraufherbiziden und Nachaufherbiziden mit der Anwendung von Glyphosat bzw. Glufosinat und sparen hochgerechnet etwa 2,6 Mio. kg/Jahr bzw. 1,1 kg/ha an herbiziden Wirkstoffmengen ein [29].

BENBROOK 2001 [55] geht in seiner Untersuchung zum Einfluss herbizidtoleranter Maissorten auf den Herbizidverbrauch in den USA davon aus, dass 30 % der Roundup Ready-Maisflächen (RR-Maisflächen) nach dem „Roundup reliant“ Programm und 70 % nach dem „residual herbicide applied“ Programm behandelt werden. Das „Roundup-reliant“ Programm beinhaltet eine vor der Saat, bzw. zur Saat ausgebrachte Roundup Anwendung, gefolgt von 1-2 Nachaufapplikationen einschließlich der gelegentlich notwendigen Anwendung eines bodenwirksamen Nachaufmittels. Beim „residual herbicide applied“ Programm folgen einer Voraufbehandlung mit einem bodenwirksamen Herbizid eine oder zwei Nachaufbehandlungen mit Roundup. Das „total-glyphosate-system“, die alleinige Anwendung von Roundup, bezieht er nicht in seine Untersuchung ein. Der Herbizidverbrauch (Wirkstoffmengen) erhöht sich bei Anwendung der Roundup Ready-Technologie von 2,7 kg/ha im Jahre

1999 auf 3,1 kg/ha im Jahre 2000. Der Einsatz auf konventionell bestellten Flächen reduziert sich dagegen von 2,5 kg/ha in 1999 auf 2,3 kg/ha in 2000. In der Vegetationsperiode 1999 werden RR-Maisflächen mit durchschnittlich 0,25 kg/ha an Herbiziden mehr behandelt (9,6 %) als konventionelle Flächen, aufgrund geringerer Wirkstoffmengen neuer Herbizidentwicklungen. Vorausgesetzt, Roundup Ready-Mais wird auf 6,74 Mio. ha angebaut, so erhöht die RR-Technologie den Gesamt-Herbizidverbrauch um weniger als 1 %.

Im Jahr 2000 führt der Anbau von Roundup Ready-Mais zu einem ebenfalls geringen Mehrverbrauch an Herbiziden von 1,2 %. Der Anstieg resultiert aus einem Rückgang der im konventionellen Anbau eingesetzten Herbizidmengen von 7,5 % aufgrund geringerer Wirkstoffmengen neu eingeführter Herbizide (Wirkstoff: S-Metalachlor) und einem um 0,29 kg/ha höheren Herbizidverbrauch bei RR-Mais.

BENBROOK 2001 [55] stellt abschließend fest, dass sich aufgrund der jährlichen Schwankungen im Herbizidverbrauch auch durch Anwendung unterschiedlicher Roundup Ready-Systeme im Durchschnitt keine Herbizidminderungen bei Einsatz der Roundup Ready-Technologie ergeben. Eine Reduzierung im Herbizidverbrauch bei Einsatz der Roundup Ready-Technologie ist seiner Meinung nach erst mit der Entwicklung von Komplementärherbiziden mit geringeren Wirkstoffmengen zu erwarten. Berechnungen der Consulting Company Doane, St.Louise (2001) ergeben dagegen nach PHIPPS und PARK 2002 [30], dass die Anwendung herbizidtoleranter Maissorten den Herbizidaufwand um durchschnittlich 30 % (0,69 kg/ha) reduzieren. Dies entspricht bei globalem Anbau herbizidtoleranter Maissorten (2,1 Mio. ha) einer Gesamt-reduzierung an Pflanzenschutzmitteln von 1.500 t/Jahr.

4.2 Aufwand/Einsparungen bei Herbiziden in Raps

In Kanada wurde der Herbizideinsatz in gentechnisch verändertem Sommerraps in den Jahren 1997 bis 2000 im Auftrag des Canola Council of Canada (CCC) untersucht. Danach sparen Landwirte, die gentechnisch veränderte Sorten anbauen, im Vergleich zum Anbau konventioneller Sorten, im Anbaujahr 1997 insgesamt 1.500 t, in den Jahren 1999/2000 jeweils 6.000 t an Herbiziden (formulierte Produkte). Unter der Annahme, dass die gesamte Rapsanbaufläche Kanadas mit transgenen Sorten bebaut wird, ist mit Einsparungen an Herbizidmengen in der Größenordnung von 9.000 t - 11.000 t pro Jahr zu rechnen [41]. Das zeigt, welche große Bedeutung der Unkrautbekämpfung zukommt und welche hohen Aufwendungen auf konventioneller Basis erforderlich sind. Anbauer transgener Sorten haben im Vergleich zu Anbauern konventioneller Sorten 40 % geringere Herbizidkosten (transgen 40,06 Euro/ha - her-

kömmlich 53,65 Euro/ha), obwohl die durchschnittliche Anzahl der Herbizidapplikationen mit 2,13 geringfügig über der Behandlungsrate konventioneller Anbauer mit 1,78 Applikationen liegt. Die Differenz bei den Anwendungen ist bedingt durch häufigeren Glyphosateinsatz bei transgenen Sorten und erhöhten Einsatz ackerbaulicher Maßnahmen zur Unkrautkontrolle bei konventionellen Sorten. Konventionell wirtschaftende Landwirte verbrauchen mehr Herbizide mit bodenwirksamer Komponente. Für die US-Landwirtschaft errechnen GIANESSI et al. 2002 [29] für das Jahr 2001 bei Anbau herbizidtoleranter Rapssorten eine Einsparung von 241 t an Wirkstoffen (0,7 kg/ha). Frühere Untersuchungen von RASCHE und GADSBY 1997 [85] ergeben bei Anbau Glufosinat-toleranter Rapssorten Einsparungen im Gesamtherbizidverbrauch in Höhe von 1,0 kg/ha.

4.3 Aufwand/Einsparungen bei Herbiziden in Sojabohnen

CARPENTER 2001 [45] stellt fest, dass die Gesamtmenge eingesetzter Herbizide im Sojaanbau von der Einführung transgener Sorten im Jahre 1995 bis 1999, über vier Jahre gerechnet, konstant geblieben ist. Veränderungen ergeben sich jedoch im Herbizidgebrauch. Die Verwendung von Glyphosat, einem leicht abbaubaren Herbizid, ist im gleichen Zeitraum von 20 % auf 62 % der Anbauflächen gestiegen und von Imazethapyr, dem bis dato meistverwendeten Herbizid, von 44 % auf 16 % der Anbaufläche gesunken. Während die Sojaanbaufläche in diesem Zeitraum um 18 % zunimmt, sinkt die Zahl flächenbezogener Herbizidanwendungen um 12 %.

Für den Zeitraum 1997-2000 erfolgen Auswertungen von Daten aus sechs Anbauregionen der USA für Sojabohnen und Baumwolle. Bei herbizidtoleranten Sojabohnen ergibt sich eine signifikante Reduzierung des Herbizideinsatzes von 1,13 auf 0,65 kg/ha (Wirkstoff) bei signifikantem Anstieg des Glyphosatverbrauchs von 0,19 auf 0,49 kg/ha (Wirkstoff). Die Flächenausdehnung herbizidtoleranter Sorten steigt in diesem Zeitraum von 7,4 % auf 44,2 % der Gesamtanbaufläche.

In der gleichen Studie werden für Baumwolle keine signifikanten Unterschiede in der Herbizidanwendung durch Anbau gentechnisch veränderter Sorten ermittelt [49].

GIANESSI und CARPENTER 2000 [51] kommen bei ihrer Studie über die Auswirkungen des Roundup Ready-Systems auf den Herbizidverbrauch im Sojabohnenanbau der USA zu dem Ergebnis, dass es bei Betrachtung der einzelnen Jahre 1995 und 1998 nicht zu einer Reduzierung der Gesamtmenge an ausgebrachten Wirkstoffen bei großflächiger Einführung herbizidresistenter Roundup Ready-Sojabohnen gekommen ist. Die Anwendung von Glyphosat hat zwar stark zugenommen von 2.800 t (1995) auf 11.200 t (1998) Wirkstoff, geht aber nicht einher mit gleicher Reduzierung beim

Verbrauch anderer herbizider Wirkstoffe von 20.500 t im Jahre 1995 auf nur 15.500 t im Jahre 1998. Die Gesamtmenge eingesetzter Herbizide nimmt somit von 23.300 t Wirkstoff in 1995 auf 26.700 t Wirkstoff in 1998 deutlich zu. In die Untersuchung waren 13 US-Bundesstaaten involviert.

Im Jahre 2001 wurden zwei Drittel der US-Sojaanbaufläche mit gentechnisch veränderten Sorten (Roundup Ready) bestellt. Von GIANESSI et al. 2002 [29] wird in einer neuen Studie ein mögliches Einsparpotential von 13 t an Wirkstoffmengen pro Jahr errechnet. Die früher eingesetzten Herbizidkombinationen werden durch eine einmalige Glyphosat-Applikation mit einer Ausbringung von maximal 1,1 kg Wirkstoff pro Hektar im Nachauflauf ersetzt. Dabei ist anzumerken, dass Jahresvergleiche eigentlich nur einen geringen Aussagewert haben.

PHIPPS und PARK 2002 [30] rechnen hoch, dass selbst bei der geschätzten Annahme einer nur 10 %igen Pflanzenschutzmittelreduzierung durch Einsatz herbizidtoleranter Sojabohnen der Gesamt-Pflanzenschutzmitteleinsatz im Jahr 2000 um 2.900 t (formulierte Produkte) reduziert wird.

Dagegen stellt BENBROOK 1999 [54] bei Auswertung statistischer Daten der USDA für das Jahr 1998 einen Mehrverbrauch an Herbiziden, gemessen als Wirkstoffmenge pro Flächeneinheit, bei Anwendung des Roundup Ready-Systems in Sojabohnen fest. Er verweist in der Studie auf die Einführung neuer Herbizide, die bereits mit Dosierungen von 50g/l Wirkstoff eingesetzt werden können, während bei Roundup 360g/l Wirkstoff ausgebracht werden und wiederholte Anwendungen üblich sind. Oft werden neben Glyphosat noch weitere Herbizide eingesetzt, so dass bei Nutzung des Roundup Ready-Systems im Vergleich zum konventionellen Anbausystem 2 bis 5 mal mehr an Präparatemengen (kg/ha) eingesetzt werden. Hier werden jedoch nur Mengenvergleiche dargestellt, ohne Hinweise auf Nebeneffekte auf die Umwelt.

Eine Auswertung aller im Zeitraum von 1996 bis 2000 veröffentlichten Studien zum Anbau herbizidresistenter Sojabohnen (Roundup Ready) in den USA, durchgeführt vom Zentrum für Landwirtschaft und Umwelt in Utrecht/NL kommt zu dem Ergebnis, dass die in den Studien errechneten Veränderungen im Pflanzenschutzmittelverbrauch, bei einer durchschnittlichen Reduzierung von 10 %, einen Schwankungsbereich zwischen - 40 % und + 7 % aufweisen. Dabei wird angemerkt, dass bei der Menge der eingesetzten Herbizide neben Roundup Ready-Soja auch andere Faktoren wie Bodenart, Unkrautdruck, Betriebsgröße, Management-Art, veränderte Anbauverfahren und Herbizid-Preise eine Rolle spielen [53].

4.4 Aufwand/Einsparungen bei Insektiziden in Baumwolle

Im Baumwollanbau bringen US-Farmer etwa 9.000 t Insektizide im Wert von 480 Mio. Euro pro Jahr aus. Bt-Baumwollsorten bewirkten nach ihrer Einführung ab 1996 eine Reduzierung des Insektizideinsatzes von 12 %, entsprechend 1.100 t [27, 46]. Die US-amerikanische Umweltbehörde schätzt, dass im Baumwollanbau weltweit 21 % der notwendigen Insektizide durch den Anbau von Bt-Baumwolle eingespart werden [15].

In China werden durch den Anbau insektenresistenter Bt-Baumwolle in den ersten vier Jahren nach Einführung mehr als 44.000 t Insektizide eingespart und die Zahl der Anwendungen deutlich reduziert. Durch den Einsatz von Bt-Sorten mindert sich der Insektizidaufwand um durchschnittlich 37 kg/ha [42]. Bei Anbau von Bollgard/Roundup Ready-Baumwolle mit kombiniertem Schutz (stacked genes) kann in einigen Gebieten die Anwendung von Insektiziden vollständig unterbleiben im Vergleich zu durchschnittlich acht notwendigen Anwendungen pro Saison etwa im Jahre 1996 [43].

In Indien zeigen Versuche mit Bt-Baumwolle-Hybriden bis zu 80 % höhere Erträge im Vergleich zu konventionellen Sorten bei einem um 70 % verminderten Pflanzenschutzmitteleinsatz (Organophosphate, Carbamate, synth. Pyrethroide). Die Pflanzenschutzmitteleinsparungen betragen 30 Euro pro Hektar [34].

Diese Angaben sind nicht in Einklang zu bringen mit einer Meldung aus Gentechnik Nachrichten 40, wonach das chinesische Landwirtschaftsministerium den Anbau von Bt-Baumwolle für 2003 als gescheitert erklärt. Eine Umfrage unter 3000 Landwirten, die 2002 Bt-Baumwolle anbauten, ergab bei 80 % der Befragten eine niedrigere Ernte und schlechtere Qualität der Bt-Sorten im Vergleich zu konventionellen Sorten [28].

4.5 Aufwand/Einsparungen bei Herbiziden in Zuckerrüben

Obgleich keine Sortenzulassung und keine praktischen Erfahrungen vorliegen, soll nach der Studie von MAY 2003 [60] die Anzahl ausgebrachter Herbizide bei Anbau herbizidtoleranter Zuckerrüben in England (UK) drastisch verringert werden. Ausserdem werden die Produktionskosten signifikant gesenkt und die Umwelt erheblich weniger belastet, wenn gentechnisch veränderte, herbizidtolerante Zuckerrüben auf 100 % der Anbauflächen angebaut werden. Die Herbizid-Applikationshäufigkeit wird sich zudem von 4-5 Anwendungen auf 1-2 Anwendungen verringern, mit annähernd 80 % geringerer Produktmengen-Ausbringung. Bei einer Gesamteinsparung bei allen Kulturmaßnahmen von 225 Euro/ha bzw. 35 Mio. Euro/Jahr, wird allein ein Betrag von

120 Euro/ha bzw. 18 Mio. Euro/Jahr auf die Einsparung an Pflanzenschutzmitteln durch Anwendung der Roundup Ready Technologie entfallen. Diese Studie bestätigt frühere Untersuchungen von TENNING 1998 [145], der feststellt, dass sich der Herbizidaufwand von 4,2 kg/ha (Wirkstoff) bei geringer Intensität und vier Applikationen bei Verwendung Glyphosat-toleranter Sorten auf etwa 2,2 kg/ha (Wirkstoff) bei zweimaliger Ausbringung verringert. Im Durchschnitt rechnet TENNING [145] jedoch nur mit einer Reduzierung im Herbizideinsatz von 48 %.

In den USA werden im Zuckerrübenanbau gegenwärtig etwa 700 t, in der EU in etwa 5.300 t an Herbizidmengen ausgebracht [56]. COYETTE et al. 2002 [112] untersuchen den Einfluss auf den Herbizidverbrauch bei Anbau Glyphosat-toleranter Zuckerrüben in Europa. Sie errechnen, dass bei totaler Umstellung auf HR-Sorten 1.900 t an herbiziden Wirkstoffen eingespart werden. Sie gehen davon aus, dass konventionell 8-11 herbizide Wirkstoffe zum Einsatz kommen und die durchschnittliche Aufwandmenge bei 3,2 kg Wirkstoff pro Hektar und Jahr liegt, während bei Anbau von HR-Sorten nur 1,9 kg Wirkstoff pro Hektar ausgebracht werden.

Dagegen stellen GIANESSI et al. 2003 [56] fest, dass die Umstellung auf herbizidtolerante Zuckerrübensorten in den USA jährlich zu einem Mehraufwand von 343 t Wirkstoff führt. Die durchschnittliche Aufwandmenge liegt im konventionellen Anbau bei 1,1 kg Wirkstoff pro Hektar, während bei zweimaligem Glyphosat-Einsatz etwa 1,7 kg/ha an Wirkstoffmengen ausgebracht werden. Die geschätzten Kosten für das Roundup Ready-System werden inklusive Saatgutkosten plus Technologiegebühren, Herbizid- und Ausbringungskosten auf 187 Euro pro Hektar geschätzt [29].

GIANESSI et al. 2003 [56, 59] gehen in ihrer neuesten, kürzlich veröffentlichten Studie davon aus, dass sich durch Einsatz herbizidtoleranter Zuckerrüben in Europa die Herbizidanwendungen von durchschnittlich 4-5 auf zwei Applikationen reduzieren. Ausserdem geht die Gesamtaufwandmenge an Herbiziden von durchschnittlich 3,2 kg/ha auf durchschnittlich 1,9 kg/ha bei Anwendung von Glyphosat zurück. Die Kosten reduzieren sich dadurch von 197 Euro/ha auf 86 Euro/ha.

Unter der Annahme, dass in der EU auf 100 % der Zuckerrübenflächen (ca. 1,6 Mio. ha) HR-Sorten angebaut werden, wird errechnet, dass 2.208 t Herbizide eingespart werden. Aufgrund fehlender Herbizidschäden (im konventionellen Anbau ca. 5 %) sind Mehrerträge von 5.050 t zu erwarten und das Nettoeinkommen der Landwirte wird um 390 Millionen Euro steigen. Diese Zahlen stellen jedoch nur Kalkulationen dar, die in der Praxis noch nicht abgesichert sind, da herbizidresistente Zuckerrübensorten bisher nicht kommerziell angebaut werden.

4.6 Aufwand/Einsparungen bei Insektiziden in Kartoffeln

Der Anbau von resistenten Bt-Kartoffeln hat in den USA und Kanada nicht zu einer Reduzierung des Pflanzenschutzmittelaufwandes geführt. Der Schutz gegen den Kartoffelkäfer ist gegeben und führte im Jahr der Einführung (1996) zu einer Reduzierung der Insektizidanwendungen, bei gleichzeitiger Reduzierung der Aufwandmengen von 2,17 auf 1,74 kg/ha. Gegen weitere Schädlinge wie Blattläuse als Virusüberträger muss jedoch nach wie vor ein gut wirksames Insektizid ausgebracht werden [30]. Bedingt durch teures Saatgut und nur geringe Einsparungen bei Pflanzenschutzmitteln und Arbeitszeit hat der Landwirt durch den Einsatz von Bt-Kartoffeln keine Kostenvorteile. Unter der theoretischen Annahme, dass erst mit Einführung gentechnisch veränderter Sorten mit kombinierter Insekten-/ Virusresistenz (PLRV und PVY) der Anteil gentechnisch veränderter Kartoffeln an der Gesamtanbaufläche wieder zunehmen wird, ist auch ein entsprechend hoher Rückgang des Insektizideinsatzes zu erwarten. Kosteneinsparungen für Insektizide und deren Anwendung werden auf 240 Euro/ha geschätzt [27, 46].

4.7 Fallstudien/Modellrechnungen zu möglichen Einsparungen bei Pflanzenschutzmitteln durch Einsatz der Grünen Gentechnik

Eine Analyse von 40 Fallstudien zum Thema "Gegenwärtige und potentielle Auswirkungen der Grünen Gentechnik zur Verbesserung des Pflanzenschutzes in der US-Landwirtschaft", durchgeführt vom National Center for Food and Agricultural Policy (NCFAP) 2002, errechnet eine Reduzierung des Pflanzenschutzmittelaufwandes in der Größenordnung von 74.000 t Wirkstoff bei Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen in 27 möglichen Kulturen [29]. Es ist die erste Studie, die nicht nur bereits kommerziell genutzte Kulturen (Bt-Mais/Bt-Baumwolle und HR-Sojabohnen), sondern auch noch in der Entwicklung befindliche, zukünftig zu erwartende, gentechnisch veränderte Kulturarten miteinbezieht. Bei der Kalkulation gegenwärtiger und potentieller Auswirkungen werden gentechnisch veränderte Kulturen eingeteilt in vier Kategorien (Tab. 16). Der Anbau von gegenwärtig für den Markt verfügbaren gentechnisch veränderten Kulturen – Sojabohnen, Mais, Baumwolle, Papaya, Squash und Sommerraps (Canola) – reduziert den Pflanzenschutzmittelaufwand um 21.000 t Wirkstoffmenge jährlich. Unter der Annahme, dass weitere 21 mögliche Kulturen mit gentechnisch veränderten Eigenschaften angebaut werden, reduziert sich der Pflanzenschutzmitteleinsatz um weitere 53.000 t Wirkstoff jährlich.

Tab. 16: Gegenwärtige und potentielle Auswirkungen gentechnisch veränderter Kulturen auf den Pflanzenschutzmitteleinsatz in der US-Landwirtschaft

Status	Einsparungen an Wirkstoffen in t
1) Zugelassen und 2001 im Anbau	21.000
2) Geprüft und 2001 im Versuchsanbau	300
3) In Entwicklung für gegenwärtige Pflanzenschutzprobleme	25.000
4) In Entwicklung für zukünftig zu erwartende Pflanzenschutzprobleme	27.700
Gesamt	74.000

Die größte Reduzierung im Pflanzenschutzmitteleinsatz wird mit 29.500 t Wirkstoff für Kalifornien errechnet. Allein der Anbau herbizidtoleranter Zuckerrübensorten kann den Landwirten jährlich bis zu 94 Mio. Euro an Pflanzenschutzmittelkosten einsparen.

Tabelle 17 zeigt die potentiellen Auswirkungen des Anbaus gentechnologisch veränderter Kulturen auf den Pflanzenschutzmittelaufwand je nach Resistenzeigenschaften unter der Annahme, dass alle in die Untersuchung einbezogenen Kulturen zum Anbau kommen.

Tab. 17: Kalkulation bzw. Prognose der Gesamteinsparungen im Pflanzenschutzmitteleinsatz in Abhängigkeit von unterschiedlichen Eigenschaften

Eigenschaft	Einsparungen an Wirkstoffen in t
Herbizid-Resistenz	22.000
Insekten-Resistenz	10.000
Virus-Resistenz	300
Pilz-Resistenz	13.000
Bakterien-Resistenz	28.000
Nematoden-Resistenz	700
Gesamt	74.000

Das höchste „Netto-Einkommen“ erzielen die Landwirte beim Anbau herbizidresistenter Kulturen. Von diesen belegen herbizidresistente Sojabohnen den Hauptanteil. Alle 47 Bundesstaaten, die an diesen Studien [29] beteiligt sind, haben beim Anbau gentechnisch veränderter Kulturen wirtschaftliche Vorteile zu erwarten.

In einer Studie von PHIPPS und PARK 2002 [30] wird errechnet, dass durch den Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen im Jahre 2000 weltweit 22.300 t formulierte Pflanzenschutzmittel eingespart werden. Die Wissenschaftler verweisen in ihrer Studie

auch auf eine Analyse des Pflanzenschutzmittelmarktes, die in den USA von der Consultingfirma Kline and Company durchgeführt wurde. Danach werden die Pflanzenschutzmitteleinsparungen (Wirkstoff) bis zum Jahre 2009 durch die Einführung herbizidresistenter Kulturen 20.000 t, insektenresistenter Kulturen 6.000 t jährlich betragen.

In einer Modellrechnung (Tab. 18) wird weiterhin ermittelt, dass in der EU 14.970 t formulierte Pflanzenschutzmittel (Herbizide/Insektizide), entsprechend 5.000 t Wirkstoff pro Jahr eingespart werden, wenn auf jeweils 50 % der Flächen gentechnisch veränderte, herbizidresistente Mais-, Raps-, Zuckerrüben- und insektenresistente Baumwollsorten angebaut werden.

Tab. 18: Prognose der Gesamteinsparungen an Pflanzenschutzmitteln bei einem Anbau von GVO-Sorten auf 50 % der Flächen, die in der EU in 2001 bestellt wurden

Kultur	GVO-Anbau auf 50 % der Fläche Mio. ha	Pflanzenschutzmittel-Einsparungen in der EU			
		Präparate		Wirkstoffe	
		kg/ha	insgesamt t	kg/ha	insgesamt t
HR-Mais	2,20	1,6	3.520	0,8	1.800
HR-Raps	1,50	1,0	1.500	1,1	1.700
HR-Zuckerrübe	1,0	6,9	6.900	1,3	1.300
Bt-Baumwolle	0,25	12,2	3.050	0,8	200
Gesamt	4,95		14.970		5.000

Quelle: Phipps und Park (2002) [30]

Das National Center on Food and Agricultural Policy (NCFAP) veröffentlichte 2003 drei Studien zum möglichen Einfluss des Anbaus gentechnisch veränderter Kulturen bei Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln in Europa. Die Ergebnisse hinsichtlich Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln sind in Tabelle 19 dargestellt. Die Fallstudien beschäftigen sich mit Bt-Mais, Zuckerrüben mit Herbizidtoleranz und Kartoffeln mit Resistenz gegen Kraut- und Knollenfäule.

GIANESSI et al. 2003 [56, 57, 58, 59] gehen bei diesen Untersuchungen davon aus, dass 41 % der EU-Körnermaisfläche (unter der Annahme, dass Maiszünsler nicht in allen Maisanbaugebieten vorkommt) sowie die gesamte Zuckerrüben- und Kartoffelanbaufläche mit gentechnisch veränderten Sorten bestellt werden. Bei Bt-Mais zeigen sich nur geringe Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln, da die Forschungsgruppe davon ausgeht, dass Insektizide vergleichsweise selten angewandt werden. Bei Zuckerrüben ergeben sich deutliche Einsparungen an Pflanzenschutzmittelmengen durch eine Reduzierung der Herbizidanwendungen von geschätzten 3,5 - 4,5 auf 2,0 Glyphosat-Anwendungen. Kartoffeln mit einer Resistenz gegen Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) führen in Deutschland und EU-weit zu den größten

Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln unter der Annahme, dass im konventionellen Anbau jährlich 8-12 Fungizidapplikationen notwendig sind. Im EU-Vergleich nach Ländern hat Deutschland die größten Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln zu erwarten, da sich in Deutschland der umfangreichste Zuckerrüben- und Kartoffelanbau der EU befindet.

Tab.19: Prognose der möglichen Einsparung von Pflanzenschutzmitteln in der EU und Deutschland bei Anbau von Bt-Mais, HR-Zuckerrüben und Kartoffeln mit Pilzresistenz

Kultur	EU		Deutschland	
	GVO-Anbau in 1000 ha	Einsparung an Wirkstoff in t	GVO-Anbau in 1000 ha	Einsparung an Wirkstoff in t
Bt-Mais	1.599	53	99	1
Zuckerrüben	1.688	2.208	461	921
Kartoffeln	1.164	7.513	282	1.861
Summe	4.451	9.774	842	2.783

Insgesamt wird bei Anbau oben genannter Kulturen, im Vergleich zum konventionellen Anbau, der Pflanzenschutzmitteleinsatz EU-weit um 9.774 t Wirkstoff und in Deutschland um 2.783 t Wirkstoff pro Jahr reduziert. Um mehr als 1.000 t an Wirkstoffmengen pro Jahr wird der Pflanzenschutzmitteleinsatz auch in Frankreich, England und den Niederlanden abnehmen [59].

Diese Studien stellen rein theoretische Berechnungen ohne Beachtung des komplexen Systems der einzelnen Kulturen dar. Voraussetzungen wie etwa Ertrags- und Qualitätsleistungen der gentechnisch veränderten Sorten und die Akzeptanz der Landwirte und Verbraucher werden dabei nicht berücksichtigt.

CARPENTER (2001) [45] stellt in einer Veröffentlichung fest, dass sehr viel diskutiert wird über die Risiken bei Anwendung der Gentechnik, überraschenderweise positive Aspekte wie die Möglichkeit enormer Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln aber ignoriert werden.

Aus Sicht der Industrie belegen Zahlen, dass seit Einführung gentechnisch veränderter Kulturen der Pflanzenschutzmittelabsatz weltweit bis 1999 um 200 Mio Euro/Jahr gesunken ist. Für 2000 wird der Absatzrückgang auf mindestens 300 Mio. Euro/Jahr geschätzt und für die weiteren zwei bis drei Jahre wird ein Verlust von 700 Mio. Euro/Jahr erwartet. Bei Anbau von Roundup Ready-Sojabohnen haben sich z.B. die Herbizidkosten von ca. 50 Euro/ha auf ca. 25-30 Euro/ha vermindert. Dadurch reduziert sich der Gesamt-Pflanzenschutzmittelverkauf in Nordamerika von 8,7 Milliarden Euro in 1998 auf 8,5 Milliarden Euro in 1999 [37]. MONSANTO 2003 [153] gibt an,

dass im Jahr 2000 durch den Einsatz der grünen Gentechnik insgesamt 2,5 Mio. t weniger Pflanzenschutzmittel ausgebracht wurden. Davon wurden allein im Rapsanbau mehr als 5,8 Millionen Liter Herbizide eingespart. KÜSGEN 2003 [79], Präsident des IVA, beziffert die rückläufigen Umsätze auf dem Weltmarkt für Pflanzenschutzmittel im Jahre 2002 mit 25,1 Mrd. Euro, während der Umsatz mit gentechnisch verändertem Saatgut um 10 % auf 3,4 Mrd. Euro ansteigt.

5.0 Anbauumfang und Bedeutung der Kulturarten in Bayern, für die gentechnisch veränderte Sorten in anderen Ländern Verwendung finden

Im Jahre 2002 waren in Bayern 63,2 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche Ackerfläche. Nachfolgende Tabelle zeigt das Anbauverhältnis der wichtigsten Kulturarten, außer Getreide, in den Jahren 1999 bis 2002, für die eine Zulassung gentechnisch veränderter Sorten zur kommerziellen Nutzung denkbar wäre (Tab. 20).

Tab. 20: Anbauflächen in 1.000 ha in Bayern

Jahr	Körnermais (einschl.CCM)	Grün-bzw. Silomais	Raps/ Rüben	Kartoffeln	Zuckerrüben	Sojabohnen
1999	95	301	177	55	78	
2000	99	297	145	55	72	
2001	103	287	152	50	72	
2002	106	282	167	51	74	0,325

Quellen: Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung; Anbaustatistik InVeKoS 2002 (Balis)

5.1 Bedeutung von Mais

Der Maisanbau nimmt in Bayern mit 388.000 ha ca. 19 % der Ackerflächennutzung ein. Während im Körnermaisbau gegenüber 1999 eine Ausdehnung der Anbaufläche um 11.000 ha auf 106.000 ha erfolgte, reduzierte sich die Silomaisanbaufläche im gleichen Zeitraum um 19.000 ha auf 282.000 ha. Der Rückgang wird auf rückläufige Tierbestände bedingt durch verminderten Rindfleischkonsum zurückgeführt. Silo- und Körnermais spielen im Rahmen des Futterbaus für den Veredelungsstandort Bayern eine wichtige Rolle. Körnermais darüber hinaus für die Fruchtfolgegestaltung in reinen Marktfruchtbaubetrieben. Die Wirtschaftlichkeit des Maisanbaus verbesserte sich seit den 60er Jahren aufgrund des züchterischen Fortschritts (Entwicklung leistungsfähiger Hybridsorten, Anpassung an die klimatischen Bedingungen), sowie durch Fortschritte im Pflanzenschutz durch die Entwicklung maisverträglicher Herbizide und bei der Mechanisierung der Ernte [69].

5.2 Bedeutung von Raps

Raps ist in Bayern nach Getreide und Mais die drittgrößte Ackerkultur. Sein hoher Stellenwert in der Fruchtfolge von Marktfruchtbetrieben liegt begründet in der Auflockerung enger Getreidefruchtfolgen mit positiven Effekten auf die Ertragsleistung der Getreide-Nachfrucht, höherer Nährstoffdynamik und einer Verbesserung der Bodenstruktur. Die Rapsanbauflächen gingen 2000/2001 im Vergleich zum Anbau 1999 deutlich zurück. Dies wird, wie im Bayerischen Agrarbericht 2002 [70] beschrieben, auf die Agenda 2000-Beschlüsse und eine damit verbundene schrittweise Absenkung der Flächenprämien auf Getreideniveau bis zum Jahre 2002 zurückgeführt. Im Herbst 2001 ist jedoch trotz Absenkung der Ausgleichszahlung für Ölsaaten wieder eine Ausweitung des Rapsanbaus um ca. 10,5 % auf 167.000 ha festzustellen, mit gleichbleibender Tendenz für Herbst 2002. Anbauschwerpunkte liegen in Nord- und Nordostbayern. Durch eine höhere Nachfrage der verarbeitenden Industrie, ausgelöst durch den Boom auf dem Biodieselsektor, hat sich die Anbaufläche von Non-food-Raps mit ca. 34.000 ha stabilisiert. Diese Verwertungsrichtung könnte zu einem festen Absatzmarkt für Rapsöl werden, nachdem sich auch die Preise für NawaRo-Raps immer mehr an die Food-Raps-Preise angleichen [82]. Die deutlich gestiegene Nachfrage nach Rapsöl bei gleichzeitig knapper Versorgungslage auf dem Weltmarkt führen auch zu der Überlegung, Sommerraps vermehrt in die Anbauplanung einzubeziehen [67]. Der Marktfruchtbericht Bayern 2002 verweist in einigen Punkten (verbesserte Weltmarktsituation bei allen Ölsaaten, Kaufinteresse aus der Biodieselproduktion etc.) auf eine positive Beeinflussung des Ölsaatenmarktes, wodurch auch in Zukunft mit guten Marktbedingungen für Ölsaaten zu rechnen ist.

Da Raps nicht selbstverträglich ist und dessen Fruchtfolgeansprüche zu berücksichtigen sind, beschränkt sich ein Anbau aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht nur auf jedes dritte oder vierte Jahr und setzt der flächenmäßigen Entwicklung somit gewisse Grenzen. Bedingt durch die Angleichung der Flächenprämien ist die Wirtschaftlichkeit des Rapsanbaus weiterhin auf Verbesserungen der Sortenleistungen und der Produktionstechnik angewiesen.

5.3 Bedeutung des Kartoffelanbaus

Die Kartoffelanbaufläche schwankt in den Jahren 1999 - 2002 zwischen 50.000 ha und 55.000 ha. Eine wesentliche Verwertungsrichtung des Kartoffelanbaus in Bayern ist die Stärkegewinnung. Begrenzende Faktoren für den Kartoffelanbau sind jedoch die Quotenregelung im Stärkekartoffelanbau, begrenzte Brennrechte und die internationale Konkurrenz auf dem Sektor der Speisefrischware und der Veredelungsprodukte. Chancen bieten sich durch die in Bayern vorhandene Verarbeitungskapazität für Veredelungsprodukte (Pommes frites, Chips, Trocken- und Spezialprodukte). Voraussetzung für die nachhaltig gesicherte Produktion von qualitativ hochwertiger Rohware ist die Versorgung mit gesundem Pflanzgut. Erschwerend für die Pflanzguterzeugung sind Jahre mit hoher Virusbelastung und die Gefahr der Bakterienringfäule [70] [71]. Neben der generellen Bedeutung für die bayerische Landwirtschaft hat der Kartoffelanbau auf Betriebsebene eine sehr hohe wirtschaftliche Bedeutung, da es sich dabei zunehmend um hochspezialisierte Betriebsformen handelt.

5.4 Bedeutung der Zuckerrüben

Die Zuckerrübenproduktion auf einer Fläche von ca. 74.000 ha im Jahre 2002 ist für die landwirtschaftliche Produktion in Bayern eine wichtige Einnahmequelle. Im Zuckerrübenanbau fand seit 1999 eine Flächenreduzierung von etwa 7 % statt. Eine deutliche Steigerung der Erträge (700 dt/ha) und Zuckergehalte sowie der überwiegende Anbau rizomaniatoleranter Qualitätssorten machten die Flächeneinschränkung im Bezug zur Zuckerproduktion wieder wett [70]. Die hohe Wettbewerbskraft von Zuckerrüben ist begründet durch Ertragszuwächse infolge stetiger Zuchtfortschritte, abnehmenden Arbeitszeitbedarf durch überbetrieblich organisierte Anbau- und Ernteverfahren sowie stabile und hohe Preise für vertraglich angebaute Rüben [71]. Für relativ klein strukturierte bayerische Marktfruchtbetriebe ist der Zuckerrübenanbau eine unverzichtbare Produktionsform. Die anstehenden Veränderungen auf dem Zuckermarkt erzwingen weitere Verbesserungen in der Produktionseffizienz, um die hohe wirtschaftliche Vorzüglichkeit des Zuckerrübenanbaus zu sichern.

5.5 Sojabohnen

Der Anbau von 325 ha Sojabohnen muss in Zusammenhang mit den im Rahmen der BSE-Krise verhängten Tiermehlverbote und der damit verbundenen Suche nach alternativen Eiweißquellen gesehen werden. Der Anbau von Eiweißpflanzen betrug 2002 in Bayern weniger als 1 % der Ackerfläche [71]. Regional hat dieser Anbau jedoch einen vergleichsweise hohen Stellenwert. Spezielle Vermarktungsprogramme sind auf Produktionsformen ausgerichtet, die ausschließlich mit in der Region erzeugten Produkten erfolgt. Dies gilt ebenfalls für die Futtermittel in der Veredelungswirtschaft. Die Sojabohne ist hierbei ein unverzichtbarer Ersatz für Importsoja, da der Anbau von Lupinen als Eiweißfuttermittel wegen derzeit unlösbarer Probleme mit der Pilzkrankheit Anthraknose gescheitert ist.

6.0 Nutzungsmöglichkeiten gentechnisch veränderter Eigenschaften unter bayerischen Anbaubedingungen

Von den in den USA angebauten Kulturen mit gentechnisch veränderten Sorten spielen in Bayern nur Mais, Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben eine Rolle. Im Folgenden wird versucht, bei diesen Kulturen die Möglichkeit der Nutzung gentechnisch veränderter Eigenschaften auf Basis bayerischer Versuchsergebnisse und Anbauerfahrungen abzuschätzen.

6.1 Nutzung der Bt- und Herbizidresistenz (HR) -Technologie in Mais

6.1.1 Nutzung der Bt-Resistenz gegen Maiszünsler

An Mais ist in Bayern der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) der wirtschaftlich bedeutendste tierische Schaderreger. Er schädigt den Mais vor allem durch den Fraß der Larven in Stängel und Kolben. Dadurch werden Leitungsbahnen zerstört und die Wasser- und Nährstoffversorgung sowie der Assimilattransport behindert. Die mechanische Stabilität der Maispflanzen wird beeinträchtigt und es kommt vermehrt zum Umknicken der durchbohrten Stängel und zu Lager. Durch den Larvenfraß entstehen außerdem Eintrittspforten für Sekundärparasiten. Dies führt nicht nur zu Ertragsverlusten, sondern auch zu verstärktem Auftreten mykotoxinbildender Fusarium-Arten. Die Kornqualität kann dadurch erheblich leiden. Der Maiszünsler tritt seit einigen Jahren in fast allen Maisanbaugebieten Bayerns auf (Anlage 3) und führte auch 2002 örtlich zu erheblichen Ertrags- und Qualitätseinbußen. Das gehäufte Auftreten des Schädling wird zurückgeführt auf die starke Zunahme des Maisanbaus, einer vermehrten Zuwanderung und der guten Anpassungsfähigkeit des Schädling an unsere Klimabedingungen. So hat der Maiszünsler in den letzten Jahrzehnten immer mehr auch die klimatisch weniger begünstigten Gebiete erobert. In Bayern kommt der Schädling seit geraumer Zeit auch in den Grenzlagen des Maisanbaus vor. Von wirtschaftlicher Bedeutung ist er jedoch nur dort, wo aufgrund ungünstiger Bodenverhältnisse (sehr tonhaltige bzw. flachgründige Böden) oder aus anderen Überlegungen heraus eine tiefwendende Bodenbearbeitung nach Mais nicht durchgeführt wird. Eine direkte Bekämpfung des Maiszünslers kann derzeit mit biologischen und chemischen Präparaten erfolgen. Alternativ werden auch gentechnische Verfahren durch Anbau von Bt-Mais geprüft. Mögliche Bekämpfungsmaßnahmen sind im folgenden Schema (nach ZELLNER) dargestellt [72]:

Chemische Verfahren	Biologische Verfahren		Gentechnische Verfahren
I	I	I	I
Insektizide	Trichogramma (Nützlinge)	Bacillus thuringiensis (Bodenbakterium)	Bt-Mais

Etwa die Hälfte der bayerischen Maisanbaufläche wird jährlich befallen, auf ca. 20.000 Hektar werden Bekämpfungsmaßnahmen mit Pyrethroiden durchgeführt (Anlage 4). Die Kosten belaufen sich dafür auf über 500.000 Euro [75].

Aufgrund der schwierigen Insektizidapplikation in hohen Maisbeständen und dem Problem der optimalen Terminierung der Spritzung verzichten die Landwirte oft auf Behandlungsmaßnahmen und nehmen Ertragsverluste in Kauf. Darüber hinaus erfassen Insektizidspritzungen auch Nützlinge (Marienkäfer, Florfliegen) und führen deshalb oft zu vermehrtem Blattlausbefall [75].

Zur Bekämpfung des Maiszünslers steht derzeit nur das Insektizid Baythroid 50 zur Verfügung. Eine effektive, vorbeugende Bekämpfung des Maiszünslers kann nur durch Häckseln der Stoppeln und tiefes Unterpflügen erfolgen. Die Zahl der Raupen, die in den basalen Teilen der Maispflanzen nach der Ernte auf dem Feld verbleiben, wird dadurch stark vermindert. Schwere Standorte in Unter- und Mittelfranken, auf denen ein tiefes Unterpflügen der Stoppelreste nicht möglich ist, sind deshalb besonders betroffen. Nachdem die vorbeugende Bekämpfung mittels Bodenbearbeitung aus arbeitswirtschaftlichen und Kostengründen in den letzten Jahren immer mehr zurückgefahren wird, ist zu erwarten, dass der Befall mit Maiszünslern in Bayern noch weiter zunimmt [73].

Biologische Bekämpfungsmaßnahmen mit *Trichogramma*-Schlupfwespen stellen eine brauchbare Alternative zu chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen dar, sind nützlingschonend, erfordern aber nach Angabe von ZELLNER 1999 [75] in der Anwendung hohen Sachverstand. Versuche des Landwirtschaftsamtes Ansbach und der Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Freising zu verschiedenen Bekämpfungsverfahren (Insektizid- und *Trichogramma*-Anwendung) zeigen, dass der Einsatz von Schlupfwespen die Zahl der Zünslernerlarven im langjährigen Durchschnitt um 59 % reduziert. Bei starken Regenfällen fällt nach Ausbringung der Schlupfwespen der Bekämpfungserfolg ab, bei günstigen Bedingungen ist er mit den Insektizidvarianten vergleichbar. Der Bekämpfungserfolg mit *Trichogramma* ist insgesamt mit befriedigend, der von Insektiziden mit gut eingestuft. Die Kosten liegen bei *Trichogramma*-Anwendung mit 70 Euro/ha jedoch deutlich über der Insektizidanwendung mit 43 Euro/ha bei überbetrieblicher Mechanisierung (ohne Ansatz für Fahrtschäden) [73].

Die Bekämpfung mit *Bacillus thuringiensis*-Präparaten ist nur wirksam, solange sich die Raupe nicht in den Stängel eingebohrt hat. Ausserdem wird das Bt-Toxin in *Bacillus thuringiensis*-Mitteln durch Umwelteinflüsse (z.B. UV-Strahlung) schnell

zerstört [6]. Aufgrund der kurzen Wirkungsdauer führt die Applikation von *Bacillus thuringiensis*-Präparaten (Handelsname: „Dipel“) nur zu unbefriedigenden Ergebnissen.

In der Praxis ist sowohl die chemische wie die biologische Bekämpfung des Maiszünslers hinsichtlich Anwendungstechnik und Wirkungsgrad problematisch. Wird die Zulassung von Baythroid 50 nach dem 31. 12. 2003 nicht mehr verlängert oder werden keine neuen Mittel zugelassen, stehen dem Landwirt nur die kosten- und arbeitsintensiven biologischen Bekämpfungsverfahren zur Verfügung. Ansonsten muss er die Ertragsverluste hinnehmen.

Als Alternative steht der Anbau gentechnisch veränderter, zünslerresistenter Sorten in der Diskussion. Unter bayerischen Bedingungen erfolgen seit 1997 Prüfungen mit gentechnisch veränderten Sorten. Transgene, insektenresistente Pflanzen haben den Vorteil, dass die „pflanzeigenen Insektizide“ erst bei Fraßkontakt auf Zielorganismen wirken und dass keine Ökosystembelastung durch Insektizidanwendungen stattfindet.

In den Jahren 1997 und 1998 wurden in Bayern an der Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) transgene Maishybriden als neue Alternative zur Bekämpfung des Maiszünslers in Anbauversuchen geprüft. Die Versuche wurden mit den Sorten „Pactol“ (isogen) und „Pactol CB“ (transgen) sowie „Caesar“ (isogen) und „Caesar CB“ (transgen) in den Hauptbefallsgebieten Bayerns durchgeführt und mit der Standard-Insektizidbehandlung (damals Decis flüssig 0,5 l/ha) verglichen. In den Bt-Maissorten ist die Larvenzahl gegenüber den nicht transgenen Sorten um 96 % verringert. Die wenigen verbleibenden Raupen befinden sich im Kolben, da die verwendeten Maissorten eine geringe Bt-Protein-Konzentration im Korn ausbilden. Stängelbruch wird bei den zünslerresistenten Sorten nicht beobachtet. Die Insektizidbehandlung erreicht dagegen 1997 nur einen Wirkungsgrad von 67 % und 1998 einen Wirkungsgrad von 94 % bzw. 91 % [75].

Während in den USA bis zu drei Generationen auftreten, entwickelt der Maiszünsler bei uns nur eine Generation pro Jahr. Bei einer Befallsstärke von 2-3 Raupen pro Maisstängel ist im langjährigen Mittel mit Ertragsverlusten von 10 % bis 30 % zu rechnen. In Jahren, in denen bereits im Juni zahlreiche Eigelege des Schädling zu finden sind, kann der Schaden auch deutlich höher liegen. Dagegen kann bei spät einsetzendem Hauptzuflug (Ende Juli/August) der Ertragsausfall wesentlich geringer sein. Ertragsunterschiede zwischen Silo- und Körnermais werden dabei nicht berücksichtigt, da in Bayern die Körner- und Silomaisenernte zeitlich nicht stark differiert [72]. 1999 wurden bei der Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) in Freising und auf dem staatlichen Versuchsgut in Puch (Landkreis Fürstenfeldbruck) Versuche durchgeführt zur Klärung des möglichen Schadpotentials durch Zünslerbefall unter bayerischen Klimaverhältnissen. Gleichzeitig wurde die Wirksamkeit und Wirt-

schaftlichkeit des Einsatzes transgener Maissorten geprüft. Die Reduzierung des Kornertrages durch den Maiszünsler liegt unter den günstigen Bedingungen des Jahres 1999, d.h. kein Lagerdruck in der Abreife und geringer Befallsdruck mit Stängel-fäule, bei 17 %. Der bei den Bt-Varianten festgestellte Befall ist so gering, dass er sich im Ertrag nicht oder nur minimal auswirkt [68].

Transgene Maissorten stellen nach ZELLNER 1999 [75] somit eine wertvolle Alternative bei der Maiszünslerbekämpfung dar. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass sich ein zusätzlicher Insektizideinsatz bei Anbau transgener Sorten erübrigt. Dies wird auch hinsichtlich einer Schonung der Nützlinge und für den Bereich des Anwenderschutzes als Fortschritt gewertet.

6.1.2 Nutzung der HR -Technologie zur Unkrautbekämpfung

Mehrjährige Erhebungen der Universität Hohenheim zur Artenzusammensetzung und Artenvielfalt der Unkrautflora in Mais zeigen, dass sich in Bayern Verschiebungen in der Unkrautflora abzeichnen. So treten neben den typischen charakteristischen Maisunkräutern wie Hühnerhirse (*Echinochloa crus-galli*), Melde (*Atriplex*) -Arten und Amarant (*Amaranthus retroflexus*) vor allem Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*), Ehrenpreis (*Veronica*) -Arten und Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*) auf. Allgemein ist im Vergleich zu früheren Untersuchungen ein Rückgang der durchschnittlichen Artenzahl pro Standort sowie ein Anstieg in der Besatzdichte einzelner Arten feststellbar [66]. Nach GEHRING 2003 [95] ist in Bayern im Mais eine Artenhäufigkeit von ca. 8-14 verschiedenen Unkrautarten vorzufinden, die häufigsten davon sind Hühnerhirse und Gänsefuß (*Chenopodium*)-Arten.

Mais besitzt im Jugendstadium (2-/4-Blattstadium bis zum 6-/10-Blattstadium) eine geringe Konkurrenzkraft gegen Unkräuter. Eine Unkrautbekämpfung ist deshalb unter allen Bedingungen erforderlich. Der Herbizideinsatz erfolgt in der Regel als Tankmischung aus zwei oder mehr Präparaten mit boden- und/oder blattaktiven Wirkstoffen [97]. Die Anwendung von Bodenherbiziden wie Gardo Gold (Terbuthylazin + S-Metolachlor), Spectrum (Dimethenamid-P), Stomp SC (Pendimethalin) oder Terano (Metosulam + Flufenacet) erfolgt vor bzw. beim Auflauf der Unkräuter. Der Einsatz blattaktiver Mittel erfolgt nach Auflauf der Unkräuter solange Blattstruktur und Wachsschicht eine gute Wirkstoffaufnahme gewährleisten. Entscheidend für die Wahl der einzusetzenden Mittel bzw. Mittelkombinationen und des Applikationszeitpunktes sind die standortspezifischen Bodeneigenschaften, Niederschlagsverhältnisse, das Unkraut- bzw. Ungraspektrum sowie die Herbizidverträglichkeit der angebauten Sorte. So können nach amtlicher Empfehlung unter trockenen Bedingungen kostengünstige, blattaktive Herbizide bei Bedarf mit Sulfonylharnstoffpräparaten [Cato (Rimsul-

furon), Motivell (Nicosulfuron), Task (Dicamba + Rimsulfuron)] bzw. Callisto (Mesotrione) zur Hirsebekämpfung kombiniert werden. Dagegen ist auf niederschlagsreichen Standorten (Altbayern, Schwaben) eine Tankmischung aus einem gräserwirksamen Breitbandherbizid (Gardo Gold, Spectrum Profi-Pack) und einem blattaktiven Sulfonylharnstoff bzw. Callisto zur Ungrasbekämpfung optimal. Auf humusreichen bis anmoorigen Standorten ist aufgrund eingeschränkter Aktivität bei Bodenherbiziden häufig eine Splittingbehandlung erforderlich. Auf leichten Sand- und Schotterböden sowie Karstböden mit einer sehr geringen Sorptionsfähigkeit (Franken, Oberpfalz, Münchner Schotterebene) sollte aufgrund der potentiellen Belastung des Grundwassers auf den Einsatz terbuthylazinhaltiger Bodenherbizide verzichtet und dafür Mittel wie Dual Gold, Spectrum Plus-Pack oder Terano eingesetzt werden [96]. Standardbehandlungen auf Flächen im Maisanbaugürtel – Schwaben, Ober- und Niederbayern – sind allerdings auf Präparate mit dem Bodenwirkstoff Terbuthylazin (z.B. Gardo Gold, Artett) abgestützt.

Die Mulch- oder Direktsaatbestelltechnik nimmt im Rahmen der konservierenden Bodenbearbeitung stetig zu (Anteil ca. 10-15 %). Herbstkeimende Unkräuter, die im Frühjahr weit entwickelt sind, und schwer bekämpfbare Wurzelunkräuter wie die Gemeine Quecke werden dabei durch eine Glyphosat-Behandlung zur Saat beseitigt. Der Einsatz von Roundup Ultra ist bis zu fünf Tage nach der Saat möglich [98].

Drei Viertel der weltweit angebauten gentechnisch veränderten Pflanzen besitzen eine Resistenz gegen nicht selektive, breit wirksame herbizide Wirkstoffe (Glyphosat, Glufosinat) und ermöglichen neue Konzepte in der Unkrautbekämpfung. Roundup Ready-Mais und Liberty Link-Mais verfügen über eine pflanzeneigene Resistenz gegenüber dem Herbizid Roundup (Glyphosat) bzw. Liberty (Glufosinat). Durch die gentechnische Veränderung besitzen die eigentlich nicht selektiven Wirkstoffe in der jeweiligen Sorte eine absolute Kulturpflanzenverträglichkeit. Die Präparate Roundup bzw. Liberty werden in diesem Fall als Komplementärherbizide bezeichnet. Das System aus herbizidresistenter Sorte und dem jeweiligen Komplementärherbizid erhält die Markenbezeichnung „Roundup Ready“ bzw. „Liberty Link“.

Unkrautbekämpfungsmöglichkeiten mit „Liberty“ wurden in Bayern erstmals 1998 an der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau mit den Bt-Maissorten Bahia-, Cäsar- und Pactol-CB in zwei Feldversuchen getestet. Die Sorten hatten auch ein ausreichendes Selektivitätsniveau für die Anwendung von Liberty. Ziel der Untersuchung war die Ermittlung der notwendigen Aufwandmenge, des geeigneten Anwendungstermins und eventueller Verbesserungen in der Wirkung durch Tankmischungen mit anderen Präparaten. Im Ergebnis zeigt sich die Soloanwendung von Liberty (2 - 4 l/ha) in der Bekämpfungsleistung, vor allem des Leitunkrautes Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*), unbefriedigend. Das Leistungsniveau des

Vergleichsstandards Mikado 1,0 l/ha + Motivell 1,0 l/ha erreicht nur die Splitting-Applikation von zweimal 3,0 l/ha Liberty.

Sehr gute Ergebnisse werden mit Breitbandherbiziden mit Bodenwirkung als Ergänzungspartner für Liberty in Tankmischungen erzielt. Es wird darauf hingewiesen, dass entsprechende Mischpartner eventuell auftretende Wirkungsschwächen von Liberty ausgleichen, die Unkrautleistung durch eine Bodenwirkung absichern müssen und die gute Kulturverträglichkeit von Liberty nicht vermindern dürfen. Die bereits von PALLUT und HOMMEL 1998 [133] festgestellte verbesserte Wirkung des Herbizids bei Zusatz von schwefelsaurem Ammoniak bestätigt sich auch in den bayerischen Versuchen [86].

STELLING et al. 2000 [128] stellen in ihren 1998 und 1999 durchgeführten Versuchen zum Liberty-Link System auf 17 Standorten in Deutschland fest, dass in einem Drittel der Fälle eine einmalige Behandlung mit 3,0 l/ha Liberty ausreicht, um eine gute bzw. sehr gute Unkrautkontrolle zu erreichen. Eine Zweitbehandlung ist nur bei neu aufgelaufenen bzw. nicht hinreichend bekämpften Unkräutern notwendig. Positiv wird auch hier der kombinierte Einsatz des blattaktiven Liberty mit bodenwirksamen Herbiziden (Gardo Gold und Terano) beurteilt.

Diese Untersuchungen werden von HOMMEL und PALLUT 2000 [137] bestätigt. Ist die Dichte und das Wachstum der neu aufgelaufenen Unkräuter gering, kann auf eine zweite Liberty-Anwendung in Mais verzichtet werden. Im Bedarfsfall kann auch durch eine zweimalige Anwendung die fehlende Dauerwirkung von Liberty kompensiert werden.

In den Folgejahren (2000/2001/2002) wurde in Bayern die Leistungsfähigkeit der HR-Systeme Liberty Link und Roundup Ready mit den Sorten bzw. Linien Prestige LL, Chardon LL, GGO und CRR 0501/NK603 hinsichtlich ihrer Unkrautwirkung an verschiedenen Versuchsorten geprüft. Verglichen werden 7 Liberty- bzw. Roundup-Varianten in Solo-, Splitting- und Tankmischungs-Anwendung. In beiden Systemen bestätigt sich je nach Verunkrautungsgrad die gute Wirkung einer Splittingbehandlung (2 x 2,25 l/ha oder 2 x 3,0 l/ha) bzw. der Tankmischung aus Komplementärherbizid und leistungsfähigem Bodenherbizid im Nachauflauf. Nur bei diesen Varianten wird die Bekämpfungsleistung einer standortspezifischen Behandlung mit konventionellen Präparaten erreicht bzw. übertroffen [115]. Das heißt, Liberty- bzw. Roundup-Soloanwendungen (3,0 – 4,5 l/ha bei BBCH Mais 14 - 15) besitzen in vielen Fällen eine geringere Wirkungssicherheit. Praxisempfehlungen sollen deshalb auf die jeweils standortspezifischen Gegebenheiten wie Boden, Witterung etc. Rücksicht nehmen. Für typische, niederschlagsreiche Maisanbaustandorte zeichnet sich die Tankmischung aus Komplementärherbizid und einem bodenwirksamen Ergänzungspräparat als günstigste Behandlungsvariante ab. Die derzeit effektivste Anwendungstechnik in Form einer Applikation im mittelfrühen Nachauflauf des Mais bleibt hierbei unver-

ändert. Auf niederschlagsärmeren Standorten mit einem geringen Nachauflaufpotential der Unkräuter in Nordbayern bzw. Franken und auch auf anmoorigen Anbauflächen mit der Notwendigkeit für eine Splittingapplikation von blattaktiven Präparaten kann dagegen die absolute Verträglichkeit der Komplementärherbizide im Soloeinsatz voll ausgeschöpft werden. Durch diese spezifische Qualität kann der Herbizideinsatz ausschließlich an der Unkrautentwicklung ausgerichtet werden. Besonders auf trockenen Standorten verspricht eine relativ späte Nachauflaufbehandlung, mit der Option auf eine bei Bedarf mögliche Nachbehandlung, die volle Ausnutzung der spezifischen Vorteile der HR-Technologie.

Die Mischung von Liberty mit sogenannten Residualherbiziden (Bodenherbizide mit Dauerwirkung gegen später auflaufende Unkräuter) gibt dem Landwirt die Möglichkeit, mit nur einer Anwendung die Unkrautbekämpfung zu erledigen. Die alleinige Anwendung von Liberty kann jedoch nach STELLING et al. 2000 [128] unter Berücksichtigung der vorhandenen Anwendungsoptionen (Aufwandmenge und Einsatzzeitpunkt) bzw. auch von Schadensschwellen eventuell zu kostengünstigeren Lösungen führen.

6.2 Nutzung der HR-Technologie in Raps

Bei der Verrechnung von 29 Exaktversuchen über die Jahre 1990 - 1998, durchgeführt an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, stellt GEHRING 2003 [116] fest, dass eine Ertragsabsicherung durch eine Unkrautbekämpfung im Raps erst ab einem Unkrautdeckungsgrad ≥ 20 % möglich ist. Dies wird begründet indem das Schadenspotential einzelner Unkrautarten von der Besatzdichte und der Konkurrenzleistung der Kultur abhängt und Raps „unterschwellig“ Unkrautbesatz überwachsen und sich ungestört entwickeln kann. Ein direkter Zusammenhang zwischen der durch einen Herbizideinsatz erzielten Ertragsabsicherung und der absoluten Wirtschaftlichkeit (bereinigte Marktleistung in Euro/ha) der jeweiligen Herbizidbehandlung kann daher in vielen Fällen nicht hergestellt werden. Außerdem werden bestimmte Arten mit den zur Verfügung stehenden Herbiziden nur begrenzt bekämpft und können mittel- bis langfristig ein höheres Samenpotential bzw. einen höheren Unkrautbesatz verursachen. Eine Herbizidbehandlung hat neben der direkten Bekämpfung der verschiedenen Unkrautarten die Aufgabe, das Samenpotential im Boden, insbesondere das von Problemunkräutern wie Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), Hellerkraut (*Thlaspi arvense*), Stiefmütterchen (*Viola*) und Storchschnabel (*Geranium*) zu mindern. GEHRING 2003 [116] führt an, dass die Flächenverteilung der Unkräuter im Bestand nicht homogen ist, die Behandlungsmöglichkeiten ab einem Entwicklungsstand der

Unkräuter in BBCH 12-14 aufgrund der gegebenen Herbizidpalette begrenzt werden und Spätbehandlungen nicht mehr effektiv wirken.

Unter diesen Gesichtspunkten kommt auch das in den 90er Jahren an der Universität Göttingen in Zusammenarbeit mit den Pflanzenschutzdiensten der Bundesländer entwickelte Schadensschwellenmodell zur Unkrautkontrolle im Winterraps RAPUS [118] in der Praxis nicht zum Tragen. Dreijährige Versuche an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zeigen eine nicht signifikante bereinigte Marktleistung von - 4 % und - 15 Euro/ha des RAPUS-Modells gegenüber der Standardbehandlung mit Butisan Top. GEHRING 2003 [117] führt dies auf die leistungsschwächeren Behandlungsempfehlungen nach dem RAPUS-Modell zurück, das Butisan statt Butisan Top im frühen Nachauflauf bzw. Spätbehandlungen mit generell eingeschränkter Bekämpfungsleistung empfiehlt. Er folgert daraus, dass RAPUS sich vor allem für Standorte mit geringer Verunkrautung eignet, und für Standorte, auf denen im Einzelfall auch ganz auf eine Herbizidbehandlung verzichtet werden kann.

WERNER und GARBE 1998 [63] zeigen in ihren Untersuchungen, dass eine ganzflächige Unkrautbekämpfung auf 22 % - 74 % der untersuchten Flächen unwirtschaftlich ist. Dies gilt vor allem, wenn Problemzonen einzelner Schläge unter Berücksichtigung von Schadensschwellen großräumig abgegrenzt und spezifisch behandelt werden, oder ein ausreichend sensibles System zur unkraut- und ortsspezifischen Teilflächenbehandlung zur Verfügung steht.

Eine Alternative zu der derzeit vorteilhaften, frühzeitigen Standardbehandlung (Voraufaufbehandlung bzw. sehr früher Nachauflauf) mit Breitbandherbiziden hin zu einer schadensschwellenabhängigen Unkrautbekämpfung wird mit der Einführung gentechnisch veränderter, herbizidresistenter Rapssorten nutzbar. Mit den entsprechenden, breit wirksamen Komplementärherbiziden ist die Anwendung weitgehend unabhängig vom Entwicklungsstadium der Kulturpflanzen möglich.

Bestätigt wird die Terminflexibilität und die Möglichkeit des Herbizideinsatzes nach Schadensschwellen bei Einführung der HR-Technik in noch nicht veröffentlichten Versuchen, beauftragt von der UFOP (Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V.). Danach erstreckt sich die Flexibilität der Herbizidanwendung bei Einsatz konventioneller Herbizide ab Aussaat über 12 Tage, bei Bekämpfung nach Schadensschwellen bei Anwendung konventioneller Herbizide über 19 Tage und bei Bekämpfung nach Schadensschwellen und Einsatz des Liberty Link-Systems über 31 Tage. Während 1998/99 und 2000/01 60 % bzw. 40 % der Flächen über der Schadensschwelle liegen und behandelt werden mussten, ist im Jahr 1999/00 die Notwendigkeit einer Herbizidbehandlung unter Berücksichtigung von Schadensschwellen nicht gegeben [161] [pers. Mitteilung Fa. BayerCropScience].

Die Einsatzmöglichkeit von Glufosinat („Basta“, 200 g/l Glufosinat) in Winterraps wurde unter bayerischen Anbaubedingungen in den Jahren 1998/99 auf 7 Versuchsor-

ten hinsichtlich Aufwandmenge, Einsatztermin/-Häufigkeit und Kombinationen mit anderen Präparaten an der damaligen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau untersucht. Im Durchschnitt der Versuche zeigt eine Aufwandmenge von 549 - 640 g/ha Glufosinat eine befriedigende Wirkung. Kombinationen mit Schwefelsaurem Ammoniak bringen eine Wirkungsverbesserung. Die besten Ergebnisse werden mit einer Spritzfolgebehandlung Herbst/Frühjahr erzielt [65] [115]. Die breite Wirkung von Glufosinat ermöglicht, unabhängig von Bodenbedingungen und Entwicklungsstand der Unkräuter, eine effektive und gezielte Unkrautbekämpfung.

HARMS et.al. 1998 [62] erzielen bei ihren Untersuchungen zur Unkrautbekämpfung in herbizidtoleranten Kulturpflanzen, durchgeführt 1994 - 1997 in Deutschland, durch die Splittingapplikation von 2 x 2,25 l/ha Liberty im Herbst die beste Wirkung in Raps.

Durch Anbau herbizidtoleranter Rapssorten können präventive Vorsaat- und Vorauf-
laufbehandlungen mit konventionellen Herbiziden durch einen, je nach Stärke der Verunkrautung, gezielten Einsatz der Komplementärherbizide im Herbst oder Frühjahr ersetzt werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, beim konkurrenzkräftigen Winter-
raps eine Unkrautbekämpfung nach Schadensschwellen praxistauglich einzuführen. Wirkstoffspezifische Schwächen von Glufosinat gegen einzelne Unkräuter bzw. Problemunkräuter im Winter-
raps (z.B. Stiefmütterchen, Klettenlabkraut) müssen im Einzelfall durch Zugabe von Additiven oder konventionellen Präparaten kompensiert werden.

6.3 Nutzung der HR-Technologie in Zuckerrüben

Zur Vermeidung hoher Ertragsverluste erfolgt in Deutschland unter Praxisbedingungen eine intensive Anwendung von Herbiziden in Zuckerrüben. Abhängig von der Stärke der Verunkrautung und dem Entwicklungsstadium der Unkräuter ist eine 3- bis 4malige Behandlung der Zuckerrübenbestände im Nachauflauf notwendig.

In den USA erfolgt die Herbizidausbringung als Bandbehandlung (auf 38 % der Flächen) kombiniert mit mechanischer Bearbeitung zwischen den Reihen (auf 98 % der Flächen), während in Europa weitgehend eine ganzflächige Ausbringung der Herbizide praktiziert wird. Dadurch wird im Vergleich zu den USA (1,1 kg/ha) in Europa durchschnittlich die dreifache Menge (3,2 kg/ha) an herbiziden Wirkstoffen ausgebracht. Da die meisten Herbizide die Unkräuter nur in einem sehr frühen Entwicklungsstadium ausreichend bekämpfen, ist ein mehrfacher, dem Auflauf der Unkräuter angepasster Herbizideinsatz notwendig.

Neue Wege für einen ökonomischen und umweltschonenden Zuckerrübenanbau können gentechnisch veränderte, herbizidtolerante Zuckerrübensorten eröffnen. In Deutschland wurden in den Jahren 1998 bis 2000 bundesweit Versuche mit herbizidtoleranten Zuckerrüben im Rahmen des Registrierungsverfahrens für die Komplementärherbizide durchgeführt. In Bayern lag eine Versuchsfläche in Erbshausen bei Würzburg. Verglichen werden 9 Roundup Ready- bzw. Liberty Link -Varianten mit Aufwandmengen von 2 bis 6 l/ha in 2 bis 3 Anwendungen mit der konventionellen Variante mit 3 bis 4 Anwendungen selektiver Rübenherbizide. Im dreijährigen Mittel zeigen die Liberty Link- und Roundup Ready-Varianten mit einer Aufwandmenge von insgesamt 6 l/ha im Vergleich zur konventionellen Variante eine gleich gute herbizide Wirkung. Einsatzhäufigkeit und Applikationstermine sind jedoch unterschiedlich. Geringere Aufwandmengen führen bei einigen Unkräutern nicht zum gewünschten Bekämpfungserfolg und sind nur auf schwach verunkrauteten Feldern empfehlenswert. Während die Unkrautbekämpfung im konventionellen Verfahren im 4- bis 6-Blattstadium (BBCH 14 - 16) der Zuckerrübe abgeschlossen wird, ist es in den HR-Varianten unerheblich, ob mit der Applikation im 2- oder 6-Blattstadium (BBCH 12; 16) der Zuckerrübe begonnen wird. Abschließende Behandlungen im 8- bis 10-Blattstadium der Zuckerrüben (beginnender Reihenschluss) bringen Wirkungsvorteile bei Problemunkräutern. Die Verarbeitungsqualität der Rübe wird durch den Einsatz der HR-Technik nicht beeinflusst [121] [120] [119].

Durch den Anbau herbizidtoleranter Zuckerrübensorten kann sich der Herbizideinsatz in Bayern von einer durchschnittlich dreimaligen konventionellen Anwendung auf eine zweimalige Ausbringung von Roundup bzw. Liberty, mit gleich gutem Bekämpfungserfolg, reduzieren. Die Komplementärherbizide haben ein breites Wirkungsspektrum. Es werden auch noch größere Unkräuter und Problemunkräuter wie Disteln (*Cirsium*), Hundspetersilie (*Aethusa cynapium*), Kartoffel- und Sonnenblumendurchwuchs, sowie verschiedene Ungräser erfasst, die bislang nur mit speziellen Graminiziden bekämpft werden können. Die Aufwandmengenelastizität der Komplementärherbizide hängt natürlich auch vom Entwicklungsstadium der Unkräuter ab. Daraus resultieren unterschiedliche Herbizidansatzstrategien: Frühzeitig gegen noch kleine Unkrautstadien mit relativ niedrigen Aufwandmengen bei der einzelnen Applikation und Behandlungshäufigkeiten wie bei den konventionellen Herbizidprogrammen, relativ spät mit höheren Aufwandmengen gegen eine bereits weiter entwickelte Unkrautflora und der Option auf eine niedrigere Anwendungsfrequenz. Unter bestimmten Bedingungen, z.B. früher Abschluss einer Spritzfolge, können jedoch auch Zusätze von bodenwirksamen Herbiziden notwendig werden.

Zur Kostensituation sind derzeit keine gesicherten Aussagen zu treffen. Es wird allerdings davon ausgegangen, dass die Kosten der HR-Technologie weitgehend über einen Aufschlag auf den Saatgutpreis abgedeckt werden. Für den Anwender wird

daher die höchste Kosten-Nutzen-Effizienz zu erwarten sein, wenn die HR-Technologie weitgehend solo, d.h. ohne Ergänzung mit herkömmlichen Herbiziden angewendet wird.

Für erosionsgefährdete Standorte ist die Verwendung der HR-Technik in Mulch- bzw. Direktsaatverfahren besonders vorteilhaft. Mit den Komplementärherbiziden können noch weit entwickelte Unkräuter sicher bekämpft werden und die Herbizidwirkung ist nicht von den Bodeneigenschaften abhängig. Eine erst relativ späte Unkrautbehandlung ermöglicht ausserdem eine Lebendverbauung durch die Unkrautwurzeln und damit einen zusätzlichen Erosionsschutz, sowie eine bessere Entwicklungsfähigkeit der Biozöten auf der Rübenanbaufläche [140].

6.4 Nutzung der Bt-Resistenz gegen den Kartoffelkäfer

Freilandversuche mit gentechnisch veränderten Kartoffeln mit einer Bt-Resistenz gegen den Kartoffelkäfer wurden in Bayern bislang nicht durchgeführt. Forschungsarbeiten verfolgen momentan das Ziel, transgene Kartoffelsorten mit verbesserten Resistenz- und Qualitätseigenschaften zu entwickeln, wobei vorrangig die Resistenz gegen das Kartoffelvirus Y und die Veränderung der Stärkezusammensetzung bearbeitet werden. Durch Anbau von Bt-Kartoffeln wird sich nach ZELLNER [149] in Bayern eine 1-2 malige Insektizidanwendung gegen den Kartoffelkäfer erübrigen. Möglichkeiten einer Reduzierung von Insektizidmengen und Applikationshäufigkeiten werden unter Punkt 7.4 diskutiert.

6.5 Anmerkung zu Sojabohnen

In Bayern ist der Sojaanbau nur sehr kleinflächig (200 – 300 ha) von Bedeutung. Von der Fruchtfolge her gesehen sind Sojabohnen eine sehr günstige Kultur. Betriebswirtschaftlich gesehen sind Sojabohnen mit Erbsen und Ackerbohnen nicht konkurrenzfähig, da Sojabohnen als Kurztagspflanzen bei uns niedrigere Erträge bringen bzw. keine ausreichend adaptierten Sorten vorhanden sind. In den derzeitigen regionalen Vermarktungsprogrammen wird zudem der Anbau von gentechnisch veränderten Sorten grundsätzlich ausgeschlossen.

In den USA werden bereits auf 75 % der Sojaanbaufläche gentechnisch veränderte Sorten angebaut, in Argentinien auf 99 % der Flächen. Der Anbau unterliegt keinen Auflagen, sie werden als gesundheitlich unbedenklich eingestuft und gleich den kon-

ventionellen Sojabohnen behandelt, d.h. es gibt keine Trennung bei Ernte, Transport, Lagerung und Verarbeitung. Eine Trennung würde unmittelbar zu höheren Transport- und Lagerkosten führen. Um den Anforderungen der Märkte in Europa und Asien gerecht zu werden, führte man verschiedene Hard IP (Vertragsanbau) und Soft IP (Identity Preservation) Systeme ein. Damit ist gesichert, dass die GVO-Anteile unterhalb des in den Importländern geltenden Schwellenwertes liegen. Für die europäische Futter- und Lebensmittelindustrie sind Sojaimporte neben Brasilien auch aus USA und Argentinien von Bedeutung. Eine „Gentechnik-Freiheit“ der auf den Weltmärkten angebotenen Sojarohstoffe kann jedoch nicht garantiert werden. Deshalb ist nach Informationen von transgen.de davon auszugehen, dass daraus erzeugte Lebens- und Futtermittel auch Anteile aus gentechnisch veränderten Sojabohnen enthalten.

7.0 Einsparungen an Pflanzenschutzmittelmengen und Anwendungshäufigkeiten

Welche Einsparungen an Insektiziden und Herbiziden in den Kulturen Mais, Raps, Zuckerrüben und Kartoffeln zu erwarten sind, wenn in Bayern gentechnisch veränderte Sorten, im gleichen Anbauverhältnis wie in den USA, zum Anbau kommen, wird kulturspezifisch untersucht. Die Datengrundlagen basieren bei den im konventionellen Anbau in Bayern ausgebrachten Präparaten, bei Aufwandmengen und Applikationsflächen, auf den sogenannten NEPTUN Erhebungen aus dem Jahre 2002. Bei den HR- und Bt-Systemen, soweit vorhanden, auf Erfahrungswerten aus Versuchen. Das Projekt NEPTUN (Netzwerk zur Ermittlung des Pflanzenschutzmanagements in bestimmten Kulturen und unterschiedlichen Naturräumen mit wesentlicher landwirtschaftlicher Nutzung) erlaubt Aussagen zur Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in Bayern. Die regionale Einteilung erfolgt nach Boden-Klima-Regionen. Der entwickelte Behandlungsindex wird nach Intensitätsniveau niedrig-mittel-hoch entsprechend den Erfordernissen in einzelnen Regionen nach Herbiziden, Fungiziden, Insektiziden etc. in Bayern aufgeführt [159].

Bei den Komplementärherbiziden Roundup und Liberty wird der Wirkstoffgehalt mit 360,0 g/l Glyphosat bzw. mit 200 g/l Glufosinat-Ammonium in Ansatz gebracht.

7.1 Einsparungsmöglichkeiten bei gentechnisch verändertem Mais

Maissorten mit Insektenresistenz, Herbizidresistenz und kombinierten Eigenschaften (Bt-/HR-Resistenz) werden nur in den USA seit mehreren Jahren in großem Umfang angebaut. Dadurch steht ein vergleichsweise großes Zahlenmaterial zu möglichen Einsparungen bei Pflanzenschutzmitteln zur Verfügung. Deshalb wird unabhängig von unterschiedlichen Bewirtschaftungssystemen und Schaderregerpopulationen untersucht, wie sich der Anbau von gentechnisch verändertem Mais in gleichem prozentualen Umfang wie in den USA auf den Pflanzenschutzmittelaufwand in Bayern auswirkt.

Unter der Voraussetzung, dass in Bayern, wie in den USA, im Jahre 2002 auf 34 % (131.920 ha) der Maisanbaufläche von 388.000 ha gentechnisch veränderter Mais angebaut wird, verteilt sich die Fläche, wie in Tabelle 21 dargestellt, auf den Anbau von Bt-Mais (64 %) mit 84.429 ha, herbizidresistenten Mais (26 %) mit 34.299 ha und Bt-/HR-Mais (6 %) mit 7.915 ha.

In Bayern liegt der Flächenanteil, der gegen Maiszünsler behandelt wird, derzeit niedriger. Oft ist die notwendige Technik nicht vorhanden. Durch Befahren hoher Maisbestände kann ausserdem deutlicher Schaden verursacht werden.

Tab. 21: Vergleich der Flächenanteile USA/Bayern bei Anbau von gentechnisch verändertem Mais auf 34 % der Maisanbaufläche (2002)

Anteil GVO	in %	USA (Mio. ha)	Bayern (in ha)
Bt-Resistenz	64	7,0	84.429
H-Resistenz	26	2,8	34.299
Bt-/H-Resistenz	6	0,7	7.915
Sonstige	4	0,4	5.277
Summe	100	10,9	131.920

7.1.1 Einsparungen beim Anbau von Bt-Mais

Wird in Bayern auf einer Fläche von 84.429 ha (ca. 22 % der Gesamtanbaufläche von Mais) Bt-Mais angebaut, so reduziert sich der im konventionellen Anbau notwendige Insektizideinsatz in einer Größenordnung von 63,3 t (0,75 l/ha) Gesamtmittelaufwand bzw. 3,2 t (0,04 kg/ha) an Wirkstoff (Tab. 22). In Ansatz gebracht wird eine einmalige Anwendung von Baythroid 50 (Wirkstoff: Cyfluthrin) in einer Aufwandmenge von 0,75 l/ha.

Tab. 22: Insektizideinsparung und Reduzierung der Applikationshäufigkeit bei Anbau von Bt-Mais in gleichem prozentualen Umfang wie in den USA

GVO- Anbaufläche Anteil in %	Insektizideinsparung				Reduzierung Applikationshäufigkeit	
	Präparat		Wirkstoff		Anzahl/ha	Gesamtfläche/ha
	in t	l/ha	in t	in kg/ha		
64	63,3	0,75	3,2	0,04	1	84.429

Nach Angabe von ZELLNER 1999 [75] wird der Maiszünsler in Bayern auf etwa 20.000 ha/Jahr bzw. 5 % der Gesamtanbaufläche mit Insektiziden bekämpft. Bei Einsatz von Baythroid 50 mit einer Aufwandmenge von 0,75 l/ha errechnet sich ein Einsparpotential an Pflanzenschutzmitteln von ca. 15,0 t bzw. von insgesamt 0,77 t an Wirkstoffen.

Aufgrund des schwierigen technischen Insektizideinsatzes in 1,5 - 2.0 m hohen Maisbeständen und dadurch bedingten Fahrverlusten, sowie der besseren Wirkung ist nach ZELLNER 2003 [149] davon auszugehen, dass Landwirte in Befallsgebieten auf Bt-

Mais umsteigen. Unter dem Gesichtspunkt, dass viele Landwirte momentan eventuell auch bei Befall über der Schadensschwelle aufgrund oben genannter Schwierigkeiten auf den Insektizideinsatz verzichten und den Ertragsausfall hinnehmen, sowie dem zunehmenden Trend zur pfluglosen Bestellung, ist es sogar vorstellbar, dass Bt-Sorten auf 25 % der Maisflächen angebaut werden. Eine Ausdehnung auf 50 % der Fläche ist denkbar, wenn Sorten mit kombinierter Insekten- und Herbizidresistenz (stacked genes) zur Verfügung stehen. Tabelle 23 zeigt die potentiellen Auswirkungen eines GVO-Anbaus in Bayern auf die Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes und der Applikationshäufigkeit bei unterschiedlichen GVO-Anbauflächen mit Bt-Mais.

Tab. 23: Mögliche Reduzierung der Insektizidmenge und Applikationshäufigkeit bei Anbau von Bt-Mais in Bayern auf steigenden GVO-Anbauflächen

Kultur	GVO Anbaufläche %	Reduzierung			
		Präparat t	Wirkstoff t	Applikationshäufigkeit Anzahl/ha	Gesamtfläche/ha
Bt-Mais:	5	14,6	0,75	1	19.400
	25	72,8	3,73	1	97.000
(stacked genes)	50	145,5	7,46	1	194.000

Bei Anbau von Bt-Mais auf 19.400 ha errechnen sich Einsparungen an Insektizidmengen von 14,6 t, bei Anbau auf 97.000 ha von 72,8 t. Wird Bt-Mais auf 50 % der Maisfläche (194.000 ha) angebaut sind Einsparungen an Insektizidmengen von 145,5 t möglich. Die Einsparungen bei den insektiziden Wirkstoffen betragen entsprechend den GVO-Anbauflächen 0,75 t bzw. 3,73 t und 7,46 t. Auch hier wird eine einmalige Anwendung von Baythroid 50 in einer Aufwandmenge von 0,75 l/ha in Ansatz gebracht.

7.1.2 Einsparungen beim Anbau von HR-Mais

In Mais erfolgt im konventionellen Anbau auf nahezu 100 % der Fläche ein in der Regel einmaliger Einsatz von Herbizidmischungen im Vorauf- bzw. im frühen Nachaufverfahren. Eine große Zahl an verfügbaren Wirkstoffen ermöglicht die Bekämpfung nahezu aller im Mais vorkommenden Unkrautarten.

In den Tabellen 24, 24a und 24b sind die in Bayern zum Anbau 2002 ausgebrachten Herbizide (Breitbandherbizide und Sonderbehandlungen) im konventionellen Maisanbau nach Applikationsfläche und Menge dargestellt. Errechnet werden die ausgebrachte Herbizidgesamtmenge und Gesamtwirkstoffmenge der einzelnen Präparate, bei einer Behandlungsquote von 1,0 (Breitbandherbizide Tab. 24). Besondere Unkrautprobleme in Mais (z.B. Ampfer, Disteln, Huflattich, Winden-Arten, Durchwuchskartoffel) erfordern den Einsatz von Spezialmitteln. Diese Sonderbehandlungen werden im Folgenden mit einer Behandlungsquote von 0,025 miterfasst (Tab. 24a). Die Summe an ausgebrachten Produkt- und Wirkstoffmengen in Tonnen (t) bzw. kg/ha ist in Tabelle 24 b dargestellt.

Tab. 24: 2002 in Bayern ausgebrachte Breitbandherbizide in Mais

	Präparat (Aufwand in l bzw. kg/ha)	Applikations-		Ausgebrachte Gesamtmenge		
		fläche (ha bzw. %)		bei einer Behandlungsquote von 1,0		
				Präparate in t	Wirkstoffe in t	
1)	Gardo Gold +Callisto	(3,0) (0,75)	58.200	(15 %)	218,3	91,7
2)	Gardo Gold +Callisto +Motivell	(2,0) (0,5) (0,8)	38.800	(10 %)	128,0	41,9
3)	Gardo Gold +Callisto +Cato	(2,5) (0,75) (0,03)	15.520	(4 %)	50,9	20,7
4)	Artett +Motivell	(2,5) (1,0)	77.600	(20 %)	271,6	61,3
5)	Gardo Gold +Motivell	(2,5) (0,75)	23.280	(6 %)	75,7	29,8
6)	Gardo Gold +Cato	(2,5) (0,03)	19.400	(5 %)	49,1	24,4
7)	Gardo Gold + Task	(2,5) (0,25)	11.640	(3 %)	32,0	4,7
8)	Artett +Spectrum +Motivell	(2,5) (1,25) (0,75)	31.040	(8 %)	139,7	52,1
9)	Terano +Certrol +Cato	(1,0) (0,3) (0,03)	11.640	(3 %)	15,5	8,2
10)	Terano +Task	(1,0) (0,25)	11.640	(4 %)	14,6	9,1
11)	Stomp SC +Spectrum +Motivell	(2,5) (1,25) (0,75)	15.520	(4 %)	69,8	30,0
12)	Mikado +Certrol B +Cato	(1,0) (0,3) (0,03)	7.760	(2 %)	10,3	2,9
13)	Certrol B +Cato	(1,0) (0,03)	7.760	(2 %)	8,0	1,9
14)	Lido SC	(2,5)	31.040	(8 %)	77,6	31,8
15)	Click +Xerxes	(0,75) (0,75)	15.520	(4 %)	23,3	8,6
16)	Callisto	(1,0)	7.760	(2 %)	7,8	0,8
17)	Mikado	(1,0)	3.880	(1 %)	3,9	1,2
Gesamt			388.000	(100 %)	1.196,1	431,1

Tab. 24 a: Sonderbehandlungen gegen Problemunkräuter in Mais

Präparat (Aufwand in l bzw. kg/ha)	Applikations- fläche (ha bzw. %)	Ausgebrachte Gesamtmenge bei einer Behandlungsquote von 0,025	
		Präparate in t	Wirkstoffe in t
1) Harmony (0,007)	291.000 (75%)	0,05	0,03
2) Starane (1,0)	58.200 (15 %)	1,45	0,26
3) Banvel 4 S (0,75)	38.800 (10 %)	0,72	0,34
Gesamt	388.000 (100 %)	2,22	0,63

Tab. 24 b: Summe aus Breitband- und Sonderbehandlungen zur chemischen Unkrautbekämpfung in Mais

Behandlungen	Applikations- fläche (ha)	Ausgebrachte Gesamtmenge			
		Präparate t	Wirkstoffe kg/ha	Präparate kg/ha	Wirkstoffe t
Breitbandbehandlungen + Sonderbehandlungen	388.000	1.198,32	3,10	431,73	1,11

Im Ergebnis zeigt sich, dass in Bayern im Jahre 2002 in Mais insgesamt 1.198 t (3,1 kg/ha) an Herbiziden bzw. 432 t (1,1 kg/ha) an herbiziden Wirkstoffe ausgebracht wurden.

In den USA wurden 2002 auf 26 % (2,6 Mio. ha) der GVO-Maisflächen Sorten mit gentechnisch vermittelter Herbizidresistenz angebaut. In Bayern bezieht sich der gleiche prozentuale Flächenanteil, wie in Tabelle 21 dargestellt, auf einen Umfang von 34.299 Hektar.

In Tabelle 25 wird der mögliche Einsatz der HR-Technik für Bayern in verschiedenen Kombinationen und Anwendungen im Vergleich zur konventionellen Behandlung auf 34.299 ha dargestellt. In Ansatz kommen eine sogenannte „Solo-Anwendung“ in einer von der Industrie empfohlenen einmaligen Ausbringung der Komplementärherbizide Roundup bzw. Liberty mit einer Aufwandmenge von 3,5 l/ha bzw. eine Splittinganwendung von 2 x 2,25 l/ha, sowie eine einmalige Anwendung von Liberty bzw. Roundup (2,5 l/ha) in Mischung mit einem weiteren Herbizid mit Dauerwirkung als Tankmischungsanwendung, die sich bereits in Versuchen bewährt hat.

Tab. 25: Einsatz von Roundup und Liberty in unterschiedlichen Mengen und Kombinationen in HR-Mais auf 34.299 Hektar im Vergleich

Einsatz der HR-Technik auf 34.299 ha Behandlungssysteme und Ausbringungsmenge (l bzw. kg/ha)	Präparat		Ausgebrachte Gesamtmengen			
			Roundup (Glyphosat) Wirkstoff		Liberty (Glufosinat) Wirkstoff	
	t	kg/ha	t	kg/ha	t	kg/ha
HR-Technik (3,5) (von Industrie empfohlen)	120,0	3,5	43,2	1,3	24,0	0,7
HR-Technik (2,25 + 2,25)	154,3	4,5	55,5	1,6	30,9	0,9
HR-Technik + Konventionelle Bodenherbizide						
HR-Technik (2,5) + Spectrum (1,2)	126,9	3,7	60,5	1,8	46,7	1,4
HR-Technik (2,5) + Terano (1,0)	120,0	3,5	52,3	1,5	38,5	1,1
HR-Technik (2,5) + Gardo Gold (2,5)	171,5	5,0	73,8	2,2	60,0	1,7
HR-Technik (2,5) + Dual Gold (1,0)	120,0	3,5	63,8	1,9	41,0	1,2

Zum Vergleich:

Konventionelle Behandlung auf 34.299 ha	106,3	3,1	37,7	1,1	37,7	1,1
------------------------------------------------	--------------	------------	-------------	------------	-------------	------------

Das Ergebnis zeigt, dass die HR-Technik der konventionellen Herbizidanwendung nur bei Liberty-Anwendung von 2 x 2,25 l/ha und der einmaligen Liberty-Aufwandmenge von 3,5 l/ha in der Wirkstoffmengenreduzierung (Glufosinat-ammonium) überlegen ist. Bei allen weiteren Varianten ist im Vergleich zu konventionell, weder bei Betrachtung der Gesamtmittelmengen noch bei den ausgebrachten Wirkstoffmengen eine Reduzierung gegeben. Auch im Vergleich mit den Tankmischungsanwendungen „HR-Technik + konventionelle Bodenherbizide“ schneidet das konventionelle Verfahren hinsichtlich Herbizidmengen- und Wirkstoffmengenreduzierung günstiger oder gleichwertig ab. In der Kombination HR-Technik plus Bodenherbizid kann die Aufwandmenge des Bodenherbizides standortspezifisch eventuell auf 1/2 bis 2/3 der zugelassenen Aufwandmenge reduziert werden. Die Berechnungen sind dementsprechend anzugleichen.

Vorstellbar ist in Bayern nach GEHRING 2003 [148] die Anwendung der Kombination HR-Technik plus Bodenherbizid auf etwa 70 %, eine Solo- oder Splitting-Anwendung auf jeweils 15 % der Maisanbauflächen. Die Tankmischungsanwendung mit Bodenherbiziden wird vor allem in Lagen mit hohen Niederschlägen (Südbayern), bedingt durch entsprechende Nachauflaufwellen bei Unkräutern zum Einsatz kommen. Splittingapplikationen sind generell in niederschlagsärmeren Gebieten anwendbar. Hierbei besteht die Option, auf die zweite Applikation zu verzichten, wenn es nur zu einem relativ geringen Nachauflauf der Unkräuter kommt, die als Restverunkrautung

toleriert werden können. Die einmalige Applikation der Komplementärherbizide ist in Trockengebieten, wie Franken, aufgrund fehlender Nachauflaufwellen der Unkräuter, in der Wirkung als ausreichend zu beurteilen.

7.2 Einsparungen beim Anbau von HR-Raps

In Raps werden auf nahezu 100 % der Anbauflächen (167.000 ha), teilweise präventiv im Vorsaat- bzw. Voraufverfahren, Herbizide eingesetzt. Das Unkrautspektrum umfasst in Bayern v.a. Vogelmiere (*Stellaria media*), Kamille (*Matricaria*), Klettenlabkraut (*Galium aparine*), Ausfallgerste, Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), Ehrenpreis (*Veronica*), Stiefmütterchen (*Viola*) und Taubnessel (*Lamium*). Durch eine eventuell notwendige Zusatzbehandlung bei Auftreten von Problemunkräutern wie z.B. Hirtentäschel und Hellerkraut (*Thlaspi arvense*) oder von Ungräsern erhöht sich die Gesamtapplikationsfläche auf insgesamt 214.270 ha. In Tabelle 26 sind die in Bayern zum Anbau 2001/2002 ausgebrachten Herbizide im Raps nach Applikationsfläche und Menge dargestellt. Errechnet wird die ausgebrachte Herbizidgesamtmenge und Gesamtwirkstoffmenge der einzelnen Präparate anteilig für die gesamte Behandlungsfläche.

Tab. 26: Gesamtherbizideinsatz (Breitbandmittel und Graminizide) in Raps in Bayern 2001/2002

Präparat (Aufwand in l bzw. kg/ha)	Applikations- Fläche (ha)	Ausgebrachte Gesamtmenge		
		Präparat t	Wirkstoff t	
Butisan Top	(1,80)	90.750	163,4	81,7
Brasan	(2,75)	41.750	114,8	62,0
Fusilade MAX	(0,75)	15.030	11,3	1,2
Gallant Super	(0,40)	14.195	5,7	0,6
Ipifluor	(2,50)	8.350	20,9	10,0
Nimbus	(2,75)	5.010	13,8	3,9
Devrinol fl.	(2,75)	4.950	13,6	6,1
Cirrus	(0,24)	4.175	1,0	0,5
Butisan	(1,50)	4.175	6,3	3,1
Pradone Kombi	(3,50)	3.340	11,7	8,8
Treflan, Triflurex	(2,50)	8.350	20,9	10,0
Lontrell 100	(1,00)	3.340	3,3	0,3
Focus Ultra	(1,50)	2.839	4,3	0,4
Targa Super	(0,75)	3.674	2,8	0,1
Devrinol Kombi	(4,50)	1.670	7,5	3,2
Select 240 EC	(0,40)	1.670	0,7	0,2
Agil	(0,75)	1.002	0,8	0,1
Gesamt		214.270	402,8	192,2

Im Anbaujahr 2001/2002 wurden in Bayern auf der gesamten Rapsanbaufläche (167.000 ha) 402,8 t an Herbiziden (2,4 kg/ha) bzw. 192,2 t an herbiziden Wirkstoffen (1,1 kg/ha), ausgebracht.

Welchen Einfluss die Anwendung der HR-Technologie auf den Herbizidaufwand nimmt, wird in Tabelle 27 dargestellt. Bei Einsatz der HR-Technik Liberty Link (Glufofosinat) mit einer Aufwandmenge von 3,0 l/ha auf der gesamten Rapsanbaufläche in Bayern liegt die ausgebrachte Wirkstoffmenge um 92,0 t unter der konventionellen Anwendung. Wird in Bayern, wie in den USA, auf 75 % der Rapsanbaufläche HR-Raps angebaut, ist die ausgebrachte Wirkstoffmenge bei Liberty-Anwendung gegenüber dem konventionellen Anbau um 69 t geringer. Bei Einsatz des HR-Systems Roundup Ready mit 3,0 l/ha auf 75 % der Fläche errechnet sich eine Gesamtmittelmenge von 375,8 t und eine im Vergleich zum konventionellen Anbau um 8,9 t geringere Gesamtwirkstoffmenge von 135,3 t. Auf Hektar bezogen schneidet die konventionelle Herbizidanwendung mit durchschnittlich 2,4 kg bzw. l/ha um 0,6 kg bzw. l/ha günstiger ab als die HR-Systeme. Die ausgebrachten Wirkstoffmengen liegen nur

beim HR-System mit Glufosinat-Anwendung mit 0,6 kg/ha deutlich unter der im konventionellen Herbizideinsatz durchschnittlich errechneten Wirkstoffmenge von 1,1 kg/ha.

Tab. 27: Anwendung der HR-Systeme Liberty Link bzw. Roundup Ready in Raps bei unterschiedlichem Anwendungsumfang

Präparat (Aufwand in l/ha)	Applikationsfläche		Ausgebrachte Gesamtmenge bei einer Behandlungsquote von 1,0 Präparat Wirkstoff			
	ha	%	t	kg/ha	t	kg/ha
Liberty (3,0)						
(Glufosinat)	167.000	100	501,0	3,0	100,2	0,6
	125.250	75	375,8	3,0	75,2	0,6
Roundup (3,0)						
(Glyphosat)	167.000	100	501,0	3,0	180,4	1,1
	125.250	75	375,8	3,0	135,3	1,1

Zum Vergleich:

Konventionelle Behandlung	167.000	100	402,8	2,4	192,2	1,1
	125.250	75	302,1	2,4	144,2	1,1

Nicht eingerechnet werden Einsparungen, die durch Herbizidanwendung nach dem Schadensschwellenprinzip denkbar sind. Geht man davon aus, dass ein bestimmter Teil der Rapsflächen so wenig verunkrautet ist, dass sich eine Bekämpfung wirtschaftlich nicht lohnt, ist der Einsatz des HR-Systems, als sogenanntes „Sicherungssystem“, im Raps eine sinnvolle Alternative hinsichtlich Pflanzenschutzmitteleinsparungen [106]. Im Vergleich zur Anwendung von Voraufherbiziden ermöglichen Nachaufherbizide durch flexible, angepasste Dosierung die Anwendung eines Schadensschwellenprinzips [62]. Die im Rahmen des HR-Systems neben den gentechnisch veränderten herbizidtoleranten Pflanzen eingesetzten Komplementärherbizide sind im Nachauflauf hoch effektiv und bieten somit neben einem breiten Wirkungsspektrum und hoher Kulturpflanzenverträglichkeit eine große Einsatzflexibilität. Für Raps sind nur wenige Herbizide im späten Nachauflauf zugelassen. Hierbei handelt es sich um Spezialpräparate zur Gräserbekämpfung und gegen spezielle Unkrautprobleme (z.B. Disteln). Komplementärherbizide der HR-Systeme können dagegen noch gegen weiter entwickelte Unkräuter nach Bedarf wirksam angewendet werden. Derzeit werden auf Standorten mit Unkraut- und Ungrasproblemen in der Regel zwei Behandlungen durchgeführt. Bei Einsatz der Komplementärherbizide ist, bei

entsprechend hoher Aufwandmenge, nur eine Behandlung notwendig. Dies spart ausserdem nicht nur Kosten in Form von Arbeitszeit und zusätzlichen Präparaten, sondern auch von Energie (Diesel) und CO₂-Emissionen ein.

7.3 Einsparungen beim Anbau von HR-Zuckerrüben

Im konventionellen Zuckerrübenanbau werden nahezu 100 % der Flächen mit Herbiziden behandelt. Je nach Witterung und Unkrautflora werden 2-3 (maximal bis zu 5) Herbizidanwendungen im frühen Nachauflauf zu den Auflaufwellen der Unkräuter durchgeführt. Da kein einzelner Herbizidwirkstoff in der Lage ist, alle auftretenden Unkräuter zu kontrollieren, kommen verschiedene Wirkstoffmischungen zur Bekämpfung der wichtigsten Leitunkräuter zum Einsatz. Im Folgenden sind die in Bayern im Jahre 2002 im konventionellen Anbau ausgebrachten Breitbandherbizidkombinationen und Mittel für spezielle Gräserbekämpfung, sowie die entsprechenden Applikationsflächen dargestellt. Die Behandlungsquoten werden für Breitbandherbizide mit 2,75 und für Gräserherbizide mit 0,2 errechnet (Tab. 28). Im Vergleich dazu wird der Einsatz der HR-Technik, den positiven Versuchsergebnissen entsprechend, mit zweimaliger Ausbringung von Roundup und Liberty mit unterschiedlichen Aufwandmengen dargestellt (Tab. 29).

Ein Flächenvergleich mit den USA ist aufgrund dort fehlender Anbauflächen herbizidresistenter Zuckerrüben (siehe Punkt 2.5) nicht möglich.

Tab. 28: Gesamtherbizideinsatz (Breitbandherbizide + Graminizide) in Zuckerrüben in Bayern 2002

Präparat (Aufwand in l bzw. kg/ha)	Anbau- fläche ha	Behandlungs- quote (%Anbaufl.)	Ausgebrachte Gesamtmenge bei einer Behandlungsquote von 2,75	
			Präparat in t	Wirkstoff in t
1) Betanal Expert (1,00) + Goltix 700 SC (1,00)	37.000	(50)	203,5	96,9
2) Betanal Expert (0,80) + Goltix 700 SC (0,80) + Rebell (0,80)	25.900	(35)	170,9	79,8
3) Tornado (1,50) + Powertwin (1,00)	7.400	(10)	50,9	29,5
4) Pyramin WG (1,00) + Betanal Expert (1,00)	2.220	(3)	12,2	5,5
5) Betanal Expert (1,00) + Goltix 700 SC (1,00) + Debut (0,03)	1.480	(2)	8,3	3,9
Gesamt	74.000	(100)	445,8	215,6

Spezielle Gräserbekämpfung

Bei einer Behandlungsquote von 0,2

1) Fusilade Max (1,50)	44.400	(60)	13,30	1,4
2) Gallant Super (0,75)	25.900	(35)	3,90	0,4
3) Foccus Ultra (2,00)	3.700	(5)	1,50	0,2
Gesamt	74.000	(100)	18,70	2,0

Breitbandherbizide +

Spezielle Gräserbekämpfung

464,50 **217,6**

Werden die Komplementärherbizide entsprechend der beantragten Zulassung in der Summe mit einer Aufwandmenge von 6 l/ha (2 x 3,0 l/ha) angewendet, reduziert sich die ausgebrachte Gesamtmittelmenge bei Roundup und Liberty im Vergleich zur konventionellen Anwendung um 20,5 t (0,28 kg/ha). Die Wirkstoffmengenreduzierung beträgt bei diesem Verfahren bei Roundup 57,8 t bzw. 0,78 kg/ha, bei Liberty 128,8 t bzw. 1,74 kg/ha (Tab. 29).

Bei Einsatz der Komplementärherbizide mit zweimaliger Ausbringung von 2,5 l/ha im Vergleich zum dreimaligen Einsatz von konventionellen Breitbandherbiziden und dem Einsatz spezieller Gräserherbizide wird eine Gesamtmittelmenge von 94,7 t bzw. 1,28 kg/ha eingespart. Wird Roundup mit einer Wirkstoffmenge von 360 g/l Glyphosat eingesetzt, errechnet sich eine Wirkstoffmengenreduzierung von 84,4 t bzw.

1,14 kg/ha. Bei Verwendung von Liberty, mit einer Wirkstoffmenge von 200 g/l Glufosinat-Ammonium, verringert sich die ausgebrachte Wirkstoffmenge um 143,6 t bzw. 1,94 kg/ha gegenüber der konventionellen Behandlung. Bei niedrigem Unkrautbesatz kann die Aufwandmenge auch noch darunter liegen und in der Summe von 4 l/ha (2 x 2,0 l/ha) zu einer Reduzierung von 168,5 t an Gesamtmitteleinsatz, bzw. 111,6 t (Wirkstoff: Glyphosat) oder 158,4 t (Wirkstoff: Glufosinat-Ammonium) an Wirkstoffmengen führen.

Tab. 29: Präparat- und Wirkstoffaufwand der HR-Systeme (Roundup Ready / Liberty Link) auf 100 % der Zuckerrübenfläche je nach Einsatzintensität

Präparat (Aufwand in l/ha)	Ausgebrachte Gesamtmenge bei einer Behandlungsquote von 2,0			
	Präparat		Wirkstoff	
	t	l/ha	t	kg/ha
Roundup (2,0)	296,0	4,0	106,6	1,4
Roundup (2,5)	370,0	5,0	133,2	1,8
Roundup (3,0)	444,0	6,0	159,8	2,2
Liberty (2,0)	296,0	4,0	59,2	0,8
Liberty (2,5)	370,0	5,0	74,0	1,0
Liberty (3,0)	444,0	6,0	88,8	1,2
Zum Vergleich:				
Konventionelle Behandlung	464,5	6,3	217,6	2,9

Im Ergebnis zeigt sich bei Anbau herbizidtoleranter Zuckerrüben je nach Behandlungsintensität ein mögliches Einsparpotential an Herbizidgesamtmengen bzw. vor allem an Wirkstoffmengen. Die Anwendungshäufigkeit und der Mittelaufwand kann sehr flexibel an den Bedarf der standortspezifischen Verunkrautung angepasst werden. So können Betriebe mit relativ einfacher Verunkrautung mit einer ausreichenden Aufwandmenge der Komplementärherbizide von 2 l/ha nicht nur die ausgebrachte Herbizidmenge, sondern auch die Kosten für Herbizide und deren Ausbringung drastisch senken.

Bedingt durch den Technologievorteil, den HR-Sorten den Landwirten in Kombination mit möglichen Einsparungen bei Herbiziden bieten, ist davon auszugehen, dass gentechnisch veränderte Zuckerrübensorten in Bayern auf der gesamten Zuckerrübenfläche zum Anbau kommen. Voraussetzung ist die Verfügbarkeit ertragreicherer Sorten mit entsprechenden Qualitäten. Zudem muss sich der Saatgutpreis (incl. Technologiegebühr) auf einem wirtschaftlich vernünftigen Niveau bewegen.

7.4 Einsparungen beim Anbau von Bt-Kartoffeln

Der Kartoffelkäfer wurde in Bayern im Jahre 2002 auf 50 % der Fläche mit einer einmaligen Insektizidanwendung bekämpft [149]. Unter besonderen Witterungsbedingungen, wie im Jahre 2003 gegeben, breitet sich der Käfer so stark aus, dass eine Behandlung auf mindestens 75 % der Flächen erfolgen muss. Bei sehr starkem Auftreten erfolgt zum Teil eine zweimalige Insektizidanwendung.

Bei der Berechnung der Insektizidreduzierung durch Anbau von Bt-Kartoffeln wird als Bezugsgröße das Mittel Karate Zeon mit einer Aufwandmenge von 0,075 l/ha zugrunde gelegt. Karate Zeon war im Jahre 2002 neben Ripcord 10 das Mittel, das mit am häufigsten gegen Kartoffelkäfer eingesetzt wurde. Karate Zeon wird jedoch mit einer deutlich geringeren Aufwandmenge (0,075 l/ha) eingesetzt als Ripcord 10 (0,300 l/ha) und ist noch länger zugelassen. Für die Berechnung wird angenommen, dass eine zweite Insektizidanwendung etwa auf der halben Fläche (19.125 ha) durchgeführt wird. Da Karate Zeon nur für eine einmalige Anwendung im Kartoffelbau zugelassen ist, erfolgt die zweite Anwendung mit einem anderen Insektizid, z.B. Tamaron (1,2 l/ha). Ein Wirkstoffwechsel sollte auch zur Verhinderung einer Resistenzbildung eingeplant werden.

Tabelle 30 zeigt die möglichen Auswirkungen eines GVO-Anbaus in Bayern auf die Reduzierung von Insektizidmengen und Applikationshäufigkeiten bei unterschiedlichen Anbauflächen mit Bt-Kartoffeln. Im Ergebnis zeigt sich je nach GVO-Anbaufläche bzw. Befallsfläche eine Reduzierung im Insektizideinsatz von 1,9 t bis zu 25,8 t an Präparatmengen bzw. von 0,19 t (auf 25.500 ha) bis zu 14,17 t (auf 57.375 ha) an Wirkstoffmengen, sowie eine Reduzierung in der Applikationshäufigkeit von 1-2.

Tab. 30: Mögliche Einsparungen an Insektizidmengen und Reduzierung der Applikationshäufigkeit bei Anbau von Bt-Kartoffeln zur Bekämpfung des Kartoffelkäfers

Kultur	GVO-Anbaufläche in %	Einsparungen		Reduzierung Applikationshäufigkeit	
		Präparat t	Wirkstoff t	Anzahl/ha	Gesamtfläche/ha
Bt-Kartoffeln	50	1,9	0,19	1	25.500
	75	2,8	0,29	1	38.250
	75	25,8	14,17	1+ Tamaron	57.375

Auch beim Bt-Kartoffelanbau ist ein Flächenvergleich mit den USA aufgrund dort fehlender oder rückläufiger Anbauflächen (siehe Punkt 3.1.1) derzeit nicht möglich.

8.0 Technologische und wirtschaftliche Vor-/Nachteile für den Landwirt

Laut einer globalen Einschätzung von ISAAA ermöglicht der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen durch teilweisen oder vollständigen Verzicht auf wendende Bodenbearbeitungsmaßnahmen (Pflügen), eine reduzierte Anwendung konventioneller Pflanzenschutzmittel, sowie eine effizientere Nutzung der Ackerflächen den Einsatz nachhaltiger Anbauverfahren [10].

Bei Betrachtung der technologischen Vor- bzw. Nachteile der HR-Technik ist davon auszugehen, dass die Unkräuter bei konventioneller Herbizidanwendung vorwiegend nur im Keimblattstadium erfasst werden. Die Wirkung gegen Wurzelunkräuter ist begrenzt und Ungräser müssen mit speziellen Gräsermitteln bekämpft werden. Die Komplementärherbizide haben dagegen ein sehr breites Wirkungsspektrum. Durch eine angepasste Aufwandmenge können nahezu alle Leitunkräuter und Ungräser mit einem Präparat erfasst werden. Roundup hat hierbei aufgrund der vollsystemischen Wirkung von Glyphosat besondere Vorzüge bei der Bekämpfung von ausdauernden Wurzelunkräutern (z.B. Gemeine Quecke, Distel-Arten).

8.1 Anbau von HR-Mais

Im Jahre 2000 wurden in Deutschland Anbauversuche mit herbizdtolerantem Liberty Link-Mais (Sorte Chardon LL) auf einer Fläche von 250 ha durchgeführt. Beteiligt waren 58 Landwirte. Untersucht wurde die „Liberty Solo-Anwendung“ (eine einmalige oder zeitlich getrennte zweimalige Anwendung des Herbizids Liberty) und die „Liberty Plus-Anwendung“ (Liberty in Mischung mit einem Herbizid mit Dauerwirkung). 58% der beteiligten Landwirte sehen in diesem 1-jährigen Versuch die Vorteile des Liberty Link - Systems im Vergleich zu den ortsüblichen, konventionellen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen in der höheren zeitlichen Anwendungsflexibilität, der einfacheren Anwendung und der besseren Kulturpflanzenverträglichkeit.

Die Effektivität der Unkrautkontrolle, vor allem bei Anwendung von Liberty Solo, wird sehr differenziert beurteilt. Als Nachteil stellt sich die geringe Dauerwirkung des Herbizids Liberty heraus. Durch die fehlende Bodenwirkung kann es zu Problemen mit nachträglich auflaufenden Unkräutern kommen. Mischungen mit dauerwirksamen Herbiziden (Liberty Plus) werden besser beurteilt [105].

Auch unter bayerischen Anbaubedingungen zeichnen sich die Wirkstoffe Glufosinat und Glyphosat im Maisanbau durch eine sehr gute Kulturverträglichkeit und ein breites Applikationsfenster aus. Die Bekämpfungsleistung einer standortspezifischen Behandlung mit konventionellen Mitteln wird jedoch auch hier bei Liberty- oder

Roundup-Soloanwendung nur durch eine Splittingbehandlung oder durch Mischung mit einem leistungsfähigen Bodenherbizid erreicht bzw. übertroffen [125]. Allerdings können Betriebe mit einer relativ einfachen Verunkrautung (geringes Samenpotential) mit einer niedrigen Aufwandmenge von 2 x 2,0 l/ha Liberty oder Roundup die Herbizidkosten verringern.

Als Nachteil wird von GEHRING 2003 [148] angeführt, dass aufgrund fehlender Dauerwirkung Zweitbehandlungen notwendig sein können. Damit ist kein Kostenvorteil für den Landwirt vorhanden. Zudem ergibt sich ein Selektionsdruck für Unkräuter mit langer Auflaufperiode und geringer Glufosinat-Sensitivität.

In der Summe ergibt die HR-Technologie beim Herbizideinsatz in Mais eine Verbesserung der Einsatzflexibilität und der Kulturverträglichkeit. Dadurch können gräserwirksame Sulfonylharnstoffe und andere blattaktive Wirkstoffe (z.B. Bromoxynyl) ersetzt werden. Sowohl bei der Soloanwendung der Komplementärherbizide, als auch bei Tankmischung mit konventionellen Bodenherbiziden kann der Landwirt den Herbizideinsatz besser an der Unkrautentwicklung ausrichten.

Weiterhin kann die HR-Technologie besondere Produktionsverfahren im Rahmen der Mulch- oder Direktsaat unterstützen. Bisher im Vorsaat- oder Voraufaufverfahren notwendige Roundup-Behandlungen können dann als „normale“ Nachaufaufbehandlungen durchgeführt werden. Dadurch kann die Umsetzung dieser Erosionsschutzverfahren deutlich erleichtert werden.

Eine wirtschaftliche Bewertung dieser einfacheren und unter Umständen kostengünstigeren sowie auch ertragsstärkeren Herbizidsysteme ist derzeit nicht möglich, da die Saatgutkosten für die entsprechenden HR-Sorten nicht kalkuliert werden können.

8.2 Anbau von HR-Raps

Roundup Ready Sommerraps wird in Kanada seit 1996 und in den USA seit 1999 angebaut. Mit der Roundup Ready-Technologie verfügen Landwirte in den USA und Kanada über ein einfaches, flexibles System zur Kontrolle von einjährigen und mehrjährigen Unkräutern im Sommerraps (Canola). Die Roundup Ready-Technologie ermöglicht nach Angabe von Monsanto durch den Verzicht auf eine Bodenbearbeitung zur Kontrolle des Unkrauts und zur Einarbeitung von Herbiziden vor der Aussaat eine Verschiebung des Aussaatzeitpunktes mit dem Effekt eines verminderten Risikos von Ertragseinbußen durch frühzeitigen Frosteinbruch [43].

Vorteile im Anbau von transgenem Sommerraps sehen kanadische Landwirte in der Möglichkeit der effizienteren Unkrautkontrolle, dem einfacheren Herbizidmanagement beim Vermeiden von Unkrautresistenzen, in höheren Ertragserwartungen, in

geringeren Kosten für Herbizide und in ökologisch nachhaltigeren landwirtschaftlichen Anbauverfahren (Fruchtfolge, nicht-pflügende Bodenbearbeitung). Außerdem werden durch konservierende Bodenbearbeitungstechniken Erosion und Feuchtigkeitsverluste gemindert, sowie Treibstoff und Zeit gespart [41]. Das Nettoeinkommen erhöht sich, da die höheren Kosten für Saatgut und Dünger durch Kosteneinsparungen bei Kraftstoff und Herbiziden überkompensiert werden.

Für bayerische Verhältnisse bietet das Liberty Link-Winterraps-System nach GEHRING 2003 [148] aus anwendungstechnischer Sicht den Vorteil einer flexibleren Reaktion auf den entsprechenden Unkrautdruck und eines breiten Applikationsfensters ohne Verträglichkeitsprobleme. Ausserdem gibt es bei frühzeitigem Umbruch keine Nachbaubeschränkungen. Bei hohem Unkrautdruck ist zudem ein möglicher Kostenvorteil gegeben.

Für einen optimalen Bekämpfungserfolg muss der Applikationstermin und die Aufwandmenge auf die standortspezifische Unkrautsituation abgestimmt werden. Sichere Bekämpfungsleistungen werden durch Spritzfolgebehandlungen erzielt. Als Solomaßnahme ist Liberty nicht immer erfolgreich einsetzbar. Im Einzelfall kann eine Kombination mit konventionellen Herbiziden oder Additiven zu einer Verbesserung der Unkrautwirkung und Ertragsabsicherung führen.

Die Anwendung konventioneller Herbizide nach dem Schadensschwellenprinzip begrenzt den Einsatz auf den sehr frühen Nachauflauf oder auf die Nachauflaufanwendung von Spezialpräparaten mit einem sehr schmalen Wirkungsspektrum. Dadurch ist die Bewertung des Herbizideinsatzes und eine erfolgreiche, schadensschwellenorientierte Unkrautbekämpfung in der Praxis sehr schwer umsetzbar.

Die HR-Technologie ermöglicht einen sehr flexiblen und effektiven Herbizideinsatz. Damit kann die Notwendigkeit einer Unkrautbekämpfung nach wirtschaftlichen Schadensschwellen über einen sehr langen Zeitraum bewertet werden. Selbst bis zum Vegetationsbeginn im Frühjahr besteht noch die Möglichkeit einer erfolgreichen Unkrautbekämpfung. Mit den Komplementärherbiziden werden dabei sowohl dikotyle, als auch monokotyle Unkräuter und Ausfallgetreide erfasst [137]. Für den Landwirt ist es damit wesentlich einfacher, die Behandlungsnotwendigkeit nach dem standortspezifischen Unkrautspektrum zu bewerten.

In bayerischen Anbauversuchen zum Herbizidmanagement in Glufosinat-tolerantem Winterraps (Ernte 1999) ist die schadensschwellenorientierte Unkrautbekämpfung mit dem Komplementärherbizid „Basta“ der Anwendung konventioneller Präparate überlegen. Das Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsberechnung hängt nach GEHRING 2002 [115] jedoch vom kalkulatorischen Kostenansatz für das Mittel „Basta“ ab.

Als Nachteil gentechnisch veränderter HR-Rapssorten werden von kanadischen Landwirten die hohen Saatgutpreise angeführt. Sie sind bedingt durch den hohen Technologie-Aufschlag, z.B. für Roundup Ready-Sorten. Desweiteren werden das

mögliche Auftreten von Unkrautresistenzen und Probleme in der Marktakzeptanz des Erntegutes als Nachteil angeführt [39]. Kritisch zu sehen sind ferner die möglichen Auskreuzungsraten und der Durchwuchsraps. Verluste bei der Ernte müssen deshalb gering gehalten und Stoppel möglichst lange nicht oder nur flach bearbeitet werden, damit transgener Raps bis zur Wiederbestellung mit der Folgekultur zum Auflaufen gebracht wird [137].

Die Vorteile einer Einführung des HR-Systems bei Raps in Bayern sind vor allem in der Möglichkeit einer effizienteren, nach Schadensschwellen orientierten Unkrautkontrolle zu sehen. Die bisherigen, weitgehend vorbeugenden Herbizidbehandlungen im Voraufbau bzw. sehr frühen Nachaufbau können durch zeitlich relativ flexible Behandlungen mit den blattaktiven Komplementärherbiziden ersetzt werden. Durch den Verzicht eines Herbizideinsatzes bei nur geringem Unkrautbesatz unterhalb der wirtschaftlichen Schadensschwellen wird die Ökonomik des Rapsanbaus verbessert. Ausserdem wird die Bekämpfungsmöglichkeit bisheriger Problemunkräuter, wie z.B. Ackerstiefmütterchen (*Viola arvensis*), Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris*), Hellerkraut (*Thlapsi arvense*) oder Storchschnabelarten (*Geranium*) deutlich verbessert.

Durch die Auskreuzungsmöglichkeit der jeweiligen HR-Eigenschaft im Raps (multiresistenter Raps) und die lange Lebensdauer des Rapssamens im Boden (HR-Durchwuchsraps) muss eine Koordinierung des Anbaus der verschiedenen HR-Kulturen auf regionaler Ebene erfolgen, um die Effektivität der einzelnen HR-Systeme langfristig zu gewährleisten.

8.3 Anbau von HR-Zuckerrüben

Im Zuckerrübenanbau ist nach PETERSEN und HURLE 1998 [106] davon auszugehen, dass bei Anbau herbizidresistenter Zuckerrüben weniger Herbizidanwendungen notwendig sind und die Integration von Mulchsaatverfahren erleichtert bzw. erst ermöglicht wird. Auf Mulchsaatflächen (in erosionsgefährdeten Gebieten) kann die Anwendung von Komplementärherbiziden später erfolgen und eine Spritzung zur Beseitigung der Altverunkrautung vor der Saat eingespart werden.

Ein Lösungsansatz für eine nachhaltige Unkraut- und Nematodenunterdrückung bei gleichzeitig reduziertem Herbizideinsatz kann zukünftig die Verwendung von *Heterodera schachtii* resistentem Zwischenfrucht-Winterraps als Bodendecker sein [160]. Glufosinat zeichnet sich in Versuchen durch eine sehr gute Kulturverträglichkeit und hohe Wirkungssicherheit aus. Phytotoxische Probleme, die im konventionellen Anbau bei Anwendung bestimmter Wirkstoffe oder Wirkstoffkombinationen möglich sind,

können damit vermieden werden. Dies kann indirekt zu höheren Erträgen führen. Die Behandlungstermine orientieren sich bei Anwendung der Komplementärherbizide neben den Unkrautstadien auch am Entwicklungsstadium der Rüben. Dies führt zu späteren Behandlungen. Eine längere Unkrautbedeckung des Bodens ermöglicht einen zusätzlichen Erosionsschutz. Positiv werden auch die mögliche flexible Reaktion auf die entsprechende Unkrautsituation, sowie fehlende Nachbauprobleme und mögliche Kostenvorteile durch Einsparungen im Herbizideinsatz gewertet [148].

PETERSEN et al. 2001 [121] stellen in ihren Versuchen fest, dass bei Anwendung von Roundup und Liberty in Zuckerrüben, im Vergleich zur konventionellen Herbizidapplikation, durch eine zweimalige Anwendung im Zeitraum 2- 8- oder 10-Blattstadium der Rübe eine bessere Bekämpfung der Unkräuter erreicht wird. Spätverunkrautung kann bis zum beginnenden Reihenschluss bekämpft werden. Eine Unkrautbekämpfung nach dem Schadensschwellenprinzip ist im konventionellen Zuckerrübenanbau praktisch nicht möglich, da die zugelassenen Mittel nur im Keimblattstadium vieler Unkräuter ausreichend wirken. Die Versuchsansteller weisen ausserdem darauf hin, dass in Zuckerrüben bei den HR-Systemen die optimalen Applikationszeitpunkte und Aufwandmengen von der Dichte, dem Zeitpunkt des Auflaufens und der Artenzusammensetzung der Unkräuter abhängen. Dies ermöglicht einen flexiblen Herbizideinsatz und weitgehende Anpassung der Einsatzintensität an die standortspezifische Unkrautsituation. Roundup hat aufgrund seiner systemischen Wirkung Vorteile bei der Bekämpfung von ausdauernden Unkräutern und Gräsern. Spätverunkrautungen sollen jedoch aufgrund fehlender Bodenwirkung der Komplementärherbizide erst bei beginnendem Reihenschluss der Zuckerrüben oder bei vorzeitigem Abschluss der Spritzfolge durch Zusatz bodenwirksamer Herbizide erfasst werden.

In beiden HR-Systemen werden bei niedriger Aufwandmenge Wirkungsschwächen gegen einige dikotyle Unkräuter beobachtet [120]. Deshalb müssen für die Komplementärherbizide entsprechende Strategien hinsichtlich Aufwandmengen und auch geeigneter Mischungspartner entwickelt werden, um eventuelle Wirkungslücken zu schließen.

Nachteilig wirkt sich nach GEHRING 2003 [148] bei Rüben aus, dass bei Einsatz der Komplementärherbizide keine Dauerwirkung aufgrund fehlender bodenwirksamer Wirkstoffe erwartet werden kann. Ausserdem muss mit einer möglichen Selektion von Spätkeimern gerechnet werden, da neuauflaufende Samenunkräuter nicht erfasst werden und Wurzelunkräuter wieder neu austreiben können. Als Konsequenz für die Bekämpfungsstrategie ergeben sich Doppelbehandlungen oder Kombinationen mit anderen Wirkstoffen. Wirkungsschwächen gegen bestimmte dikotyle Unkräuter (Ackerstiefmütterchen, kleine Brennessel) erfordern ausserdem höhere Aufwandmengen. Die Zugabe von schwefelsaurem Ammoniak kann die Wirkung verbessern.

Von Vorteil sind für bayerische Verhältnisse die mögliche Reduzierung der Spritzfolgen auf durchschnittlich zwei Behandlungen und die damit verbundenen Einsparungen, des weiteren die Möglichkeit der Verwendung der HR-Technik in Mulchsaatverfahren. Ist jedoch eine Verunkrautung gegeben, die Zusätze von bodenwirksamen Herbiziden erfordert, reduziert sich der Kostenvorteil erheblich.

Über die Wirtschaftlichkeit der HR-Systeme können keine absoluten Aussagen getroffen werden, da nicht bekannt ist, in welchem Rahmen sich beim Saatgut der Technologieaufschlag bewegen wird. Im konventionellen Anbau werden derzeit in Bayern für Herbizid-Behandlungsmaßnahmen bei Zuckerrüben, je nach Intensitätsniveau, zwischen 150 Euro/ha (Behandlungshäufigkeit 2,1) und 267 Euro/ha (Behandlungshäufigkeit 3,3) veranschlagt. Bei zwei Behandlungen mit Basta (Glufosinat) in Höhe von jeweils 2,0 l/ha betragen die reinen Herbizidkosten nach derzeitigen Preisen (ca. 18,60 Euro/Liter) etwa 75 Euro/ha. Bei Verwendung von Roundup (ca. 6,55 Euro/Liter) sind sie noch wesentlich geringer. Wirtschaftliche Vorteile ergeben sich vor allem bei Vorhandensein von Problemunkräutern, deren Bekämpfung im konventionellen Anbau relativ teuer und uneffektiv ist. Werden jedoch Zusätze von bodenwirksamen Herbiziden notwendig, wird sich, wie bereits erwähnt, der wirtschaftliche Vorteil der HR-Technik entsprechend reduzieren.

In den USA wird der wirtschaftliche Vorteil bei Einführung herbizidresistenter Zuckerrübensorten mit 149 Euro/ha beziffert, vorausgesetzt, Glyphosat ersetzt die gegenwärtig eingesetzten Herbizide sowie die gesamte mechanische Unkrautbekämpfung [56].

Eine englische Studie geht von einer durchschnittlichen Einsparung von 230 Euro/ha bei Anbau herbizidtoleranter Zuckerrüben aus. Die eingesparten Herbizidkosten werden mit 120 Euro/ha, die eingesparten Ausbringungskosten mit 24 Euro/ha bei zweimaliger Applikation und der Technologieaufschlag mit -37 Euro/ha in Ansatz gebracht [60]. In einer Kritik zu dieser Studie wird angemerkt, dass der Kostenansatz für die konventionellen Herbizide zu hoch und die Technologiegebühr zu gering angesetzt wird. Die Technologiegebühren können auch mehr als 69 Euro/ha betragen. Desweiteren gehen auch die Kosten für die von der EU geforderte Trennung und Kennzeichnung von gentechnisch veränderten Zuckerrüben und deren Folgeprodukten nicht in die Berechnung mit ein [61].

Für den bayerischen Rübenanbau liegen die potentiellen Vorteile der HR-Technologie in einer deutlich einfacheren und effektiveren Unkrautbekämpfung. Ausserdem kann davon ausgegangen werden, dass eine Applikation eingespart wird und es zu einer deutlichen Reduzierung der Herbizidkosten kommt. Die bessere Effizienz der Komplementärherbizide ermöglicht eine einfachere Anwendung der Mulch- und Direktsaatverfahren. Damit sind weitere Einsparungen bei der Bodenbearbeitung und dem

Treibstoffeinsatz (reduzierte CO₂-Emission) möglich. Diese bodenschonenden Produktionsverfahren fördern ausserdem die nachhaltige Ertragsfähigkeit der Standorte.

8.4 Anbau von HR-Sojabohnen

Die Einführung des Roundup Ready-Systems führt in den USA zu starken Veränderungen der Verfahren im Sojabohnenanbau. 2001 werden Felder nicht gepflügt bzw. ihr Anteil mit wendender Bodenbearbeitung geht zurück. Direktsaatverfahren werden bevorzugt, Reihenabstände vermindert, insgesamt gesehen schonendere Bodenbearbeitungsverfahren bevorzugt. Die Landwirte sparen dabei Arbeitszeit und Kosten für Betriebsmittel, verringern die Bodenerosion und verbessern die Bodenqualität. Da Roundup Ready im Nachauflauf eingesetzt werden kann, spielt ein stärkeres Unkrautauflaufen im Frühjahr keine Rolle [52]. Nach Einführung des Roundup Ready Systems im US-Sojaanbau sind die Gesamtkosten für Herbizidaufwendungen sowie die Zahl der Herbizidanwendungen von 1995 bis 1999 gesunken. Die Kostensparnisse über vier Jahre werden auf 216 Mio. Euro geschätzt [45].

Auch auf der sehr kleinen bayerischen Sojaanbaufläche würde das Roundup Ready-System das Produktionsverfahren sehr stark verändern. Da die Sojaproduktion für regionale Vermarktungsprogramme, die gentechnisch veränderte Pflanzen nicht akzeptieren, durchgeführt wird, sind diese produktionstechnischen und wirtschaftlichen Vorteile praktisch nicht umsetzbar.

8.5 Zusammenfassende Bewertung der HR-Technologie

Die Vor- und Nachteile in der praktischen Anwendung der HR-Technologie können wie folgt zusammengefasst werden:

Vorteile sind zu sehen in der guten Wirkung und Verträglichkeit der Herbizide Roundup und Liberty und damit verbundenen höheren Erträgen. Ausserdem in dem geringen Termindruck bei der Behandlung (präventive Vorsaat- und Voraufbauverfahren können durch Nachaufbauanwendungen ersetzt werden), in der hohen Breitenwirkung und in teilweise bedarfsbedingten, flexiblen Aufwandmengen mit möglicher Kosteneinsparung. Die Komplementärherbizide können gezielt, nach tatsächlich vorhandenem Unkrautbesatz oder bei Überschreiten der wirtschaftlichen Schadschwelle eingesetzt werden. Wirkungslücken bisheriger Verfahren können geschlossen werden. Mulchsaatverfahren werden im Mais- und Zuckerrübenanbau erleichtert

bzw. erst ermöglicht. Im Gegensatz zu Mais ist bei Zuckerrüben eine geringere Anzahl an Herbizidanwendungen zu erwarten. In Raps kann sich der Herbizideinsatz nach dem Schadensschwellenprinzip durchsetzen und zu Einsparungen beim Herbizidverbrauch führen.

Mögliche negative Effekte des HR-Systems werden gesehen in einer Verarmung der Sorten- und Mittelpalette. Ausserdem in Änderungen in der landwirtschaftlichen Praxis hinsichtlich eines Verzichts auf mechanische oder biologische Verfahren der Unkrautregulierung. Ebenso in der Entstehung von schwer bekämpfbaren, mehrfach resistenten Pflanzen durch Kreuzung zwischen Kulturpflanzen und verwandten Wildarten (Pollendrift und Einkreuzung). Auch die Gefahr der Bildung resistenter Unkräuter oder Kulturpflanzen einschließlich der Problematik für die Folgekultur muss beachtet werden. Zu bedenken ist, dass der Landwirt aufgrund der guten Kulturverträglichkeit der Komplementärherbizide eher zu einer Überdosierung verleitet wird [80]. Von Nachteil kann auch die ausschließliche Blattwirkung der derzeit relevanten Präparate bei Nachauflauf von Unkräutern in Reihenkulturen oder Bestandeslücken sein. Bei einseitiger Anwendung eines einzigen Wirkstoffs in mehreren Kulturen verweisen schon PETERSEN und HURLE 1998 [106] auf „die Gefahr einer Shift zu Unkrautarten, die mit dem Herbizid nicht ausreichend erfasst werden, zur Selektion herbizidresistenter Unkrautbiotypen, des Auftretens herbizidresistenter Kulturpflanzen in den Folgekulturen, des Auskreuzens der Herbizidresistenz auf verwandte Unkrautarten und des Auftretens des Wirkstoffs in Nichtzielflächen und Umweltkompartimenten“. Eine flächenwirksame Unkrautselektion ist nach GEHRING 2003 [148] jedoch nicht zu erwarten. Bei eventuell auftretenden Resistenzproblemen kann auf konventionelle Herbizide zurückgegriffen werden.

Bei Anwendung der Komplementärherbizide ist ausserdem zu beachten, dass eine Abtrift vermieden werden muss, um benachbarte Kulturen nicht zu schädigen. Schosserrüben müssen vor dem Aussamen beseitigt werden, damit es nicht zu einem höheren Anteil von „Unkrautrüben“ in den HR-Rüben kommt. Stehen mehrere landwirtschaftliche Kulturpflanzen mit Herbizidtoleranz zur Verfügung, sind künftig genaue Aufzeichnungen notwendig, wo und wann Roundup- oder Liberty-resistente Sorten angebaut werden, sonst führen Verwechslungen bei sensiblen Sorten zu Totalschäden. Beim Anbau von HR-Raps und weiteren HR-Kulturen in einer Region wird eine überbetriebliche Koordination bzw. Absprache der verwendeten HR-Systeme erforderlich, um das Auskreuzen der HR-Eigenschaft zwischen den Rapsbeständen (multi-resistenter HR-Raps) und die Entwicklung von HR-Ausfallraps in gleichen HR-Folgekulturen zu verhindern.

8.6 Anbau von Bt-Mais

Bt-Mais bietet dem Landwirt folgende Vorteile: Es werden keine Insektizide, die eventuell auch Nützlingen schaden, ausgebracht; der Schutz vor Zünslerschäden ist witterungsunabhängig während der ganzen Anbauperiode gegeben; es werden keine Spritzschäden bzw. Schlepperspuren hinterlassen; aufwändige Beobachtungen der Befallssituation (Zuflugkontrolle) erübrigen sich. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass gentechnisch veränderte, zünslresistente Maissorten zur Sicherheit und Steigerung der Wirtschaftlichkeit im Maisanbau beitragen, vorausgesetzt die Bt-Sorten besitzen ein hohes Leistungspotential und die Mehrkosten für das Saatgut werden durch Ertragssteigerungen mindestens ausgeglichen.

Ob Landwirte sich für den Anbau von Bt-Mais entscheiden, ist nach MARSHALL und HYDE 2001 [113] abhängig von der Höhe des Saatgutpreises incl. der Technologiegebühren, der Befallswahrscheinlichkeit, dem möglichen Ertragsverlust, der Höhe des Insektizidaufwandes, möglichen Anforderungen an Schutzgebiete, der Nützlingsbeeinträchtigung, der Art der Bodenbearbeitung sowie der Vermarktungsmöglichkeit.

Eine von ZELLNER bereits 1999 [72] erstellte zusammenfassende Bewertung der verschiedenen Verfahren zur Maiszünslerbekämpfung in Bayern wurde für die im Jahre 2003 gegebene Preissituation überarbeitet. Bei Trichogramma-Anwendung wird eine zweimalige Anwendung von Kapseln in Ansatz gebracht. Bei Bt-Mais wird nur der Mehrpreis für gentechnisch verändertes Saatgut, das in der EU angebaut wird, berücksichtigt. Für das Insektizid Baythroid 50 und das Bt-Präparat Dipel endet die Zulassung voraussichtlich am 31.12.2003.

Aus der Zusammenstellung in Tabelle 31 wird ersichtlich, dass die Maiszünslerbekämpfung durch Anbau von Bt-Mais hinsichtlich Bekämpfungserfolg, Managementbedarf und Kosten die besten Ergebnisse aufweist.

Tab. 31: Bewertung der verschiedenen Maiszünslerbekämpfungsverfahren für Bayern

Bekämpfungs- Verfahren	Akh/ ha	Management- bedarf	Nützlings- beeinträchtigung	Bekämpfungs- erfolg	Kosten € / ha*
Trichogramma (Trichocap) (zweimalige Ausbringung)	1	hoch	niedrig	befriedigend	70
Insektizid (Baythroid 50)	0,5	mittel	hoch	gut	46**
Bt-Präparat (Dipel)	0,5	hoch	niedrig	gering	91**
Bt-Mais	0	niedrig	niedrig	sehr gut	43

*) inklusive Mehrwertsteuer

***) bei überbetrieblicher Mechanisierung; ohne Ansatz für Fahr Schäden

Quelle: Zellner, M., 2003, LfL Freising

Zu ähnlichen Ergebnissen führen die von DEGENHARDT et al. 2003 [108] in den Jahren 1998 bis 2002 durchgeführten Untersuchungen zu Bt-Mais im Praxisanbau in Deutschland: Der Insektizideinsatz kostet dem Landwirt etwa 40 Euro/ha und führt bei einer 80 %igen Reduzierung des Zünslers zu Mehreinnahmen zwischen 18 und 55 Euro pro Hektar. Dagegen amortisiert sich der Trichogramma-Einsatz aufgrund der eingeschränkten Zünslerwirkung und hohen Verfahrenskosten in keinem der Anbaujahre und bringt finanzielle Verluste von durchschnittlich 52 bzw. 57 Euro pro Hektar. Der Anbau von Bt-Mais führt zu einer vollständigen Kontrolle des Maiszünslers und, bedingt durch niedrige Produktkosten (Ansatz Mehrpreis für Bt-Mais Saatgut ca. 35 Euro/ha), zu Mehreinnahmen von durchschnittlich 84 bzw. 93 Euro/ha.

Die wirtschaftliche Schadensschwelle bei Mais ist erreicht, wenn im Vorjahr 30 bis 40 Raupen / 100 Pflanzen ausgezählt werden unter der Annahme, dass eine Larve pro Pflanze zu 4 % Ertragsverlust führt [40]. BOHN et al. 1998 [94] stellen fest, dass sich der Kornertrag der Sorten für jede mit Maiszünsler befallene Pflanze durchschnittlich um 23 % verringert und jede Maiszünslerraupe einen Ertragsverlust von durchschnittlich 27 % verursacht. Sieben ausgewachsene Zünsler aus 1000 abgelegten Eiern sichern den Fortbestand der Population.

Auch bei Befall über der Schadensschwelle wird aufgrund technischer Schwierigkeiten beim Befahren hoher Maisbestände jedoch häufig auf den Einsatz von Insektiziden verzichtet.

Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit des Anbaus von Bt-Mais im Osten Kanadas zeigen, dass Ertragsunterschiede zu konventionellen Isolinien und Hochleistungs-Kontrollhybriden nur gegeben sind, wenn die Fraßgänge der Larven eine Länge von

6 cm haben. Es besteht eine lineare Beziehung zwischen der Länge der Fraßgänge (in cm) und der Ertragssicherheit (in %) bei Anbau von Bt-Mais. Hoher Zünslerbefall, der in den untersuchten Regionen im Durchschnitt nur alle 3 Jahre auftritt, verursacht bei den Nicht-Bt-Isolinien eine Ertragsreduzierung von 6 % in 1996 und 2,4 % in 1997 gegenüber den Bt-Hybriden. Geringer Maiszünslerbefall führt zu keinen Ertragsunterschieden [36]. Bestätigt werden diese Untersuchungen von CATANGUI und BERG 2002 [20] die in South Dakota in den Jahren 1997 – 1999 die Ertragsleistung von Bt-Mais und Permethrin-behandelten Isolinien mit unbehandelten Isolinien verglichen. Nur in einem der 3 Jahre (1998), einhergehend mit starkem Zünslerbefall, sind Bt-Maishybriden und Permethrin-behandelte Isolinien signifikant besser als die unbehandelten Isolinien. Weder Bt-Mais noch Permethrin-behandelte Isolinien zeigen signifikante Ertragsvorteile in den Jahren 1998 und 1999, in denen die erste Zünslergeneration fehlte und die zweite Generation nur schwach vertreten war.

GIANESSI et al. 2003 [57, 59] konstatieren in ihrer Studie, dass bei Anbau von Bt-Mais innerhalb der EU auf 1,6 Mio Hektar (41 % der Maisanbaufläche) Ertragsverluste durch Zünslerbefall in Höhe von 15-30 % vermieden werden. Da aktuell nur 32 % der Befallsflächen in Europa mit Insektiziden behandelt werden, wird geschätzt, dass jährlich 5 % der Maisproduktion durch unterlassene Zünslerbekämpfung verloren gehen. Hochrechnungen entsprechend, kann Bt-Mais innerhalb der EU nicht nur 53 t Pflanzenschutzmittel substituieren, sondern auch die Maisproduktion um 1.900 t erhöhen, sowie das Nettoeinkommen der Landwirte, entsprechend der Mehrproduktion abzüglich Technologiegebühren, um 249 Millionen Euro erhöhen.

DEGENHARDT et al. 2003 [108] nehmen in ihren Untersuchungen an, dass in Deutschland etwa 300.000 ha der Maisanbaufläche von Maiszünslerbefall betroffen sind. Allein bei 100.000 ha befallenem Körnermais wird, bei einem zünslerbedingten Ertragsausfall von 5 %, mit einem monetären Verlust von 4,4 Mio. Euro gerechnet.

8.7 Anbau von Bt-Kartoffeln

Der Anbau von Bt-Kartoffeln in den USA führt nicht zu den erwarteten Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln. Die Landwirte können den technologischen Vorteil, den geringere Insektizidanwendungen bei Bt-Sorten bedingen, nicht entsprechend nutzen, da gegen Läuse weiterhin Insektizide ausgebracht werden müssen. Erst Sorten mit Insekten- und Virusresistenz werden die Anwendung von Insektiziden entsprechend reduzieren.

Bt-Sorten bringen den Landwirten Vorteile hinsichtlich höherer Erträge und geringerer Insektizidkosten. Pflanzgut für Kartoffelsorten mit Insekten- und Virusresistenz (stacked genes) kostet in den USA ca. 115 Euro/ha mehr als konventionelles Pflanzgut. Die Mehrkosten werden durch Einsparungen im Insektizidverbrauch (242 Euro/ha) gedeckt [27]. Die US-amerikanische Umweltbehörde (EPA) schätzt den finanziellen Vorteil im Bt-Kartoffelanbau auf ca. 23 Euro pro Hektar. Die Gesamtkosteneinsparungen im Anbau von Bt-Mais, Bt-Baumwolle und Bt-Kartoffeln werden für 1999 mit 100 Millionen Euro beziffert [15].

Auf mögliche Einsparungen an ausgebrachten Insektizidmengen sowie Applikationshäufigkeiten in Bayern ist bereits in Punkt 7.4 hingewiesen. Läuse müssen in Bayern nur in der Pflanzgutproduktion mit Insektiziden bekämpft werden. In allen anderen Verwertungsrichtungen spielen Läuse im Kartoffelanbau nur eine unbedeutende Rolle und werden nur in Ausnahmefällen einmal behandelt. Eine Resistenz gegen den Kartoffelkäfer wird in Bayern, anders als in den USA, somit auf jeden Fall zu Einsparungen bei Pflanzenschutzmitteln führen. Bei einem GVO-Anbau auf 50 % der Fläche kann bei Insektiziden mit einem Kosteneinsparungspotential von ca. 240.000 Euro (Insektizid: Karate Zeon) gerechnet werden. Ist eine mehrmalige Applikation von Insektiziden (Karate Zeon + Tamaron) notwendig, erhöht sich die zu behandelnde Fläche auf bis zu 57.375 ha. Das mögliche Einsparpotential bei Anbau gentechnisch veränderter Sorten beläuft sich dann auf ca. 1 Mio. Euro.

9.0 Auswirkung der HR- und Bt-Technologie auf Umwelt und Naturhaushalt

Grundsätzlich darf nur ein zugelassenes Pflanzenschutzmittel zur Anwendung kommen. Voraussetzung für die Zulassung ist ein hohes Schutzniveau für die Gesundheit von Mensch, Tier und die Umwelt [141]. Bei der Ausbringung eines Herbizides wird z.B. zwischen beabsichtigten (Eliminierung der Unkräuter) und nicht beabsichtigten Effekten, wie Beeinträchtigung von Mensch, Tier und Umwelt unterschieden [122]. Das Zulassungsverfahren setzt deshalb eine umfangreiche ökotoxikologische Prüfung und Bewertung sowie eine Risikoabschätzung voraus. Die Ökotoxikologie untersucht die Auswirkungen von Chemikalien auf die belebte Umwelt. Als multidisziplinäre Wissenschaft verknüpft und integriert sie Konzepte der Umweltchemie, Toxikologie und Ökologie. Es ist ihr Ziel, die ökotoxikologischen Wirkungen anthropogener Chemikalien zu verstehen, um die damit verbundenen Gefahren zu erkennen und abzuwenden [139]. Ökotoxikologische Untersuchungen dienen somit der Beurteilung der Auswirkungen auf die nicht zu den Zielgruppen gehörenden Arten (Flora und Fauna), die dem Wirkstoff, seinen Metaboliten, Abbau- und Reaktionsprodukten bei vorgesehener Verwendung wahrscheinlich ausgesetzt sind.

Gepprüft wird die akute Toxizität mit der Bestimmung von letalen bzw. hemmenden Effekten und die chronische Toxizität mit Auswirkungen auf Wachstum, Reproduktion und Verhalten. Bestimmt wird die Konzentration, bei der kein Effekt (NOEC) bzw. die niedrigste, bei der ein Effekt auftritt (LOEC).

Die Bewertung toxischer Wirkungen beruht auf Ergebnissen der Hersteller. Viele Testdaten werden nicht freigegeben, oder liegen nur in zusammenfassender Form vor [144]. Veröffentlichte Daten beinhalten somit nicht alle Informationen zur Toxizitätsbewertung. Bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln werden jedoch nur Produkte freigegeben, die alle Anforderungen seitens des Gesetzgebers erfüllen.

Ein weiteres, wesentliches Kriterium bei der ökotoxikologischen Bewertung ist die Risikobewertung. Ein Zulassungskriterium bei der Risikoabschätzung ist der TER-Wert (Toxicity/Exposure-Ratio), der sich aus dem Vergleich der Toxizität mit der Exposition ergibt. Bei Unterschreitung des vorgegebenen Wertes werden eine verfeinerte Risikoabschätzung und Untersuchungen mit zusätzlichen Spezies oder unter realistischen Bedingungen (z.B. Mesokosmosstudie = Modell eines Ökosystems) erforderlich. Untersucht wird die Wirkung des Mittels auf das ganze Ökosystem (auf Populationen, Zusammensetzung der Arten) und die Erholungsmöglichkeit des Systems innerhalb eines bestimmten Zeitraums.

Als risikominimierend müssen außerdem Maßnahmen wie die Einhaltung von Abständen zu Gewässern und Nichtzielflächen, die Applikationstechnik (abdriftmindernde Geräte), Aufwandmenge und Zahl der Anwendungen, sowie die Struktur der

lokalen Umgebung (Windschutzgürtel, Ufervegetation, etc..) mit einbezogen werden [141].

Eine Quantifizierung der Einflüsse von Pflanzenschutzmitteln auf den Naturhaushalt, selbst ein regulierendes Einschätzungssystem, liegt wissenschaftlich exakt analysiert nicht vor, d.h. es besteht keine gesetzlich fixierte Möglichkeit des Vergleiches zwischen verschiedenen Pflanzenschutz-Systemen auf den gesamten Naturhaushalt.

9.1 Erfassung der Vor- und Nachteile bei Einsatz der HR-Technologie

Die Anwendung von Komplementärherbiziden der HR-Systeme wird aufgrund einer möglichen Reduzierung im Gesamtverbrauch an Herbizid-/ oder Wirkstoffmengen, sowie einer geringer geschätzten Toxizität der Wirkstoffe (Glyphosat/Glufosinat), im Vergleich zu den konventionell eingesetzten Herbiziden als allgemein weniger umweltbelastend eingeschätzt [80].

Zulassungskriterien

Glyphosat gilt als nicht auswaschungsgefährdet, biologisch gut abbaubar (DT 50 = 38-60 Tage) und damit vergleichsweise umweltfreundlich und für Menschen als nicht toxisch [146]. Eine schnelle Aufnahme über die Blätter und Ableitung in unterirdische Speicherorgane ermöglicht die Bekämpfung auch sog. ausdauernder Unkräuter wie Ampfer (*Rumex*) und Quecke (*Agropyron repens*) [122]. Der Wirkstoff unterliegt im Boden sowohl unter anaeroben als auch aeroben Bedingungen einer raschen Metabolisierung. Eine Akkumulation bei Mehrfachanwendung im gleichen Jahr oder über mehrere Jahre wird nicht erwartet. Das Risiko der Grundwasserkontamination ist gering [146]. Der Wirkstoff hat ein großes Wirkungsspektrum gegen die meisten bedeutenden Unkräuter, wodurch sich die Anzahl an Herbizidapplikationen reduziert. Da Glyphosat im Boden leicht abgebaut wird, gibt es keine herbizidbedingte Einschränkung bei Nachbarkulturen in der Fruchtfolge [51].

Glufosinat wirkt über alle grünen Pflanzenteile und wird durch Mikroorganismen im Boden und im Wasser relativ schnell zu den natürlichen Substanzen Phosphorsäure, Kohlendioxid und Wasser abgebaut. Der Wirkstoff wird innerhalb der Pflanze nur in begrenztem Umfang transportiert, in belebtem Boden schnell inaktiviert und somit nicht über die Wurzeln aufgenommen. Seine Halbwertszeit im Boden beträgt je nach klimatischen Bedingungen 3-20 Tage. Aufgrund des schnellen Abbaus wird ein Versickern in tiefere Bodenschichten verhindert [136]. Eine Anreicherung des Herbizids

in Speicherorganen konnte bisher nicht festgestellt werden, aber zum Teil stabile Metabolite in Pflanzen [144]. Ein Transport im Phloem findet nicht statt.

Öko- oder humantoxische Probleme sind bei beiden Wirkstoffen nach BÖGER [zit. in 80] nur bei überhöhten oder späten Applikationen zu erwarten. Der entscheidende Vorteil ist sowohl bei Glyphosat, als auch bei Glufosinat der leichte und schnelle Abbau zu ungiftigen Verbindungen.

Nebenwirkungen

Auswertungen zur Verfügung stehender Zulassungsdaten der Komplementärherbizide Roundup mit dem Wirkstoffgehalt Glyphosat 360 g/l und Liberty mit dem Wirkstoffgehalt Glufosinat-ammonium 200 g/l, führen zu folgendem Ergebnis:

Die Zulassung erfolgte u.a. mit folgenden Kennzeichnungsaufgaben und Hinweisen:

Liberty (Registrierungsstand: 09.12.2002)

Das Mittel wird als schädigend für Populationen der Art *Amblyseius potentillae* (Raubmilbe) eingestuft.

Das Mittel wird als schädigend für Populationen der Art *Erigone atra* (Zwergnetzspinne) eingestuft.

Das Mittel ist giftig für Fische und Fischnährtiere.

Das Mittel wird als nichtschädigend für Populationen der Art *Coccinella septempunctata* (Siebenpunkt-Marienkäfer) eingestuft.

Das Mittel wird als nichtschädigend für Populationen der Art *Bembidion lampros* (Laufkäfer) eingestuft.

Zwischen der behandelten Fläche und einem Oberflächengewässer - ausgenommen nur gelegentlich wasserführender, aber einschließlich periodisch wasserführender - muss mindestens folgender Abstand bei Anwendung des Mittels eingehalten werden:

Ackerbaukulturen: 5 m

Anwendung nur in Arten und/oder Sorten mit der zusätzlichen Bezeichnung „Liberty Link“.

Die Wartezeit ist durch die Anwendungsbedingungen und/oder die Vegetationszeit abgedeckt.

Roundup (Registrierungsstand: Dezember 2003)

Das Mittel ist bis zu der höchsten durch die Zulassung festgelegten Aufwandmenge oder Anwendungskonzentration als nichtbienengefährlich eingestuft.

Das Mittel ist giftig für Algen

Das Mittel ist schwach schädigend für Populationen der Art *Coccinella septempunctata* (Siebenpunkt-Marienkäfer).

Das Mittel wurde als nicht schädigend für Populationen der Art *Pardosa spp.* (Wolfspinne), *Poecilus cupreus* (Laufkäfer), *Aphidius rhopalosiphi* (Brackwespe) und *Chrysoperla carnea* (Florfliege) eingestuft.

Untersuchungen zu Auswirkungen auf die Bodenmikroflora zeigen, dass die mikrobiellen Aktivitäten nicht negativ beeinflusst werden. Unter Verwendung abdriftmindernder Technik (75 %), kann ein Risiko für terrestrische Nichtzielorganismen im Rübenanbau ausgeschlossen werden.

Die Wartezeit ist durch die Anwendungsbedingungen und/oder die Vegetationszeit abgedeckt.

Resistenzbildung

Abfallende Wirkungsgrade (< 95 %) werden gegen Hundspetersilie (*Aethusa cynapium*) und Wasserknöterich (*Polygonum amphibium*) beobachtet. Reduzierte Aufwandmengen führen v.a. bei perennierenden Unkräutern zu nicht ausreichenden Wirkungsgraden. Die Gefahr der Entstehung von Resistenzen bei Unkräutern gegenüber Glyphosat wird entsprechend den Zulassungsunterlagen als gering eingeschätzt.

Gegen Glyphosat resistente Gräserarten wurden bisher in Kalifornien und Australien gefunden [53]. Glyphosat wurde in Australien 20 Jahre lang eingesetzt bis die ersten resistenten Ryegras-Pflanzen (*Lolium rigidum*) gefunden wurden [84]. Ausserdem wurden Resistenzen bei Amarant (*Amaranthus rudis*) und dem Kanadischen Berufskraut (*Conyza canadensis*) nachgewiesen. Glyphosat-resistentes Berufskraut trat erstmals im Jahre 2000, resistenter Amarant 2002 in den USA auf [26].

Obwohl in Kanada seit 1995 gentechnisch veränderter, herbizidresistenter Raps angebaut wird, wurde bis 2000 keine Resistenz gegenüber den Wirkstoffen Glyphosat und Glufosinat festgestellt. Zur Vermeidung von Resistenzen wird empfohlen, nicht-selektiv wirkende Herbizide innerhalb der Fruchtfolge mit anderen Herbiziden zu kombinieren. Probleme können sich jedoch beim zusätzlichen Anbau Glyphosat-toleranter Getreidesorten ergeben [64].

Leistungszahl und Umweltwirkung

Da für jedes Herbizid die Wirkung der jeweiligen Dosis zu bewerten ist, sagt die Annahme, dass eine geringere Anzahl an Herbizidmengen auch geringere Bodenlasten bedingt, wenig über eine mögliche Umweltentlastung aus. Die Umweltwirkung der Präparate bzw. Wirkstoffe ist neben der biologischen Leistung und den Mittelkosten nach GEHRING 2003 [126] ein wesentliches Leistungskriterium bei der chemischen Unkrautbekämpfung. In einem neu entwickelten Index-Verfahren für eine multifaktorielle Leistungsbeschreibung von Herbiziden wird anhand dieser Kriterien versucht, eine Herbizidleistungszahl zu ermitteln. Die Leistungszahl ermöglicht es dem Landwirt, alle bisher geprüften und anwendungsfähigen Mittel oder Mittelkombinationen

auf der Basis aktueller Daten (Produktpreis, Anwendungsaufgaben etc.) mit neuen Präparaten direkt zu vergleichen, um die optimale Präparatewahl zu treffen [127]. So werden umfangreiche Fachinformationen durch die Herbizid-Leistungszahl in Form einer überschaubaren Darstellung ergänzt. Die Leistungszahl kann aber auch, je nach Fragestellung, in ihren Einzelkomponenten betrachtet werden. Im Folgenden wird das Leistungskriterium „Umweltwirkung“ zur Bewertung der ökotoxikologischen Wirkung der im konventionellen Anbau eingesetzten Herbizide bzw. herbiziden Wirkstoffe im Vergleich zu den Komplementärherbiziden der HR-Systeme herangezogen. Die Daten für die Umweltwirkung werden nach GEHRING 2000 [142] den offiziellen Informationen aus dem Zulassungsverfahren entnommen. In die Index-Bewertung gehen folgende Faktoren ein: Wirkstoffaufwand, Gefahrstoffeinstufung und Anwendergefährdung, Einfluss auf Land- und Wasserorganismen, das Grundwasserbelastungspotential und Abstandsauflagen zu Oberflächengewässern und Nicht-Zielflächen. Durch gewichtete Verrechnung der Einflussgrößen ergibt sich ein spezifischer Index. Die ermittelte Indexzahl wird skaliert, d.h. die beste Variante erhält den Wert relativ 100 %.

Die Bewertung hinsichtlich der Umweltverträglichkeit verschiedener Mittel/-Kombinationen (relativ und absolut) unter Einbeziehung der absoluten Produktmengen und Wirkstoffgehalte, ist für die Kulturen Mais, Raps und Zuckerrüben in den Tabellen 32, 33 und 34 zusammengefasst. In Anlage 5, 6 und 7 sind die Wertungen der einzelnen Faktoren nach GEHRING 2003 [148] dargestellt.

Umwelt-Indexzahl Mais-Herbizide

Tab. 32: Bewertung verschiedener Mittel/-Kombinationen hinsichtlich Umweltverträglichkeit bei Mais

Mittel /-kombination (Aufwand in l bzw. kg/ha)	Umwelt-V. -relativ (%)	Umwelt-V. -absolut (Pkt.)
Lido SC (2,5)	48	20
Motivell + Artett Pack (1 + 2,5)	54	22
Zintan Gold Pack + Motivell (2,0 + 0,5 + 0,8)	48	20
Liberty (4,5)	91	38
Roundup Ultra (4,5)	100	42
Liberty + Terano (2,5 + 1,0)	63	26
Roundup Ultra + Gardo Gold (2,5 + 2,5)	47	19

Bei Mais (Tab. 32) wird ersichtlich, dass z.B. ein Mittel wie Lido SC, das aufgrund seiner sicheren und breit wirksamen Bekämpfungsleistung durch die Kombination aus

den boden- und blattaktiven Wirkstoffen Terbuthylazin (250 g/l) + Pyridate (160 g/l), empfohlen wird, in der Umweltverträglichkeit im Vergleich zu Roundup und Liberty, mit relativ 48 %, schlecht abschneidet. Das relativ ungünstige ökotoxikologische Profil wird durch den Bodenwirkstoff Terbuthylazin (TBA) verursacht. Terbuthylazin besitzt ungünstige Eigenschaften für Anwender (Einstufung Xn = gesundheitsschädlich und RX 040 = Verdacht auf krebserzeugende Wirkung) und Wasserorganismen (giftig für Algen, Fische und Fischnährtiere). Bei ungünstigen Anwendungsbedingungen kann TBA eine Grundwasserbelastung verursachen und soll deshalb auf Sand-, Schotter- und Karstböden nicht eingesetzt werden. Der gleiche Effekt zeigt sich bei Anwendung der Mittelkombination Zintan Gold Pack + Motivell und Motivell + Artett Pack, wobei letztere in der Ausbringung der absoluten Wirkstoffmengen die günstigste Variante darstellt. Während Liberty und Roundup Ultra bei Soloanwendung in der absoluten und relativen Bewertung am günstigsten abschneiden, zeigen die Kombinationen mit Bodenherbiziden eine deutlich schlechtere Umweltverträglichkeit. Die Kombination von Liberty mit Terano bedingt eine schlechtere Anwender- und Wasserorganismen-Toxizität sowie verschärfte Auflagen bei den Sicherheitsabständen. Die Umweltverträglichkeit von Roundup Ultra verschlechtert sich in Kombination mit Gardo Gold bis auf die Landorganismen-Toxizität in allen Punkten. Das heißt, die bei Solo-Anwendungen der Komplementärherbizide im Mais vorhandene geringe ökotoxikologische Wirkung wird bei der Tankmischung in Kombination mit einem Bodenherbizid dem Umweltverträglichkeits-Niveau einer konventionellen Herbizidanwendung gleichgesetzt. In Versuchen wurde festgestellt, dass die nach Liberty „Solo-Anwendung“ verbliebenen oder neu aufgelaufenen Unkräuter im Mais zu keinen direkten Ertragsverlusten führen. Daraus ergibt sich keine Notwendigkeit, einen Maisbestand während der ganzen Vegetationsperiode absolut unkrautfrei zu führen. Ein unkrautfreier Maisbestand führt ausserdem zu einer unnötig hohen Verringerung der Biodiversität und begünstigt Erosion [137].

Diese Feststellung wird in den Ergebnissen der „Farm Scale Evaluation“ Studie zum Vergleich der HR-Technik mit der konventionellen Herbizidanwendung in Praxis-schlägen für Mais bestätigt. HR-Mais-Flächen zeigen im Vergleich zu konventionell mit Bodenherbiziden behandelten Flächen eine bessere Entwicklungsmöglichkeit für die Biozönosen auf der Produktionsfläche. Dies ist bedingt durch die ungestörte Unkrautentwicklung bis zur relativ späten Nachauflaufbehandlung und den Restbesatz an Unkräutern während der Vegetationsperiode [140].

Umwelt-Indexzahl Raps-Herbizide

Bei Raps erreicht nur Butisan Top (90 %) mit einer einmaligen Aufwandmenge von 2,0 l/ha in der Bewertung der Umweltverträglichkeit annähernd die hohen relativen Indexzahlen von Roundup Ultra mit 100 % bzw. Liberty mit 92 % (Tab. 33). Dabei

kommt die im Vergleich zu Liberty und Roundup höhere Wasserorganismen-Toxizität von Butisan Top zum Ausdruck, die sich in Kombination mit Gallant Super noch deutlich verschlechtert. Das schlechte Abschneiden der Herbizid-Kombination Brasan + Fusilade Max ist bedingt durch eine hohe Wasserorganismen-Toxizität, eine im Vergleich hohe Wirkstoffmenge, eine relativ hohe Anwender-Toxizität und erhebliche Abstandsauflagen, die auf den Wirkstoff Clomazone zurückzuführen sind. Eine zweimalige Ausbringung der Komplementärherbizide reduziert bei Anwendung von Roundup Ultra, trotz deutlich höherer Wirkstoffmengen, den Umweltverträglichkeits-Index nur gering auf relativ 96 % und liegt damit noch über der praxisüblichen Anwendung von Butisan Top. Dagegen wird die zweimalige Liberty-Anwendung mit 4,5 l/ha nur gegenüber den Butisan- und Brasan- Kombinationen besser, gegenüber einer einmaligen Butisan Top Anwendung jedoch schlechter bewertet. Dies liegt an der schlechteren Einstufung bei der Landorganismen-Toxizität von Liberty gegenüber Butisan Top. Grundsätzlich zeigt sich jedoch beim Vergleich der verschiedenen Herbizidanwendungen anhand dieses Indexverfahrens auch im Raps eine gute Umweltverträglichkeit der Komplementärherbizide.

Tab. 33: Bewertung verschiedener Mittel/-Kombinationen hinsichtlich Umweltverträglichkeit bei Raps

Mittel /-kombination (Aufwand in l/ha)	Umwelt-V. -relativ (%)	Umwelt-V. -absolut (Pkt.)
Butisan Top (2,0)	90	37
Butisan Top (2,0) + Gallant Super (0,4)	64	27
Brasan (3,0) + Fusilade Max (2,0)	55	23
Liberty (3,0)	92	38
Liberty (4,5)	84	35
Roundup Ultra (3,0)	100	42
Roundup Ultra (4,5)	96	40

Dies bestätigen, zumindest in Teilbereichen, Untersuchungen, die von HOMMEL und PALLUT 2000 [137] vorgenommen wurden. Sie führen bei der Auswertung von Langzeitversuchen mit Glufosinat-resistentem Raps und Mais auch eine ökotoxikologische Bewertung der Herbizidsysteme durch. Verglichen werden die in den Herbizidvarianten angewandten Wirkstoffe hinsichtlich ihres biologischen Risikopotenzials auf der Grundlage der von GUTSCHE und ROSSBERG 1997 [138] entwickelten SYNOPSIS-Methode. Dabei wird die relative Toxizität verschiedener Herbizidanwendungen auf Indikatororganismen (Regenwürmer, Wasserflöhe, Fische und Algen) ermittelt. Das Ergebnis jeder Herbizidanwendung wird zu der jeweils schädlichsten Variante in Bezug gesetzt. Die mit dieser Methode ermittelten Werte zeigen, dass durch Anwendung

von Liberty, im Vergleich zu den konventionellen Herbiziden (Zintan Pack oder Butisan Top) ein geringeres ökotoxikologisches Risiko in Bezug auf Daphnien, Fische und Algen erreicht wird. In der Toxizität gegenüber Regenwürmer ist Glufosinat jedoch mit den Wirkstoffen Metazachlor und Quinmerac von Butisan Top vergleichbar.

Umwelt-Indexzahl Rüben-Herbizide

Die Umweltverträglichkeit von Roundup und Liberty ist im Vergleich zu den derzeit in Zuckerrüben eingesetzten Herbiziden wie in Tabelle 34 ersichtlich, ebenfalls deutlich besser einzustufen. Eine 3-4 malige Anwendung konventioneller Herbizide stellt aufgrund einer hohen Anwender-, Grundwasser-, und Wasserorganismen-Toxizität, sowie hoher Wirkstoffmengen, die ausgebracht werden, auch ein entsprechend hohes Risikopotential für die Umwelt dar. Eine Minderung in der Anwender- und Grundwasser-Toxizität bei Durchführung von nur zwei Behandlungsfolgen mit den Mitteln Tornado und Powertwin führt trotzdem nicht zu den günstigen Umweltverträglichkeits-Werten von Liberty und Roundup Ultra bei zweimaliger Anwendung. Das heißt, durch Einsatz der HR-Technik im Zuckerrübenanbau können nicht nur die Anzahl an Spritzfolgen, sondern auch das ökotoxikologische Risikopotential entsprechend reduziert werden.

Tab. 34: Bewertung verschiedener Mittel/-Kombinationen hinsichtlich Umweltverträglichkeit bei Zuckerrüben

Mittel /-kombination (Aufwand in l/ha)	Umwelt-V. - relativ (%)	Umwelt-V. -absolut (Pkt.)
Betanal Expert (4,5) + Goltix 700 SC (4,5); Fusilade Max (2,0)	35	14
Betanal Expert (3,0) + Goltix 700 SC (3,0) + Rebell (3,0)	40	17
Tornado (3,0) + Powertwin (2,0)	66	28
Liberty; (4,0)	92	38
Liberty; (5,0)	87	36
Liberty; (6,0)	84	35
Roundup Ultra; (4,0)	100	42
Roundup Ultra; (5,0)	98	41
Roundup Ultra; (6,0)	96	40

Zur Bestätigung können auch die von PERKOW und PLOSS 1996 [8] ermittelten toxikologischen Kenndaten herangezogen werden, wonach Glyphosat eine gegenüber Regenwürmer sehr geringe Toxizität, Glufosinat eine geringe Persistenz im Boden (DT 50 = 3-10 Tage) besitzt.

Es wurden verschiedene Studien zu Umweltwirkungen von HR-Kulturen durchgeführt. DEWAR et al. 2000 [132] stellen in ihren Untersuchungen zum Einfluss einer späten Anwendung von Glyphosat in HR-Zuckerrüben auf Ertrag und Läusebesatz fest, dass eine Glyphosatanwendung im 8- bis 12-Blattstadium bzw. 12- bis 14-Blattstadium den Läusebefall indirekt reduziert, da sich Predatoren und Parasitoide entsprechend besser entwickeln können. Die Ergebnisse einer 2000 in Dänemark durchgeführten Studie zu den Auswirkungen des Anbaus von herbizidtoleranten Futterrüben auf die Pflanzen- und Tierwelt (Unkräuter, Insekten und Spinnentiere) zeigen, dass der Anbau von Roundup Ready-Futterrüben die Artenvielfalt (Biodiversität) in Rübenfeldern sogar erhöht, da eine höhere Unkrautdichte (Lebensraum für Insekten und Spinnentiere) im Feld über einen längeren Zeitraum toleriert werden kann [131].

Auch MAY 2003 [60] stellt fest, dass bei Einführung herbizidtoleranter Zuckerrüben, im Vergleich zur konventionellen Herbizidanwendung, die Nützlingspopulationen um das siebenfache zunehmen und bodenbrütende Vögel geringer belastet werden, da der Acker nicht so oft befahren wird.

In kürzlich veröffentlichten Ergebnissen der in England durchgeführten „Farm Scale Evaluation“ wird dagegen festgestellt, dass in HR-Zuckerrübenfeldern, im Vergleich zu konventionell behandelten Feldern, weniger Insekten (Bienen, Schmetterlinge) sowie ein geringerer Unkrautbesatz vorhanden sind und die Menge an Unkrautsamen (Futter für Vögel und Käfer) um 60 % reduziert ist. Bodeninsekten (Collembolen, Käfer) und Spinnen werden jedoch vermehrt vorgefunden. Ein ähnlicher Befund zeigt sich bei Untersuchungen in Rapsbeständen, die Unkrautsamen sind hier jedoch um 80 % reduziert. Am besten werden bei diesen Untersuchungen, wie bereits erwähnt, die HR-Systeme in Mais aufgrund ihrer durchwegs positiven Wirkung auf Flora und Fauna beurteilt [140].

Kommentiert wird die Studie unter anderem auch mit dem Hinweis, dass die Art der Anwendung der HR-Technik auf die Artenvielfalt Einfluss nehmen wird. Das heißt, ob die Landwirte die HR-Technik so einsetzen, dass nahezu alle Unkräuter beseitigt werden oder einen Restbesatz an Unkräutern auf den Feldern tolerieren. Bei HR-Zuckerrüben ist die Verminderung der Anzahl und Menge an ausgebrachten Wirkstoffen um ein Drittel und die Halbierung der Spritzfahrten ebenfalls von Bedeutung. Der Einsatz der HR-Technologie kann auch als Beitrag zu einer nachhaltigeren Schonung landwirtschaftlicher Nutzflächen und der Umwelt durch bodenschonendere Anbauverfahren und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit gesehen werden.

Am Zentrum für Landwirtschaft und Umwelt in Utrecht (NL) wurde ein Messzahl-Konzept (Environmental Yardstick for Pesticide) entwickelt, indem die Auswirkungen eines Herbizids auf Wasser- /Bodenorganismen und die Grundwasserbelastung

erfasst werden. Glyphosat zeigt im Vergleich zu anderen im Sojaanbau eingesetzten Herbiziden ein besseres Umweltprofil. Trotzdem wird Glyphosat nicht als „Idealherbizid“ bezeichnet, da es bei Anwendung im Herbst zum Grundwassereintrag kommen kann und ein geringes Risiko für Wasserorganismen besteht. Irreversible Effekte auf Ökosysteme oder genetische Vielfalt werden nicht festgestellt [53].

In Dänemark darf Glyphosat seit 2003 nach dem 15. September auf Lehmböden wegen Auswaschungsgefahr nicht mehr eingesetzt werden, nachdem der Reichsumwelt-dienst beim laufenden Grundwasser-Überwachungsprogramm feststellte, dass Glyphosat auf Lehmböden einen Meter tief durchsickern kann. Obwohl das Mittel seit 25 Jahren angewendet wird, wurde bisher im Grundwasser der Grenzwert nicht überschritten [78].

Schon FERNANDEZ-CORNEJO und MCBRIDE 2000 [48] merken in ihren Arbeiten zum Herbizidverbrauch bei Anbau gentechnisch veränderter Kulturen an, dass der Herbizidverbrauch nur dann als Maßstab dienen kann, wenn alle Wirkstoffe den gleichen Einfluss auf Umwelt oder Gesundheit nehmen. Die mehr als 350 Wirkstoffe, die in den letzten 40 Jahren in USA verwendet wurden, weisen hinsichtlich ihrer Toxizität und ihrer Persistenz in der Umwelt eine große Variabilität auf. Um Pflanzenschutzmittel in ihrer Toxizität/Persistenz bewerten zu können, müsste ihrer Meinung nach ein Index für „Pestizideinfluss“ oder „potentielle Risiken“ eingeführt werden.

In diesen Systemen wird nicht beachtet, wie hoch die Regenerationskraft der Natur einzuschätzen ist. Ob in der Praxis nachhaltige Effekte auf die Ertragsfähigkeit der Böden vorliegen und wie groß Unterschiede des Einflusses durch Witterung, Bodenbearbeitung oder Fruchtwechsel sind, findet ebenfalls keine Berücksichtigung.

9.2 Erfassung der Vor- und Nachteile auf Umwelt und Naturhaushalt bei Anbau von Bt-Kulturen

Mögliche negative human-, ökotoxikologische und ökologische Effekte der Anwendung von Insektiziden werden durch den Einsatz gentechnisch veränderter, insektenresistenter Kulturen minimiert. Bt-Toxine sind Proteine, die natürlicherweise von *Bacillus thuringiensis*-Bodenbakterien gebildet werden. Mikrobielle Bt-Präparate werden als biologische Pflanzenschutzmittel angewandt und sind auch im biologischen Anbau zugelassen. Bt-Toxine wirken relativ spezifisch auf verschiedene Insektenordnungen und sind in ihren Nebenwirkungen auf Arthropoden, toxischen Eigenschaften auf Vertebraten bzw. den humantoxischen Eigenschaften generell besser einzuschätzen als chemische Insektizide. Diese weisen von allen Pflanzenschutzmittel-Klassen die höchste Toxizität für Fressfeinde und Parasiten von Schädlingen auf. Das gegen

den Maiszünsler eingesetzte Insektizid Baythroid 50 (Cyfluthrin), sowie die gegen den Kartoffelkäfer angewandten Mittel Ripcord 10 (Cypermethrin) und Karate Zeon (Lambda-Cyhalothrin) sind, entsprechend den Zulassungsunterlagen, als gesundheitsschädlich, toxisch für Algen, Fische und Fischnährtiere, sowie schädigend für Populationen relevanter Nutzorganismen eingestuft. Das Bt-Toxin gilt dagegen als gesundheitlich unbedenklich. Da die Bt-Toxine beim Menschen im Magen-Darmtrakt schnell abgebaut werden, lösen die Stoffe nach derzeitigem Kenntnisstand keine Allergien aus. Der in den USA zugelassene insektenresistente StarLink-Mais mit der Bt-Variante Cry9c, die im menschlichen Magen längere Zeit stabil bleibt, wurde vorsorglich nur als Tierfutter, nicht aber als Nahrung für den Menschen zugelassen [1].

Umfangreiche Auswertungen verschiedenster Studien zur Toxizität von Bt-Toxinen für epigäische Arthropoden ergeben, bis auf einen Versuch an Florfliegenlarven mit 50% Mortalität, keine toxische Wirkung. Die Ergebnisse dieses Versuches werden allerdings von führenden Wissenschaftlern angezweifelt. Untersuchungen einzelner Toxine aus transgenen Pflanzen ergeben auch keine Hinweise auf nachweisbare Schädigungen der getesteten Bodenarthropoden, Bodenmikroorganismen, Wasserorganismen oder Vertebraten. Untersuchungen zur Persistenz der Bt-Toxine im Boden ergeben, je nach biologischer Aktivität der Böden, bei transgenen Maispflanzen eine Halbwertszeit von 1,6 Tagen, für Baumwollpflanzen 4-10 Tage [155].

Auch eine in USA von der Rockefeller Stiftung geförderte Studie über Sicherheitsuntersuchungen zu Bt-Mais liefert keinen Hinweis auf größere Sicherheitsrisiken. In die Untersuchung einbezogen werden Studien zur Toxizität der Bt-Proteine, das Potential zur Auslösung von Allergien, Auswilderungsverhalten, Auskreuzungsmöglichkeiten auf verwandte Wildpflanzen und deren Konsequenzen. Weiterhin wird der Einfluss von Bt-Mais auf Nichtzielorganismen wie Schmetterlingsarten und andere Insekten untersucht. Strategien zur Vermeidung der Resistenzentwicklung der Schadinsekten und Untersuchungen im Hinblick auf gesundheitliche Risiken werden in die Untersuchung ebenfalls miteinbezogen [45].

Im Folgenden wird auf weitere aktuelle bzw. noch nicht endgültig abgeschlossene Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit transgener Bt-Pflanzen hinsichtlich Resistenz, Wirkung auf Nicht-Zielorganismen, sowie Auswirkungen auf das Bodenleben näher eingegangen.

Die Sorge, dass bei großflächigem Anbau von Bt-Sorten früher oder später resistente Insektenpopulationen entstehen, die sich stark ausbreiten könnten, wird in den USA durch Strategien für ein Resistenzmanagement begrenzt. Bei großflächigem Bt-Maisanbau wird durch den Anbau einer Mindestfläche von nicht-insektenresistentem Mais (Pflichtanteil je nach Region 20 % - 50 %) möglichst vielen nicht-resistenten Maiszünslern das Überleben gesichert. In diesen „Refugien-Flächen“ können sich auch resistente mit nicht-resistenten Zünslern paaren. Die Nachkommen sind nicht Bt-

resistent und sterben auf einem Bt-Maisfeld ab. Die Entwicklung resistenter Zünslerpopulationen sollte auf diese Weise verhindert oder zumindest stark verlangsamt werden [45]. Im EPA-Report 2000 ist festgehalten, dass auch fünf Jahre nach Einführung von Bt-Mais-, Baumwoll- und Kartoffelsorten keine Insektenresistenzen aufgetreten sind [15]. Eine kürzlich veröffentlichte Studie, die im Auftrag des US-Landwirtschaftsministeriums durchgeführt wurde, kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass bisher keine resistenten Schädlinge aufgetreten sind, obwohl in den USA seit über acht Jahren großflächig gentechnisch veränderte Mais- und Baumwollpflanzen angebaut werden [zit.in 129].

Auswirkungen von Bt-Mais-Pollen auf verschiedene Schmetterlingsarten wurden im Labor untersucht. Schädigungen treten bei *Pieris rapae* (Kleiner Kohlweißling) und *Pieris brassicae* (Großer Kohlweißling) erst bei sehr hohen Pollenkonzentrationen ein (der LD 50-Wert liegt bei 39 bzw. 139,2 Bt-Maispollen), die unter natürlichen Bedingungen außerhalb eines Maisfeldes wohl nicht erreicht werden [134]. Ergebnisse mit Labor-Stämmen sind jedoch nicht ohne Bedenken auf Freilandpopulationen übertragbar [155]. Kürzlich veröffentlichte Untersuchungsergebnisse zur Gefährdung von *Inachis io* (Tagpfauenauge) durch Anbau von Bt-Maissorten zeigen keine Gefährdung auf Artebene, jedoch mögliche negative Effekte auf Populationsebene [135]. Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Projektes zu „Sicherheitsforschung und Monitoringmethoden zum Anbau von Bt-Mais“, werden in noch laufenden Untersuchungen u.a. Effekte von Bt-Mais auf Nützlingspopulationen am Beispiel von Radnetzspinnen und blütenbesuchenden flugfähigen Insekten (LfL, Bayern), sowie *Trichogramma*-Schlupfwespen (BBA, Darmstadt) untersucht. Die Auswertung von verschiedenen Standorten in Bayern zur Erfassung von Blütenbesuchern und Spinnen ergab bisher keine eindeutigen Unterschiede zwischen Bt- und Nicht-Bt-Feldern in der Arten- und Individuenzahl. In Laborversuchen wird der Einfluss von aktivem Bt-Toxin und Pollen sammelnden Blütenbesuchern auf Radnetzspinnen erforscht [156] [157].

Die bisherigen Ergebnisse weisen auch darauf hin, dass von Bt-Mais keine Gefährdung gegenüber *Trichogramma*-Schlupfwespen ausgeht [158].

Nach Mitteilung von bioSicherheit haben Schweizer Wissenschaftler kürzlich festgestellt, dass Bt-Mais nicht zu einer erhöhten Sterblichkeit bei Regenwürmern führt. In Labor- und Freilandversuchen wurden Regenwürmer über zweihundert Tage lang mit konventionellem und Bt-Mais gefüttert, wobei die Konzentration des Bt-Toxins bis zum achtzigsten Versuchstag noch so hoch war, dass die Maiszünslerlarven abgetötet wurden. Die bei einem Versuchsansatz festgestellten Gewichtsverluste bei ausgewachsenen Regenwürmern werden auf den erhöhten Ligningehalt der verwendeten Bt-Mais Variante (Bt 11) zurückgeführt [90].

Eine potentielle ökologische Wirkung von Bt-Mais auf die Umwelt sehen SAXENA und STOTZKY 2002 [23] trotzdem in einem signifikant erhöhten Ligningehalt (33 % -

97 %) von Bt-Maishybriden im Vergleich zu Nicht-Bt-Isolinien. Durch Zunahme des unverdaulichen Anteils der Pflanzen verbleibt das Bt-Toxin für längere Zeit im Boden, wodurch das Risiko einer Schädigung von Nicht-Ziel-Organismen sowie die Entwicklung toxinresistenter Zielinsekten ihrer Meinung nach erhöht wird.

Wegen der in letzter Zeit verstärkt geführten Diskussion über eine Mykotoxinbelastung im Erntegut abschließend noch Hinweise auf unterschiedlichste Versuchsergebnisse zu diesem Themenkomplex bei Anbau von Bt-Mais. Es gibt Untersuchungen, die belegen, dass insektenresistente Bt-Maissorten durch geringen Sekundärbefall durch *Fusarien* eine geringere Mykotoxin-Belastung in Maisprodukten aufweisen. Für Frankreich und Spanien wird nachgewiesen, dass auf Bt-Mais-Körnern 4-18 mal weniger Pilzmyzel vorhanden ist als auf Nicht-Bt-Maiskörnern [109]. In Italien konnten Wissenschaftler eine Reduzierung des Fumonisingehaltes von 90 % (von 20 ppm auf 2 ppm) bei Bt-Maiskörnern nachweisen [110]. Fumonisine stehen aufgrund ihrer kanzerogenen Wirkung auf internationaler Ebene im Mittelpunkt der Fusarientoxinforschung [114]. In vergleichenden Untersuchungen bei der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) zur Kontamination von Bt-Mais mit Fusariumtoxinen zeigen Bt-Sorten im Vergleich zu konventionellen Sorten deutlich niedrigere Werte an DON (Deoxynivalenol) und Zearalenon [111].

Die Hypothese, dass die Larven des Europäischen Maiszünslers als Vektoren für *Fusarium spec.* wirken, da sie Eintrittswunden erzeugen, wird in einer an der Universität in Hohenheim durchgeführten Studie nicht bestätigt [24]. In der Studie wird festgestellt, dass eine Resistenz gegen *Fusarium spec.* vom spezifischen Genotyp des Maises abhängt und vom Fraß der Larve des Europäischen Maiszünslers nahezu unabhängig ist. Die Kontamination der Maiskörner mit Mykotoxinen verursacht von *Fusarium* wird durch Bt-Mais nur unerheblich reduziert.

Den allgemeinen Erfahrungen entsprechend stellte CHASSY 2002 [1] in einem 2002 veröffentlichten Artikel fest, dass gentechnisch veränderte Pflanzen genauso sicher, wenn nicht noch sicherer sind als konventionell erzeugte Pflanzen und begründet Letzteres durch den geringen Pflanzenschutzmitteleinsatz bei Bt-Mais. Nicht-Zielorganismen wie der Monarchfalter werden seiner Meinung nach geschützt, Arbeit und Energie eingespart und die Mykotoxinbelastung für die menschliche Ernährung drastisch gesenkt.

10.0 Zukünftige Lösungsmöglichkeiten von aktuellen Pflanzenschutzproblemen durch gentechnisch veränderte Pflanzen

GIANESSI et al. 2002 [29] untersuchten in ihren Studien („the 40 case studies“), welche Vorteile sowohl die gegenwärtig zur Verfügung stehenden gentechnisch veränderten Kulturen als auch die noch in Entwicklung befindlichen zukünftig bieten können. Sie stellten fest, dass die größten Ertragszuwächse in der Entwicklung pilzresistenter Gerste, bei herbizidtolerantem Weizen, herbizidtoleranten Zuckerrüben und Kartoffeln mit Virus- und Insektenresistenz zu erwarten sind. Die höchsten Einsparungen im gegenwärtigen Pflanzenschutzmittelverbrauch sind jedoch bei Kartoffeln mit Pilzresistenz und bei Mais mit Resistenz gegen den Maiswurzelbohrer zu erwarten.

Nach BAUFELD et al. 2002 [100] ist es nur noch eine Frage der Zeit, bis der Maiswurzelbohrer auch in Bayern zum Problem wird. Es stehen weder resistente Sorten noch zugelassene Insektizide für die Bekämpfung zur Verfügung. Die Züchtung von Kartoffelsorten mit einer Resistenz gegen *Phytophthora infestans* war bislang erfolglos. Ein Ansatzpunkt in dieser Richtung wäre die Etablierung gentechnisch erzeugter Resistenzen (siehe Punkt 2.6.3). Auch ein weiteres zukünftig verstärkt zu beachtendes Problem der Mykotoxinbelastung bei Getreide, könnte im Laufe der nächsten Jahre mit Hilfe biotechnologischer Zuchtmethoden gelöst werden (siehe Punkt 2.7.1).

Es gilt zu überlegen, welche Vorteile vor allem hinsichtlich Pflanzenschutzmitteleinsparungen in Bayern durch den Einsatz gentechnisch veränderter Sorten, die sich bei Kartoffeln und Weizen noch in der Entwicklung befinden, zu erwarten sind.

10.1 Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*)

Immer wieder muss sich die Landwirtschaft mit neuen Schaderregern auseinandersetzen, sei es durch natürliche Einwanderung oder durch Einschleppung über internationale Verkehrsströme. Ein in Deutschland bisher nicht vorhandener Schaderreger, der Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*), könnte sich zukünftig zu einem großen Problem für die Maisanbauer entwickeln [100]. In den USA und Kanada gehört der Westliche Maiswurzelbohrer zusammen mit dem Nördlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica barberi*) zu den bedeutendsten Maisschädlingen. Weltweit beträgt die Befallsfläche inzwischen 20 Mio. ha, davon 13,5 Mio. ha in den USA [87]. Voraussichtlich wird sich die Wurzelbohrer-Befallsfläche in den USA in den nächsten 10 Jahren auf mehr als 19 Millionen Hektar ausbreiten [103].

Der Westliche Maiswurzelbohrer hat eine Generation pro Jahr. Die Larven des Käfers fressen von Mai bis August vor allem an den Wurzeln der Maispflanzen und verursachen durch Beeinträchtigung der Wasser- und Nährstoffaufnahme sowie der Standfestigkeit Ernteverluste bis zu 90 % [13]. Aufgrund seines großen Schadpotenzials für Mais wurde *Diabrotica virgifera virgifera* als Quarantäneschadorganismus von der EPPO in die A2-Liste und von Seiten der EU in die Richtlinie 77/93/EWG aufgenommen [101].

1992 erstmalig in Europa (Flughafen Belgrad) entdeckt, konnte sich der Schädling aufgrund unterbliebener Gegenmaßnahmen rasch ausbreiten. Neben der aktiven Ausbreitung werden die Käfer mit verschiedenen Transportmitteln (Flugzeug, Schiff, Bahn, Lastkraftwagen, Wohnmobile etc.) auch passiv verschleppt. Nachzuvollziehen ist bis jetzt die Ausbreitung von Jugoslawien nach Ungarn, Kroatien, Rumänien, Bosnien, Herzegowina, Bulgarien, Italien, Slowakei, Schweiz und Ukraine. 2002 wurde er in Frankreich, Tschechien und Österreich gefunden [88]. Im Sommer 2003 wurde der Schädling erstmals in England, in der Nähe des Flughafens Heathrow [104] und in der Nähe des Flughafens Basel-Mühlhausen entdeckt [130]. Aufgrund der guten Flugfähigkeit der Käfer beträgt die aktive Ausbreitung bis zu 100 km pro Jahr. Mit einer weiteren invasiven Ausbreitung in Europa wird gerechnet [87].

In Deutschland sind nach BBA-Quellen etwa 350.000 ha Mais gefährdet, 111.000 ha müssten schätzungsweise gegen den Schädling behandelt werden. Als Risikogebiete gelten Gegenden mit Anbau von Mais nach Mais oder mit hoher Maisanbaukonzentration in der Fruchtfolge wie sie in Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg in einigen Regionen gegeben sind. Der mögliche Schaden im Mais wird für Deutschland auf 25 Millionen Euro jährlich (einschließlich 13 Millionen Euro Pflanzenschutzmitteleinsatz) geschätzt. In den USA werden die verursachten Schäden einschließlich Pflanzenschutz aufwendungen (1/4 der Befallsflächen werden mit Bodeninsektiziden behandelt) pro Jahr mit 1 Mrd. US-Dollar beziffert, daher auch der Name „Milliarden-Dollar-Käfer“ [99]. Die jährlichen Einkommenseinbußen sind bedingt durch Ertragsausfälle in Höhe von etwa 800 Millionen Euro und Insektizidkosten von 200 Millionen Euro [103].

Wie lange es noch dauert bis der Maiswurzelbohrer über Österreich oder Tschechien nach Bayern vordringt, lässt sich trotz umfangreicher Begrenzungsmaßnahmen in Österreich (Fruchtwechsel, Insektizidausbringung) nicht vorhersagen. Dringt der Schädling bis Deutschland vor, könnte sich dieser hier rasch zum bedeutendsten Maisschädling entwickeln [100].

Maßnahmen gegen eine weitere Verbreitung des Schädlings sind eine ausgewogene Fruchtfolge, Bodeninsektizide gegen die Larven zur Aussaat und ein gut funktionierender Warndienst.

Für Deutschland gehen die Schätzungen für Anwendungen von Bodeninsektiziden bis zu einer Größenordnung von 1.860 t/Jahr (Annahme: Counter SG). Weltweit werden 5,2 Mio. ha mit Insektiziden behandelt und dabei über 5.000 t Wirkstoff ausgebracht. Wie in den USA ist auch bei uns die Möglichkeit einer Resistenzbildung und Umweltbelastung durch Einsatz dieser Präparate gegeben. Alternativ könnte auch eine Saatgutbehandlung mit Insektiziden zum Schutz gegen Larvenfraß erfolgen [87]. In Deutschland sind derzeit jedoch keine Insektizide im Mais gegen den Maiswurzelbohrer zugelassen.

Zur Anbausaison 2003 wurde in den USA die erste gentechnisch veränderte Maissorte (YieldGard) mit einer Resistenz gegen den Maiswurzelbohrer zugelassen. Die Maiswurzeln werden durch ein spezifisches Bt-Protein (Cry3Bb1) gegen Fraßschäden der Larven geschützt [103]. Dadurch kann der Einsatz von bis zu drei verschiedenen Insektiziden, die in einer einzigen Anbausaison gegen den Schädling ausgebracht werden, unterbleiben. Zur Vermeidung eventuell möglicher Resistenzen beim Schädling wird den Landwirten von der US-amerikanischen Umweltbehörde (EPA) im Rahmen eines Resistenz-Managements vorgeschrieben eine Pufferzone im Umfang von 20 Prozent ihrer Maisanbaufläche mit konventionellem Mais anzulegen [102].

Eine vom National Center for Food and Agricultural Policy (NCFAP) erstellte Studie schätzt, dass der Insektizid-Einsatz durch Anbau von Wurzelbohrer resistenten Maissorten um ca. 6.400 t jährlich zurückgehen wird [29].

In der EU ist die Zulassung einer gegen den Maiswurzelbohrer resistenten Maissorte (MON 863 x MON 810) für den Import beantragt. Vom Robert-Koch-Institut wird die Genehmigung für Deutschland empfohlen [130].

Sollte der Schädling trotz umfangreicher Maßnahmen gegen eine Einschleppung in Bayern Fuß fassen, ist laut Angaben der BBA eine Maisfläche von 87.000 ha (22 %) gefährdet [99]. Einsparungen, die durch einen Anbau von Wurzelbohrer-resistenten Sorten denkbar sind, werden in Tabelle 35 dargestellt. Wird unterstellt, dass oben genannte Fläche gegen den Maiswurzelbohrer mit Counter SG (Wirkstoff: Terbufos), behandelt wird, ist von einem Gesamtmittelaufwand von 1.453 t bzw. 29,1 t Wirkstoff auszugehen. Damit sind Mittelkosten in Höhe von 9,6 Mio. Euro verbunden.

Tab. 35: Einsparungen an Pflanzenschutzmitteln bei Anbau von gentechnisch veränderten Maissorten mit einer Resistenz gegen den Maiswurzelbohrer

Kultur	Fläche GVO-Anbau in ha	Pflanzenschutzmitteleinsparungen in Bayern			
		Präparate kg/ha gesamt (t)		Wirkstoffe kg/ha gesamt (t)	
Mais	87.000	16,7	1.453	0,334	29,1

In der EU ist derzeit kein Insektizid zur Diabrotica-Bekämpfung in Mais zugelassen. Eine Ausnahmegenehmigung für das Insektizid Dursban 75 WG (Wirkstoff Chlorpyrifos), wie in Italien erteilt, ist nach BBA-Angaben bei „Gefahr in Verzugs“ auch für Deutschland mit einer Aufwandmenge von 1,1 kg/ha bzw. 1,7 l/ha zur Bekämpfung der Käfer denkbar [100].

Werden keine Pflanzenschutzmaßnahmen ergriffen, ist in Risikogebieten mit durchschnittlichen Ertragsverlusten von 10 % zu rechnen, wobei die Verluste mit 118 Euro/ha bei Körnermais und 45 Euro/ha bei Silomais beziffert werden [99].

10.2 Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel (*Phytophthora infestans*)

Die Züchtung von Kartoffelsorten mit einer Resistenz gegen den Erreger der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) war bisher, trotz intensivster Bemühungen, auf konventionellem Wege nicht erfolgreich. Jährlich sind umfangreiche Pflanzenschutzmaßnahmen, die je nach Lage, Infektionsdruck und Sorte 5-12 Fungizidspritzungen und mehr umfassen können, notwendig.

Kanadische Wissenschaftler fanden kürzlich Resistenzgene gegen *Phytophthora* (late blight) und den Colorado-Käfer in mexikanischen Wildkartoffelpflanzen (*Solanum pinnatisectum*). Nach erfolgreichem Einbringen dieser Gene in Kultursorten kann über die Einsparung von Pflanzenschutzmitteln ein positiver Effekt auf die Umwelt ausgehen. Allein in Kanada werden die durch Kraut- und Knollenfäule und den Kartoffelkäfer verursachten Kosten für Fungizid- und Insektizidaufwendungen auf 13-16 Mio. Euro geschätzt [21]. Amerikanische Farmer behandeln Kartoffelfelder bis zu zwölf mal in einer Saison und wenden dafür bis zu 625 Euro pro Hektar auf. In Mexiko kann es sein, dass die Kartoffelschläge bis zu 25 mal im Jahr mit Pflanzenschutzmitteln behandelt werden [77].

ARAJI et al. 2001 [35] stellen in einer Hochrechnung fest, dass die Entwicklung gentechnisch veränderter, phytophthoresistenter Kartoffeln den Pflanzenschutzmitteleinsatz weltweit um 41.000 t an Wirkstoffmengen reduziert. Eine Wirkstoffmengenreduzierung von 25.600 t wird allein für Europa ermittelt. Die eingesparten Fungizidkosten werden in Europa, Nord- und Mittelamerika etwa 136 Euro/ha betragen.

GIANESSI et al. 2003 [58, 59] beziffern die Aufwendungen gegen *Phytophthora infestans* in Europa für 8-14 Behandlungen im Jahr mit durchschnittlich 322 Euro/ha. Durch Anbau resistenter Sorten auf 100 % der Kartoffelanbauflächen wird sich in der EU der Einsatz von 7.513 t an Fungiziden erübrigen, die Produktion um 858.000 t steigen und das Nettoeinkommen der Landwirte um 417 Millionen Euro zunehmen.

Auch in Bayern werden je nach Lage, Infektionsdruck und Sorte 5-12 Fungizidspritzungen pro Jahr durchgeführt. Wird in einer Vegetationsperiode von 6,5 Behandlungen und durchschnittlichen Kosten von 24 Euro/ha je Behandlung ausgegangen, belaufen sich die jährlichen Aufwendungen für die Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule auf ca. 8 Mio. Euro [149]. Werden die von GIANESSI et al. 2003 [58] für Europa errechneten Aufwendungen gegen *Phytophthora infestans* für durchschnittlich 12 Behandlungen für Bayern in Ansatz gebracht, sind Aufwendungen in Höhe von ca. 16 Mio. Euro notwendig.

ZELLNER 2003 [149] geht davon aus, dass bei Vorhandensein phytophthoraresistente Sorten in Bayern auf der gesamten Kartoffelanbaufläche von 51.000 ha angebaut werden. Welche Einsparungen an Fungizidmengen möglich sind, ist in Tabelle 36 für eine Behandlungsfolge bei mittlerer Intensität, d.h. durchschnittlich 6,6 Behandlungen pro Saison, dargestellt. Die Behandlungen erfolgen bei Infektionsgefahr bzw. ab Warndiensthinweis. Im Ergebnis zeigt sich ein möglicher Verzicht auf den Einsatz von insgesamt 444,2 t (8,7 kg/ha) an Pflanzenschutzmitteln und 167,4 t (3,07 kg/ha) an fungiziden Wirkstoffen. Die Einsparungen sind bei niedriger Intensität (5 Behandlungen) geringer anzusetzen, bei höherer Intensität (8 Behandlungen) entsprechend höher.

Tab. 36: Mögliche Reduzierung an Fungizidmengen bei Anbau phytophthoraresistenter Kartoffelsorten bei mittlerer Behandlungsintensität

Fungizide (l bzw. kg/ha)	Anwendungshäufigkeit	Ausgebrachte Mengen				
		Präparate t	kg/ha	Wirkstoffe t	kg/ha	
Shirlan	(0,4)					
+ Ranman	(0,2)	2,0	61,2	1,2	28,6	0,56
RidomilGold MZ	(2,0)	1,0	102,0	2,0	34,7	0,68
Acrobat Plus WG	(2,0)	1,3	132,6	2,6	35,6	0,70
Tanos	(0,7)	1,3	46,4	0,9	33,2	0,65
Manex	(2,0)	1,0	102,0	2,0	24,6	0,48
		6,6	444,2	8,7	167,4	3,07

Um Einsparungen an Fungizidmengen in dieser Höhe realisieren zu können müssten jedoch leistungsfähige, phytophthoraresistente Kartoffelsorten für den kommerziellen Anbau zur Verfügung stehen.

10.3 *Fusarium* an Weizen

Fusarium-Sämlings-, -Fuß- und Ährenkrankheiten sind in den Getreideanbaugebieten weit verbreitet. Fußkrankheiten haben vor allem bei Anbau von Weizen nach einer anfälligen Vorfrucht (Mais) zugenommen und können zu beachtlichen Ertragsverlusten führen. Auch Ährenbefall durch *Fusarium*-Arten erlangt bei Weizen immer mehr an Bedeutung und kann in einzelnen Jahren zu Kornverlusten bis zu 20 % und einer erhöhten Belastung des Erntegutes durch Mykotoxine führen. Ursachen sind vor allem ein zunehmender Anteil von Mais als Vorfrucht für Weizen, ein hoher Anteil kurzer Sorten mit erhöhter *Fusarium*-Anfälligkeit und der Verzicht auf den Pflug zur Einarbeitung von Ernterückständen. Alle derzeit zugelassenen Wirkstoffe bringen bei Ährenbefall nur begrenzte Abhilfe. Die Verfügbarkeit entsprechender Präparate oder resistenter Sorten wäre auch zur Minderung der Mykotoxinbelastung hilfreich [13].

Eine gentechnisch veränderte, fusariumresistente Weizensorte, wurde von dem Unternehmen Syngenta entwickelt und bereits in Freisetzungsversuchen getestet (siehe Punkt 2.7.1).

In Bayern wurde im Jahre 2002 auf ca. 465.000 ha Weizen angebaut. Etwa 5 % der Fläche (23.000 ha) werden nach TISCHNER 2003 [150] gegen Ährenbefall durch *Fusarium*-Arten behandelt. Je nach Jahr, Witterung und Lage liegen bei Blatt- und Ährenkrankheiten unterschiedliche Infektionsbedingungen vor, die von der amtlichen Beratung durch entsprechende Empfehlungen berücksichtigt werden. Bei geringem Infektionsdruck wird der Einsatz der Fungizidkombination Pronto Plus (1,5 l/ha) + Bravo (1,0 l/ha), bei höherem Infektionsdruck die Kombination Caramba (1,2 l/ha) + Juwel Top (0,4 l/ha) empfohlen. In Einzelfällen kann auch die Ausbringung von Folicur (1,0 l/ha) oder Caramba (1,5 l/ha) Abhilfe verschaffen. Die Anwendungshäufigkeit ist auf eine Anwendung beschränkt, die Wartezeit beträgt 35 Tage [38].

Auf etwa 13.000 ha wurde der Anwendungstermin für eine Ährenbehandlung vom Zeitpunkt des Ährenschiebens verschoben auf eine Blütenbehandlung. Diese Fläche wird in die Berechnung des möglichen Einsparpotentials nicht miteinbezogen, da die normale Ährenbehandlung nur verschoben wurde, um *Fusarium* mitzuerfassen.

Ein spezifischer Einsatz von Pflanzenschutzmitteln gegen *Fusarium*befall erfolgte im Jahr 2002 auf ca. 10.000 ha. Bei Einsatz fusariumresistenter Weizensorten auf dieser Fläche bestehen die in Tabelle 37 dargestellten Einsparungen für die verschiedenen Fungizidvarianten. Gegeben sind Einsparmöglichkeiten im Gesamtmiteinsatz von 10,0 t (1 kg/ha) in Variante 3 bis zu 25,0 t (2,5 kg/ha) in der am häufigsten angewendeten Variante 1. In der ausgebrachten Wirkstoffmenge sind Einsparungen, je nach Variante, von 0,9 t (Caramba) bis zu 10,8 t (Pronto Plus + Bravo) möglich.

Tab. 37: Mögliche Einsparungen an Fungizidmengen bei Anbau gentechnisch veränderter fusariumresistenter Weizensorten in Bayern auf 10.000 ha

Fungizid-Varianten (Aufwand in l/ha)	Ausgebrachte Mengen			
	Präparate		Wirkstoffe	
	t	kg/ha	t	kg/ha
1) Pronto Plus (1,5) + Bravo (1,0)	25,0	2,5	10,8	1,1
2) Caramba (1,2) + Juwel Top (0,4)	16,0	1,6	2,3	0,2
3) Folicur (1,0)	10,0	1,0	2,5	0,3
4) Caramba (1,5)	15,0	1,5	0,9	0,1

Wird eine Behandlung mit durchschnittlich 45 Euro/ha angesetzt, errechnet sich bei Anbau fusariumresistenter Sorten ein mögliches monetäres Einsparpotential von etwa 450.000 Euro/Jahr.

Die Einführung fusariumresistenter Sorten gewinnt vor allem an Bedeutung durch die in Deutschland geplante Änderung der Mykotoxin-Verordnung. Während momentan kein Grenzwert für Fusariumtoxine existiert, soll künftig ein Grenzwert von 0,5 mg/kg für Speisegetreide eingeführt werden [143]. Ein Mykotoxinnachweis erfordert derzeit aufwendige Laboruntersuchungen und kostet dem Landwirt etwa 130 Euro/Probe. Zuverlässige Schnellmethoden zum Nachweis einer Mykotoxinbelastung des Erntegutes sind noch nicht auf dem Markt. Mit Einführung des Grenzwertes wird sich die Mykotoxinproblematik deutlich verschärfen. Der Landwirt wird bei einer entsprechenden Befallsgefährdung durch Fusarium kein Risiko eingehen und die Flächen behandeln. Eine Erhöhung der behandelten Flächen auf 10 % (46.000 ha) ist dadurch nach TISCHNER 2003 [150] durchaus denkbar.

10.4 Zukunftsperspektiven der Gentechnologie an Kulturpflanzen

Welches Zukunftspotential weltweit bei der Entwicklung gentechnisch veränderter Pflanzen zu erwarten ist und welche gentechnisch veränderten Produkte sich momentan in Forschung und Entwicklung befinden, kann anhand der Anzahl von Freisetzungsversuchen und Zulassungsanträgen ermittelt werden.

In der EU wurden, gerechnet über die Jahre 1990 bis Oktober 2003, 16.314 Freisetzungen ausgeführt, davon 2.714 in Deutschland (BBA, Oktober 2003). Allein in Bayern waren bis Dezember 2003 115 Freisetzungstandorte gemeldet.

Für folgende Pflanzen liegen Zulassungsanträge in der EU vor [31]:

- Maissorten mit Insektenresistenz und Herbizidtoleranz
- Rapssorten mit Herbizidtoleranz und männlicher Sterilität
- Zuckerrüben mit Herbizidtoleranz
- Kartoffeln mit veränderter Stärkezusammensetzung
- Baumwolle mit Insektenresistenz und Herbizidtoleranz
- Chicoree und Radicchio mit Herbizidtoleranz und männlicher Sterilität

In der „Pipeline“ für gentechnisch veränderte Kulturen befinden sich nach einer Studie des Joint Research Centre der EU [31] für die nächsten 5 – 10 Jahre:

- Pilzresistenter Weizen, Raps, Sonnenblumen und Obstbäume
- Virusresistente Zuckerrüben, Kartoffeln, Tomaten, Melonen und Obstbäume
- Herbizidtoleranter Weizen, Reis und Gerste
- Sojabohnen, Mais, Raps und Kartoffeln mit modifizierten Inhaltsstoffen

Während die Vorteile der ersten Generation gentechnisch veränderter Pflanzen vor allem den Züchtungsunternehmen und den Landwirten zugute kommen, der Endverbraucher von den neuen Merkmalen wenig Nutzen, dafür aber mehr Befürchtungen hinsichtlich Risiken und Nebenwirkungen hat, geht es bei der sogenannten „zweiten Generation“ transgener Pflanzen vorwiegend um Merkmale, die auf die Wünsche und Erwartungen der Endverbraucher zielen. Die Pflanzen sollen gesünder und schmackhafter sein, vor Krankheiten schützen oder Arzneimittelwirkstoffe produzieren. Es können Qualitätsziele avisiert werden, die mit konventioneller Züchtung nur bedingt oder begrenzt realisierbar sind. Erwartet wird, dass in Zukunft vermehrt gentechnisch veränderte Pflanzen mit Resistenz gegen abiotische Stressfaktoren (Kälte, Salz, Trockenheit), Sorten mit höheren Erträgen, veränderten Ligningehalten,

Pflanzen für sog. Genfarming (Impfstoffe, Antikörper, Humanproteine) und „functional ingredients“ (Reis, Gemüse) auf den Markt kommen werden.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Ausschaltung von „Allergenen“. Ursachen für Lebensmittelunverträglichkeiten sind meist angeborene oder erworbene Enzymdefekte (Laktose-Intoleranz, Zöliakie, Phenylketonurie). Bei Zöliakie, einer Erkrankung des Dünndarms, wird das Klebereiweiß (Gluten) einheimischer Getreidesorten nicht vertragen. Ein Forschungsverbund verschiedener Universitäten widmet sich seit 3 Jahren der Erforschung der Ausschaltung des Gluteneiweißes mit Hilfe der Gentechnik.

2003 einigte sich der Umwelt- und Agrarministerrat auf die Ausgestaltung der Richtlinien zur Kennzeichnung (Schwellenwerte für GVO in Produkten) und Rückverfolgbarkeit. Bei Anbau gentechnisch veränderter Sorten wird ein anbaubegleitendes Monitoring zu negativen Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt vorgeschrieben. Zu den erforderlichen Messgrößen und Methoden für ein langfristiges Monitoring liegen in Deutschland bisher kaum Erfahrungen vor [107]. Wie sich der Anbau in Deutschland in den nächsten Jahren entwickeln wird, hängt von den politischen Rahmenbedingungen ab. Die EU hat die Frage der Koexistenz und Umwelthaftung an die einzelnen EU-Staaten abgegeben. Konkrete Ausführungsbestimmungen zum Anbau müssen länderspezifisch festgelegt werden, wirksame und kostengünstige Möglichkeiten lokalen Gegebenheiten angepasst werden (EU-Kommissar Franz Fischler). Beim Bundessortenamt liegen 2003 über 20 Anträge auf Zulassung transgener Mais-, Raps- und Zuckerrübensorten vor. Beantragt ist für einen Teil der Anbau in der EU, für einen anderen der Import und die Verarbeitung. Die Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EC [2] beinhaltet u. a. eine strengere Risikoabschätzung, eine auf 10 Jahre begrenzte Zulassung der Sorten und das Verbot des Anbaus von Pflanzen mit Antibiotika-Resistenzgenen [14]. Nach der neuen EU-Richtlinie dürfen ab Januar 2005 keine humanmedizinisch bedeutsamen Antibiotika-Resistenzgene in transgenen Pflanzen, die in Verkehr gebracht werden, vorhanden sein und ab Januar 2009 auch Freisetzungsversuche zur wissenschaftlichen Bearbeitung nur mit GVO's durchgeführt werden, die keine der oben genannten Antibiotika-Resistenzgene enthalten [47].

11.0 Zusammenfassung

Im Jahre 2003 wurden gentechnisch veränderte, landwirtschaftliche Kulturpflanzen weltweit auf 67,7 Millionen Hektar angebaut. Sie umfassen verschiedene Genotypen von Mais, Raps, Baumwolle und Sojabohne, die durch genetischen Merkmalstransfer Resistenz gegen bestimmte Herbizidwirkstoffe aufweisen und/oder die Eigenschaft besitzen, ein Toxin (Bt) gegen gewisse Pflanzenschädlinge zu bilden. Bei Kartoffeln und Zuckerrüben stehen insekten- bzw. herbizidtolerante Sorten zur Verfügung, werden aber bisher nicht oder nur in begrenztem Umfang kommerziell genutzt. Weitgehend im Versuchsstadium befinden sich noch Entwicklungen zur speziellen Pilzresistenz bei Kartoffeln und Weizen.

Als gentechnologisches Ziel wurde im Falle der Herbizidresistenz angestrebt, Wirkstoffe anzuwenden, die ein sehr breites Wirkungsspektrum besitzen, im Boden in kurzer Zeit problemlos abgebaut werden und nur geringe Nebeneffekte zeigen. Die Bildung eines insekten-toxischen Stoffes in der Pflanze richtet sich nur gegen Organismen, die Fraßschäden verursachen. Damit werden Nicht-Ziel-Organismen geschont.

Der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen hat in Regionen mit hohem Befallsdruck durch tierische Schädlinge nachweislich zu einer erheblichen Reduzierung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln geführt. Damit konnte einerseits die Belastung der Umwelt vermindert werden, andererseits ließen sich die Produktionskosten reduzieren und das Ertragspotential absichern.

Im Maisanbau mit Bt-Sorten ergeben sich in den USA durch Hochrechnungen Einsparungen bei Pflanzenschutzwirkstoffen in Höhe von 1.200 t. Analoge Berechnungen für den EU-Raum ergeben bei einer Anwendungsfläche von 448.000 ha eine Einsparung von 52,6 t Wirkstoff und von 13 Mio. Euro (Punkt 4.1.1). Derartige Hochrechnungen sind nur eine Orientierungshilfe, da sich im praktischen Anbau die Standortverhältnisse stark unterscheiden und jährlichen Veränderungen unterliegen. Nachweislich tritt ein wirtschaftlicher Nutzen nur bei hohem Populationsdruck des Maiszünslers und einer entsprechend hohen Schadensminderung auf.

Die höchsten Einsparungen im Insektizidverbrauch wurden durch den Anbau von Bt-Baumwolle erreicht, einer Kulturpflanze, die sehr stark durch Käferarten geschädigt werden kann. Die Reduzierung im Insektizidverbrauch wird für die USA mit 12 %, für Indien bis zu 70 % angegeben. Weltweit werden Einsparungen in Höhe von 21 % geschätzt (Punkt 4.4).

Der Anbau von Kartoffelsorten mit insektiziden Bt-Eigenschaften ohne Virusresistenz hat sich in den USA und Kanada nicht durchgesetzt (Punkt 4.6)

Die Herbizidresistenz gentechnisch veränderter Kulturpflanzen bezieht sich auf die Wirkstoffe Glyphosat bzw. Glufosinat, welche zu einer Zerstörung der oberirdischen Pflanzenorgane führen. Glyphosat besitzt ausserdem durch eine systemische Wirkstoffverlagerung in der Pflanze eine Wirkung auf das Wurzelsystem der Unkräuter. Der Einsatz erfolgt im Nachauflauf mit einer weitgehenden Flexibilität des Anwendungstermines und mit Berücksichtigung des Schadensschwellenkonzeptes. Unter gewissen Bedingungen ist die einmalige Applikation nicht hinreichend, so dass Spritzfolgebehandlungen bzw. spezielle Kombinationen mit bodenwirksamen Herbiziden erforderlich werden. Damit kann der wirtschaftliche Vorteil begrenzt sein. Im Maisanbau der USA wurde nach Angaben des USDA (United States Department of Agriculture) und ERS (Economic Research Service) in den Jahren 1996-1998 keine eindeutige Reduzierung im Herbizidverbrauch bei Anbau resistenter Sorten erkannt. Nach anderen Erhebungen wurde eine leichte Zunahme registriert (Punkt 4.1.2).

Mit der Verwendung herbizidresistenter Rapsorten ließ sich in Kanada und den USA eine bedeutende Minderung der Wirkstoffaufwandmengen erreichen. Nach Erhebungen wird in Kanada für die Jahre 1999 und 2000 von einem Rückgang des Gesamtherbizidverbrauches von 6.000 Tonnen ausgegangen. Bei 100 % Anbau resistenter Sorten würde sich eine Möglichkeit zur Einsparung bis zu annähernd doppelter Höhe ergeben. Nach Angaben aus den USA kann eine Reduzierung des Gesamtherbizidverbrauches von etwa 1 kg pro Hektar und Jahr als realistisch betrachtet werden (Punkt 4.2).

Studien aus den USA sehen durch den Einsatz bereits vorhandener und weiterer Entwicklungen bei gentechnisch veränderten Pflanzen zukünftig weltweit ein mögliches Einsparpotential bei Pflanzenschutzmitteln von 74.000 t an Wirkstoffmengen. Aus dem EU-Bereich liegen Modellrechnungen vor, die von einer derzeit noch unrealistischen Vorstellung ausgehen, dass 50 % der Anbauflächen mit gentechnisch veränderten Sorten von Mais, Raps, Zuckerrübe und Baumwolle bestellt werden. Dabei sind Einsparungen in Höhe von insgesamt 15.000 t an ausgebrachten Produktmengen zu erwarten. Die höchsten Einsparungen (6,9 kg/ha) sind bei Anbau herbizidtoleranter Zuckerrüben gegeben. Neueste Studien aus den USA bestätigen für Europa das hohe Einsparpotential bei Herbiziden in Zuckerrüben. Gegen Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) resistente Kartoffelsorten hätten jedoch bei weitem das höchste Einsparpotential an Wirkstoffmengen (Punkt 4.7).

Die Basis derartiger Betrachtungen ist zur Zeit noch nicht ausreichend. Berechnungen dieser Art dienen höchstens einer groben Orientierung.

Von den weltweit in größerem Ausmaß und mit Erfahrungen angebauten Bt-Genotypen bzw. herbizidresistenten Kulturpflanzen haben in Bayern nur Mais und Raps Bedeutung. Ihr Versuchsanbau hat bestätigt, dass eine gute Wirkung gegen den Maiszünsler gegeben ist, es ließen sich auch gegenüber herkömmlichen Bekämpfungsmaßnahmen höhere Erträge erzielen.

Herbizidresistente Maissorten bewährten sich ebenfalls in Bayern unter Beachtung standortspezifischer Gegebenheiten. „Solo“-Anwendungen der Herbizide überzeugten nicht immer, Tankmischungen mit bodenwirksamen Herbiziden konnten die Wirkungslücken schließen. Splittingbehandlungen und die Anwendung der Mulch- oder Direktsaattechnik bringen Vorteile. Man sollte allerdings bedenken, dass Herbizidanwendungen bei Raps auf bestimmten Teilflächen nicht wirtschaftlich sind (Punkt 6.0).

Es liegen Hochrechnungen über die mögliche Reduzierung des Einsatzes von insektiziden- und herbiziden Wirkstoffen vor, wenn die amerikanischen Anbauverhältnisse bezüglich gentechnisch veränderter Mais (Bt/HR)- und Raps (HR)-Sorten auf Bayern übertragen werden. Danach sind bei Anbau von Bt-Mais auf einer Fläche von 84.429 ha Einsparungen an Insektiziden in Höhe von 63,3 t bzw. 3,2 t an Wirkstoff gegeben. Einsparungen an Herbizidmengen sind bei Anbau von HR-Mais nicht oder nur in geringem Umfang ersichtlich. Bei Raps zeigt die Anwendung des Liberty Link- Systems, im Vergleich zu USA, auf 75 % der Flächen Einsparungsmöglichkeiten in Höhe von 69,0 t an Wirkstoffen. Mögliche weitere Einsparungen bei Einsatz des HR-Systems nach dem Schadensschwellenprinzip werden nicht berücksichtigt.

Kalkulationen über Reduzierungen bei Herbiziden und Insektiziden im Anbau von HR-Zuckerrüben und Bt-Kartoffeln in Bayern liegen vor. Es sind erste Anhaltspunkte über eine zu erwartende Entwicklung, sofern sich in Deutschland der Anbau entsprechender Sorten durchsetzt (Punkt 7.0).

Gleiches gilt für Bestrebungen, die Bekämpfung des Maiswurzelbohrers, von Ährenfusariosen an Weizen oder der Kraut- und Knollenfäule an Kartoffeln mit Hilfe resistenter, gentechnisch erzeugter Sorten durchzuführen (Punkt 10.0).

Danach ergeben sich die in Tabelle 38 zusammengefassten Kalkulationen bzw. Prognosen der Gesamteinsparungen im Pflanzenschutzmitteleinsatz in Bayern:

Tab. 38: Einsparungsmöglichkeiten entsprechend dem GVO-Anbau in USA und zukünftig möglicher bzw. verfügbarer GVO-Technologien

Kultur	Schaderreger bzw. System	Einsparungen	
		Präparate t	Wirkstoffe t
HR-Kulturen			
Mais	Liberty Link	0,0	0,0 - 13,7
	Roundup Ready	0,0	0,0
Raps	Liberty Link	0,0	69,0
	Roundup Ready	0,0	8,9
Zuckerrüben	Liberty Link	20,5 - 168,5	128,8 - 158,4
	Roundup Ready	20,5 - 168,5	57,8 - 111,6
Bt-Kulturen			
Mais	Maiszünsler (<i>Ostrinia nubilalis</i>)	63,3	3,2
	Maiswurzelbohrer (<i>Diabrotica virgifera virgifera</i>)	1.453,0	29,1
Kartoffeln	Kartoffelkäfer (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)	1,9 - 25,8	0,19 - 14,17
Pilzresistente Kulturen			
Kartoffeln	Kraut- und Knollenfäule (<i>Phytophthora infestans</i>)	444,2	167,4
Weizen	Fusarium (<i>Fusarium</i> spp.)	10,0 - 25,0	0,9 - 10,8
Summe über alle Kulturen und Technologien		1.993 - 2.180	268 - 466

Die Wirkstoffe der Komplementärherbizide Glyphosat und Glufosinat werden ökotoxikologisch günstig beurteilt und gelten im Vergleich zu konventionell eingesetzten Herbiziden als weniger umweltbelastend. Dies bestätigt sich in einer vorgenommenen Bewertung verschiedener Herbizide bzw. Herbizidkombinationen hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit bei Mais, Raps und Zuckerrüben. In allen drei Kulturen werden die Anwendungen der Komplementärherbizide Liberty bzw. Roundup, im Vergleich zu konventionell eingesetzten Herbiziden, in der Umweltverträglichkeit besser beurteilt. Das ökotoxikologische Potential verschlechtert sich jedoch durch Kombination mit einem Bodenherbizid entsprechend dem ökotoxikologischen Potential des Mischpartners. Die Ergebnisse stimmen weitgehend mit Studien überein, die zu Auswirkungen des Anbaus herbizidtoleranter Kulturen auf Flora, Fauna und Grundwasserbelastung durchgeführt wurden (Punkt 9.1).

Verschiedene Studien zur Toxizität der Bt-Proteine und dem Einfluss von Bt-Mais auf Nichtzielorganismen ergaben keine Hinweise auf größere Risiken. Resistente Schädlinge konnten bisher nicht nachgewiesen werden, obwohl in den USA seit acht Jahren großflächig gentechnisch veränderte Mais- und Baumwollpflanzen angebaut werden (Punkt 9.2)

Literaturverzeichnis

- [1] Chassy, B. 2002: Food Safety Evaluation of Crops Produced through Biotechnology, Journal of the American College of Nutrition, Vol. 21, No. 90003, 166 - 173
- [2] Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council, Official Journal of the European Communities, (12 March), 2001
- [3] Institut für Demoskopie Allensbach 2001: Verändertes Meinungsklima gegenüber der Gentechnologie, Allensbacher Archiv, IfD-Umfrage 7012
- [4] Gaskell, G., Allum, N. and S. Stares 2003: Europeans and Biotechnology in 2002, Eurobarometer 58.0, A report to the EC Directorate General for Research
- [5] Transgen Datenbank-Mais, <http://www.transgen.de>
- [6] Behle, R.W., McGuire M.R. and B.R. Shasha 1997: Effects of sunlight and simulated rain on residual activity of *Bacillus thuringiensis* formulations, Journal of Economic Entomology 90(60), 1560 – 1566
- [7] Transgen Datenbank-Kartoffel, <http://www.transgen.de>
- [8] Perkow, W. und H. Ploss 1996: Wirksubstanzen der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel, 3. Auflage, Parey Verlag, Berlin
- [10] James, C. 2003: Global Status of Commercialized Transgenic Crops, Preview, ISAAA Briefs No. 30, www.isaaa.org
- [11] Genetisches Konstrukt des KP4-Weizens, Versuchsdesign und Zielsetzung, Verfahrensablauf, <http://www.umweltschweiz.ch/imperia/md/content/buwal-content/folder/01-11-20gentech/5.pdf>
- [12] Syngenta Agro GmbH, Am Technologiepark 1-5, 63477 Maintal, <http://www.syngenta-agro.de>
- [13] Hoffmann, G.M. und H. Schmutterer 1999: Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen, Verlag Eugen Ulmer
- [14] Wulff, Claudia 2001: Das Parlament, Nr. 11, (09. März)
- [15] EPA (Environmental Protection Agency) 2000: Bt Biopesticides Registration Action Document, 283 Seiten, (www.epa.gov/scipoly/sap.)
- [16] bioSicherheit 2003: Zulassungen, aber noch kein Anbau, www.biosicherheit.de

- [17] Fried, P.M., Barben, H., Keller, S., Müller, M. D., Winzeler, H., Winzeler, M. and P., Weisskopf 1993: Experts Report on application possibilities of biotechnology to increase disease and pest resistance of important swiss crop plants. Bern, Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, www.bats.ch/publications/report1-99/Kap6-8.pdf
- [18] TransGen, Nachrichten International 2003, 2. Halbjahr, (30. September), www.transgen.de
- [19] Gianessi, L. P. and Cressida S., Silvers 2001: The Potential for Biotechnology to Improve Crop Pest Mangement in the US, National Center for Food and Agricultural Policy (NCFAP), www.ncfap.org
- [20] Catangui, M. A. and R. K., Berg 2002: Comparison of *Bacillus thuringiensis* Corn Hybrids and Insecticide-Treatet Isolines Exposed to Bivoltine European Corn Borer in South Dakota, *Journal of Economic Entomology*, 95 (1), 155 - 166
- [21] Agra Food Biotech 2001: Two for one resistance in potatoes, Agra Europe, London, No. 66, 21
- [22] Bellvora, A., Ercolano, Maria R., Weiß, Julia, Meksem, K., Bormann, Christina A., Oberhagemann, Petra, Salamini, F. and Christiane, Gebhardt 2002: the R1 gene for potato resistance to late blight belongs to the leucine zipper/NBS/NRR class of plant resistance genes, *Blackwell Science Ltd., the Plant Journal*, 30, 361 - 371
- [23] Saxena, D. and G., Stotzky 2001: Bt Corn has higher lignin content than non-Bt-Corn, *American Journal of Botany* 88 (9), 1704 - 1706
- [24] Magg, T., Melchinger, A.E., Klein, D. and M., Bohn 2002: Relationship between European corn borer resistance and concentration of mycotoxins produced by *Fusarium* spp. in grains of transgenic Bt maize hybrids, their isogenic counterparts, and commercial varieties, *Plant Breeding* 121, 146 - 154
- [25] TransGen 2003: Gentechnisch veränderter Weizen, (28. Januar), www.transgen.de
- [26] Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie 2003: Gentechnik Nachrichten 38, www.oeko-institut.org/bereiche/gentech/newslet/index.html
- [27] Gianessi, L. P. and Janet E., Carpenter 1999: Agricultural Biotechnology: Insect Control Benefits, National Center for Food and Agricultural Policy (NCFAP), www.ncfap.org
- [28] Öko-Institut e.V., Institut für angewandte Ökologie 2003: Gentechnik Nachrichten 40, 3, www.oeko-institut.org/bereiche/gentech/newslet/index.html
- [29] Gianessi, L. P., Silvers, Cressida S., Sankula, S. and Janet E., Carpenter 2002: Current and Potential Impact For Improving Pest Management in U.S. Agri-

- culture, An Analysis of 40 Case Studies, National Center for Food and Agricultural Policy (NCFAP), www.ncfap.org
- [30] Phipps, R. H. and J. R., Park 2002: Environmental benefits of genetically modified crops: Global and European perspectives on their ability to reduce pesticide use, *Journal of Animal and Feed Sciences*, 11, 1 - 18
- [31] Lheureux, Karine, Libeau-Dulos, Monique, Nilsagard, H., Cevezo, E. R., Menrad, K., Menrad Martina und D. Vorgrimler 2003: Review of GMOs under Research and Development and in the pipeline in Europe, *European Science and Technology Observatory*, (March), 1 – 127
- [32] Brookes, G. 2002: the farm level impact of using Bt maize in Spain, Brookes West, jasmine house, Canterbury Rd, Elham, Canterbury, Kent, UK, CT4 6UE, www.europabio.org/upload/documents/gb_press_release/
- [33] Ammann, D. 2002: Fachtagung: Was ist Sache in der Grünen Gentechnik, Bad Neuenahr, (19./20 April), www.verbraucherministerium.de/presse-woche-2002/PM-108-2002
- [34] Quaim, M. and D., Zilbermann 2003: Yield effects of genetically modified crops in developing countries, *Science*, 299, 900 - 902
- [35] Araji, A.A. and J., Guenther 2002: Genetically Modified (GM) Foods: Consumers' and Producers' Perceptions And The Economic-Environmental Benefits, Department of Agricultural Economics and Rural Sociology, University of Idaho, Moscow, Idaho 83844-2334, A.E. Research Series No. 02-03
- [36] Baute, Tracey S., Sears, M. K. and A. W., Schaafsma 2002: Use of Transgenic *Bacillus thuringiensis* Berliner Corn Hybrids to Determine the Direct Economic Impact of the European Corn Borer on Field Corn in Eastern Canada *Journal of Economic Entomology*, 95 (1), 57 - 64
- [37] Romahn, J. 1999: Biotechnology Cuts Into Profit Margins, *Manitoba Cooperator*, 14 p.1, Winnipeg
- [38] Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit 2003: Pflanzenschutzmittelverzeichnis Teil 1, 51. Auflage 2003, ISSN 0178-059X
- [39] Canola Council of Canada 2001: an Agronomic and Economic Assessment of Transgenic Canola, 1 – 57, www.canola-council.org/index.shtml
- [40] Hugger, H. 1998: Was ist von transgenen Maissorten zu erwarten, *mais*, 26. Jg., (3), 112 – 113
- [41] Canola Council of Canada 2001: Impact of Transgenic Canola on Growers, Industry and Invironment, www.canola-council.org/manual/GMO/gmo_main.htm

- [42] Huang, J., Hu, R., Pray, C., Fangbin, Q. and S., Rozelle 2001: Biotechnology as an Alternative to Chemical Pesticides: A Case Study of Bt Cotton in China, *Agricultural Economics*, (March), 1 - 35
- [43] Monsanto 2001: Plant Biotechnology 2001- the year in review, www.monsanto.com
- [44] Benbrook, Ch. M. 2001: Surprising Variability in Bt and Conventional Corn Yields, *Ag BioTech InfoNet*, (November), www.biotech-info.net/
- [45] Carpenter, Janet E. 2001: Case Studies in Benefits and Risks of Agricultural Biotechnology: Roundup Ready Soybeans an Bt Field Corn, National Center for Food and Agricultural Policy, (NCFAP), www.ncfap.org
- [46] Carpenter, Janet E. and L. P., Gianessi 2001: Agricultural Biotechnology: Updated Benefit Estimates, National Center for Food and Agricultural Policy (NCFAP), www.ncfap.org
- [47] Beck, A., Brauner, Ruth, Hermanowski, R., Mäder, R., Meier, Julia, Nowack, Karin, Tappeser, Beatrix und K.-P., Wilbois 2002: Bleibt in Deutschland bei zunehmendem Einsatz der Gentechnik in Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion die Wahlfreiheit auf GVO-unbelastete Nahrung erhalten? Forschungsinstitut für biologischen Landbau Berlin e.V., Öko-Institut e.V., Studie im Auftrag des BUND, 96 Seiten, www.bund.net/lab/reddot2/pdf/bundst_gentechnik.pdf
- [48] USDA 2000: Genetically Engineered Crops: Has Adoption Reduced Pesticide Use?, Economic Research Service, No. 786, www.usda.gov/
- [49] Fernandez-Cornejo, J., and W. D., McBride 2000: Genetically Engineered Crops for Pest Management in U.S. Agriculture, Farm-Level Effects, *Agricultural Economic Report No. 786*, www.ers.usda.gov/publications/aer786/aer786.pdf
- [50] Fernandez-Cornejo, J. and W. D., McBride 2002: Adoption of Bioengineered Crops, *Agricultural Economic Report No. 810*, www.ers.usda.gov/publications/aer810/aer810.pdf
- [51] Carpenter, Janet E. and L. P., Gianessi, 2000: Agricultural Biotechnology: Benefits of Transgenic Soybeans, National Center for Food and Agricultural Policy, (NCFAP), www.ncfap.org
- [52] ASA 2003 (American Soybean Association), Conservation Tillage Study, www.soygrowers.com/ctstudy/ctstudy_files/frame.htm
- [53] Hin, C.J.A., Schenkelaars, P. and G. A., Pak 2001: Agronomic and environmental impacts of the commercial cultivation of glyphosate tolerant soybean in the USA, *CLM (Centre for Agriculture and Environment)*, (June), www.clm.nl/pdf/496.pdf

- [54] Benbrook, Ch. M. 1999: Evidence of the Magnitude and Consequences of the Roundup Ready Soybean Yield Drag from University, AgBioTech InfoNet Technical Paper, No. 1, (13. July), www.biotech-info.net/
- [55] Benbrook, Ch. M. 2001: Factors Shaping Trends in Corn Herbicide Use, Ag BioTech InfoNet, Technical Paper, No. 5, (23. July), www.biotech-info.net/corn_reduct.html
- [56] Gianessi, L., Sankula, Sujatha and N., Reigner 2003: Potential Impact for Improving Pest Management in European Agriculture – Sugarbeet Case Study, National Center for Food and Agricultural Policy, (NCFAP), www.ncfap.org
- [57] Gianessi, L., Sankula, Sujatha and N., Reigner 2003: Potential Impact for Improving Pest Management in European Agriculture – Maize Case Study, National Center for Food and Agricultural Policy, (NCFAP), www.ncfap.org
- [58] Gianessi, L., Sankula, Sujatha and N., Reigner 2003: Potential Impact for Improving Pest Management in European Agriculture – Potato Case Study, National Center for Food and Agricultural Policy, (NCFAP), www.ncfap.org
- [59] Gianessi, L., Sankula, Sujatha and N., Reigner 2003: Potential Impact for Improving Pest Management in European Agriculture – a Summary of three Case Studies, National Center for Food and Agricultural Policy, (NCFAP), www.ncfap.org
- [60] May, M. J. 2003: Economic Consequences for UK farmers of growing GM herbicide tolerant sugar beet, *Association of Applied Biologists*, 142, 41-48
- [61] Farm (the independent voice of farmers), Analysis and Critique of Broom Barn's Research Station research report: Economic consequences for UK farmers of growing GM herbicide tolerant sugar beet, www.warmwell.com/broom.pdf
- [62] Harms, H., Stelling, D. und H., Beestermöller 1998: Unkrautbekämpfung in herbizidtoleranten Kulturpflanzen – Aktueller Stand des Projektes Liberty Link in Deutschland, *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI*, 373 - 378
- [63] Werner, B. und V., Garbe 1998: Bedeutung der Unkrautverteilung im Winteraps für eine gezielte Bekämpfung nach Schadensschwellen, *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft, XVI*, 279 – 288
- [64] Senior, I. J. und P. J., Dale 2002: Herbicide-tolerant crops in agriculture: oil-seed rape as a case study, *Plant Breeding* 121, 97 – 107
- [65] Gehring, K. 2000: Unkrautregulierung in herbizidresistentem Winterraps mit Glufosinat-Ammonium, *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, 52. Deutsche Pflanzenschutztagung, Heft 376, 156 - 157

- [66] Mehrtens, J. und K., Hurlle 2003: Unkräuter in Mais, mais, Jg. 31, (3), 106 – 107
- [67] Goldhofer, H. und Angela, Dunst 2003: Anbau im Frühjahr 2003: der Sommerraps als interessante Alternative?, Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) - Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrar-informatik (Agrarökonomie), www.stmlf.bayern.de/lb/sg_31/sommerraps.html
- [68] Papst, Christine und J., Eder 2000: Der Maiszünsler - Schadpotenzial und Sortenreaktionen, SUB, 8/00, 4 - 6
- [69] Janinhoff, A. 2003: Entwicklung des Maisanbaues in Deutschland, mais, Jg. 31, (3), 110 – 111
- [70] Bayerischer Agrarbericht 2002: Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, www.stmlf.bayern.de
- [71] Stark, G., Dunst, Angela und J., Reisenweber 2002: Marktfruchtbericht Bayern, Bayerische Landesanstalt für Betriebswirtschaft und Agrarstruktur, Heft 26, 7. Auflage, (Oktober)
- [72] Zellner, M. 1999: Weit besser als Insektizide, DLG-Mitteilungen 5/99, 50 - 55
- [73] Proff, D. 2003: Befall mit Maiszünsler steigt wieder, BLW, 23, 20 - 21
- [74] Bliffeld, M., Mundy, J., Potrykus, I. and J., Fütterer 1999: Genetic engineering of wheat for increased resistance to powdery mildew disease, Theoretical and Applied Genetics, 98, 1079 - 1086
- [75] Zellner, M. 1999: Die Wirkung von transgenem zünslerresistentem Mais gegen den Maiszünsler, Versuche mit gentechnisch veränderten Maissorten, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 3. Jg., 19 - 23
- [76] Clausen, M. and R., Kräuter 2000: Antifungal activity of a virally encoded gene in transgenic wheat, Nature Biotechnology 18, 446 - 449
- [77] Jiang, J. 2003: Scientists find gene that protects against potato blight, University of Wisconsin-Madison, www.eurekalert.org/pub_releases/2003-07/uow-sfg071103.php
- [78] Teilverbot von Glyphosat 2003: Ernährungsdienst Nr. 45, 2 (14. Juni)
- [79] Votum für Grüne Gentechnik 2003: Ernährungsdienst Nr. 44, 2 (7. Juni)
- [80] Schütte, Gesine, Stirn, Susanne und V., Beusmann 2001: Transgene Nutzpflanzen, Birkhäuser Verlag
- [81] Messéan, A. 1997: Management of herbicide tolerant crops in Europe, Brighton Crop Protection Conference, Weeds 3, 947 - 954

- [82] Tatje, A. 2003: Neue Sorten mit wenig GSL, Ernährungsdienst, Nr. 47, 12
- [83] Votum gegen Markteinführung von GV-Weizen in Kanada 2003: Ernährungsdienst, Nr. 50, 2
- [84] Powles, S. B., Lorraine-Colwill, D. F., Dellow, J. J. and C., Preston 1998: Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia, Weed Science 46, 604 - 607
- [85] Rasche, E. and M., Gadsby 1997: Glufosinate ammonium tolerant crops – international commercial developments and experiences, Brighton Crop Protection Conference, Weeds 3, 941 - 946
- [86] Gehring, K. 1999: Unkrautbekämpfung mit Glufosinatammonium (Liberty) in gentechnisch herbizidresistentem Mais – erste Versuchserfahrungen, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 04/99, 13 - 17
- [87] Baufeld, P. 2003: Bohrer mit verheerender Schadwirkung, dlz, Pflanzenbau, (04), 40 – 45
- [88] Berger, H. K. und P. C., Cate 2002: Der Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) nun auch in Österreich, Pflanzenschutz, (3), 1 – 3
- [89] bioSicherheit 2003: Pilzresistente Weinreben: Pilzresistente Weinreben, www.biosicherheit.de
- [90] bioSicherheit 2003: Wenn Regenwürmer Bt-Mais fressen, www.biosicherheit.de
- [91] TransGen 2003: Mit Gentechnik gegen Pilzbefall, www.transgen.de
- [92] TransGen 2003: Baumwolle, www.transgen.de
- [93] TransGen 2003: Weintraube, www.transgen.de
- [94] Bohn, M., Krepes, R., Klein, D. und A. E., Melchinger 1998: Wann lohnt die Zünslerbekämpfung? mais, 26. Jg. (4), 150 – 152
- [95] Gehring, K. 2003: Unkrautbekämpfung im Maisanbau - Unkrautspektrum, (April), www.lfl.bayern.de
- [96] Gehring, K. 2003: Unkrautbekämpfung im Maisanbau - Standortfaktoren für den Herbizideinsatz, (April), www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft
- [97] Gehring, K. 2003: Unkrautbekämpfung im Maisanbau - Tankmischungen, (April), www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft

- [98] Gehring, K. 2003: Unkrautbekämpfung im Maisanbau - Sonderanwendungen, (April), www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft
- [99] Schaafsma, A.W., Baufeld, P. und C. R., Ellis 1999: Influence of cropping practices on corn rootworm in Canada as a basis for assessment of the potential impact of *Diabrotica virgifera* in Germany, Bulletin EPPO 29, 145 - 154,
- [100] Baufeld, P. 2002: Maßnahmenpaket gegen den Westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) in Deutschland, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Braunschweig und Kleinmachnow, E-Mail: p.baufeld@bba.de
- [101] Enzian, S. und P., Baufeld, BBA, Institut für Folgenabschätzung im Pflanzenschutz, www.bba.de/inst/fp/a_002.h
- [102] AGRO-NEWS 2003: Monsanto erhält in den USA die Zulassung für Maiswurzelbohrer-resistenten Mais, Pflanzenschutz, 01, 2003
- [103] Monsanto 2003: Hintergrundinformationen zum Maiswurzelbohrer, Monsanto Agrar Deutschland GmbH, Vogelsanger Weg 91, 40470 Düsseldorf
- [104] defra (Department for Environment Food and Rural Affairs), *Diabrotica virgifera* finding (Mitteilung vom 03.09.03), Plant Health Policy Unit, Room 343, Foss House, King's Pool, 1-2 Peasholme Green, York, U.K. YO1 7PX, www.defra.gov.uk/
- [105] Praxisanbau von LibertyLink-Mais in Deutschland. Erfahrungsbericht 2000. Aventis Crop Science Deutschland GmbH.
- [106] Petersen, J. und K., Hurlle 1998: Einführung von herbizidresistenten Sorten: Konsequenzen für die Unkrautbekämpfung, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten Pflanzenschutz, Sonderheft XVI, 365 - 372
- [107] Wilhelm, R., Beißner, L. und J., Schiemann 2003: Folgt dem Moratorium ein Monitoring? mais, 31. Jg., (3), 108 – 109
- [108] Degenhardt, H., Horstmann, F. und N., Mülleder 2003: Bt-Mais in Deutschland; Erfahrungen mit dem Praxisanbau von 1998 bis 2002, mais, 31. Jg., (2), 75 – 77
- [109] Bakan, B., Melcion, D., Richard-Molard, D. and B., Cahagnier 2002: Fungal Growth and Fusarium Mycotoxin Content in Isogenic Traditional Maize and Genetically Modified Maize Grown in France and Spain, Journal of Agricultural Food Chemistry, 50, 728 – 731
- [110] Masoero, F. 1999: Nutritive Value, Mycotoxin Contamination and in Vitro Rumen Fermentation of Normal and Genetically Modified Corn (CRY1A(B)) Grown in Northern Italy, Maydica, 44, 205 – 209

- [111] Valenta, Hana, Dänicke, S., Glachowsky, G. und T., Böhme 2000: Vergleichende Untersuchung zu Deoxynivalenol- und Zearalenon-Gehalten in Körnern von gentechnisch verändertem (Bt-Mais) und herkömmlichen Mais, FAL, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig, Institut für Tierernährung
- [112] Coyette, B., Tencalla, F., Brants, I., Fichet, Y. and D., Rouchouze 2002: Effect of Introducing Glyphosate-Tolerant Sugar Beet on Pesticide Usage in Europe, Pesticide Outlook, 219 - 223, (Oktober)
- [113] Martin, M. A. and J., Hyde 2001: Economic Considerations for the Adoption of Transgenic Crops: The Case of Bt Corn, Journal of Nematology, 33 (4), 173 - 177
- [114] Lew, H., Adler, A., Edinger, W., Brodacz, W., Kiendler, E. und J., Hinterholzer 2001: Fusarien und ihre Toxine bei Mais in Österreich, Die Bodenkultur, 52, (3), 199 – 207
- [115] Gehring, K. 2002: www.versuchsberichte.de
- [116] Gehring, K. 2003: Unkrautbekämpfung in Winterraps – Allgemeines, www.lfl-bayern.de
- [117] Gehring, K. 2003: Unkrautbekämpfung in Winterraps – RAPUS Schadensschwellenmodell, www.lfl-bayern.de
- [118] Werner, B. und R., Heitefuß 1997: Möglichkeiten der überregionalen Anwendung des Göttinger Schadensschwellenmodells zur gezielten Unkrautbekämpfung im Winterraps, Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, 49 (8), 191 – 200
- [119] Platte, H., Märländer, B., Niemann, M., Beißner, G., Büttner, G., Ladewig, E., Schäufele, W.R. und A., Wellmann 1998: Unkrautbekämpfung in gentechnisch veränderten herbizidtoleranten Zuckerrüben – ein zukunftsweisender Weg? Zuckerindustrie 123, Nr. 9, 723 – 729
- [120] Bückmann, H., Petersen, J., Schlinker, G. and B., Märländer 2000: Weed control in genetically modified sugar beet – two year experiences of a field trial series in Germany. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII, 353 – 362
- [121] Petersen, J. 2001: Versuche mit herbizidtoleranten Zuckerrüben. Zuckerrübe, 50. Jg. (1), 39 – 41
- [122] Hock, B., Fedtke, K. und R. R., Schmidt 1995: Herbizide – Entwicklung, Anwendung, Wirkungen, Nebenwirkungen. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York
- [123] Bringing New Technologies to Wheat; Information on the Development of Roundup Ready Wheat; Monsanto Company, 2003

- [124] Mülleder, N. 2003: Monsanto Agrar Deutschland GmbH, Vogelsanger Weg 91, 40470 Düsseldorf
- [125] Gehring, K. 2003: Unkrautbekämpfung in herbizidresistenten Maissorten, Überprüfung von Aufwandmengen, Anwendungsterminen und Mittelkombinationen, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), E-Mail: klaus.gehring@lfl.bayern.de
- [126] Gehring, K. 2003: Mehrfaktorielle Bewertung von Herbizidbehandlungen in Mais, DMK-Tagung, E-Mail: Klaus.Gehring@LfL.bayern.de
- [127] Aventis CropScience, Die Mittel nach Leistungszahl auswählen, Sonderdruck aus top agrar (2), 2001
- [128] Stelling, D., Schulte, M. und A., Amann 2000: Strategien der Unkrautbekämpfung mit Liberty in LibertyLink Mais, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 376, 154
- [129] Fox, J. L. 2003: Resistance to Bt toxin surprisingly absent from pests, Nature Biotechnology, Vol. 21, Nr. 9
- [130] Maiswurzelbohrer, Käferalarm nun auch in Deutschland, <http://www.biosicherheit.de/aktuell/232.doku.html>
- [131] Elmegaard, N. und M. B., Pedersen 2001: Flora and Fauna in Roundup Tolerant Fodder Beet Fields, Ministry of Environment and Energy National Environmental Research Institute, NERI Technical Report, No. 349
- [132] Dewar, A. M., Haylock, Lisa A., Bean, Kathy M. and M. J., May 2000: Delayed control of weeds in glyphosate-tolerant sugar beet and the consequences on aphid infestation and yield, Society of Chemical Industry, Pest Manage. Sci., 56, 345 - 350
- [133] Pallutt, B. und B., Hommel 1998: Untersuchungen zur Bewertung von transgenem Glufosinat-tolerantem Raps und Mais für den integrierten Pflanzenschutz – Konzeption und zweijährige Ergebnisse, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt, Heft 357, 125
- [134] Felke, M. 2000: Laboruntersuchungen zur Schädigung von Raupen dreier Schmetterlingsarten durch die Aufnahme von transgenem Maispollen, Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt, Heft 376, 154
- [135] Felke, M. 2003: Langenbruch, G.A., Wirkung von Bt-Mais-Pollen auf Raupen des Tagpfauenauges im Laborversuch, Gesunde Pflanzen, 55. Jg., 1 - 7
- [136] Bayer CropScience – Liberty – nach dem Vorbild der Natur, http://www.bayer-cropscience.de/de/bs/liberty_link/liberty/
- [137] Hommel, B. und B., Pallutt 2000: Bewertung der Herbizidresistenz für den integrierten Pflanzenschutz im System einer 4-feldrigen Fruchtfolge mit Glu-

- fosinat-resistentem Raps und Mais, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII, 411 – 420
- [138] Gutsche, V. und D., Rossberg 1997: Die Anwendung des Modells SYNOPS 1.2 zur synoptischen Bewertung des Risikopotentials von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffgruppen für den Naturhaushalt, Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes, 49 (11), 273 – 285
- [139] Fent, K. 2003: Ökotoxikologie, Umweltchemie-Toxikologie-Ökologie, 2. Auflage, Stuttgart, New York: Thieme, 332 Seiten
- [140] defra 2003: Farm Scale Evaluation Results, Department for Environment, Food and Rural Affairs, Nobel House, 17 Smith Square, London, SW1P 3JR, www.defra.gov.uk/
- [141] Pflanzenschutzgesetz 2000: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF), 53107 Bonn
- [142] Gehring, K. und G., Bauer 2000: Gesamtbewertung von Herbizidmaßnahmen bei Bekämpfung von Klettenlabkraut (*Galium aparine L.*) in Wintergetreide, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII, 259 – 264
- [143] Bartels, M. 2002: Fungizideinsatz im Weizen, Mit richtigen Strategien die Kosten begrenzen, top Pflanzenschutz, top agrar, (1), 88 – 95
- [144] Schütte, Gesine 2001: Herbizidresistenz: Mögliche direkte und indirekte Auswirkungen auf den Naturhaushalt und Rahmenbedingungen einer umweltfreundlicheren Landwirtschaft, BIOGUM der Universität Hamburg, E-Mail: g.schuette@botanik.uni-hamburg.de
- [145] Tenning, P. 1998: Transgenic herbicide tolerant sugar beet-present status and future developments, Aspects of Applied Biology 52, 273 – 278
- [146] Franz, J. E., Mao, M. K. and J. A., Sikovski 1997: Glyphosate: A Unique Global Herbicide, American Chemical Society, Washington, DC, ACS Monograph 189
- [147] Schuphan, J. und D., Bartsch 2001: Einfluss gentechnisch erzeugter Virusresistenz auf das ökologische Verhalten von Kultur- / Wildrübenhybriden; Forschungsprojekt im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Forschung und Technologie (BMBF), Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Lehrstuhl für Biologie, Ökologie, Ökotoxikologie, Ökochemie, www.vwth-achen.de/bio5/WW/i_arbeitsgruppen/ba_homepage/ba_homepage.html
- [148] Gehring, K. 2003: Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 85354 Freising, E-Mail: Klaus.Gehring@LfL.bayern.de
- [149] Zellner, M. 2003: Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 85354 Freising, E-Mail: Michael.Zellner@LfL.bayern.de

- [150] Tischner, H. 2003: Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 85354 Freising, E-Mail: Helmut.Tischner@LfL.bayern.de
- [151] China setzt auf die Grüne Gentechnik, www.transgen.de
- [152] Corn Root worm Management with YieldGard® 2003: Rootworm Corn, Monsanto Company, www.monsanto.com, Produktinformation 412-03-027
- [153] Monsanto: Biotechnologie 2003: www.monsanto.de, [biotechnologie / biotechnologie.php](http://www.monsanto.de/biotechnologie/biotechnologie.php)
- [154] Gentechnik Nachrichten 31 2002: www.oekoinstitut.org/bereiche/gentech/newslet/index.html
- [155] Schütte, Gesine, Heidenreich, B. und V., Beusmann 2001: Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA, Die Diskussion von Versuchsergebnissen und Szenarien zur Biosicherheit, Umweltbundesamt, BIOGUM, Institut für Allgemeine Botanik, Ohnhorststrasse 18, 22609 Hamburg, E-Mail: g.schuette@botanik.uni-hamburg.de
- [156] Ludy, C., Lang, A. und M., Meissle 2003: Monitoring von Bt-Mais und Effekte auf Nützlingspopulationen am Beispiel von Spinnen, *Phytomedizin*, 33. Jg., Nr. 1, S. 30
- [157] Effekte von Bt-Mais auf blütenbesuchende Insekten und räuberische Spinnen, (2001 – 2004), Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL); Institut für Pflanzenschutz, Freising, www.biosicherheit.de/projekte/16.proj.html
- [158] Zimmermann, O., Zhang, G. R. und S. A., Hassan 2003: Risiko- und Sicherheitsforschung zum Anbau von Bt-Mais: Untersuchung der Nebenwirkungen von transgenem Mais auf Trichogramma-Schlupfwespen, *Phytomedizin*, 33. Jg., Nr. 1, S. 39
- [159] Rossberg, D., Gutsche, V., Enzian, Z. und M., Wick 2002: NEPTUN 2000 – Erhebungen von Daten zum tatsächlichen Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel im Ackerbau Deutschlands, BBA Braunschweig, Institut für Folgeabschätzung im Pflanzenschutz, Berichte Heft 98
- [160] Petersen, J., Koch, S. und K., Hurlle 2002: Weiterentwicklung von Mais- und Zuckerrübenmulchsaatsystemen mit der Hilfe von herbizidresistenten Sorten, *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, Sonderheft XVIII, 561 – 571
- [161] Garbe, V., Sauermann, W., Bötger, H., Broschewitz, B., Augustin, B., Stelling, D., Gleser, H.-J. und K. Gehring 2000: Einsatzmöglichkeiten von Unkrautschadensschwelen in transgenem herbizidtoleranten Winterraps, *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, 52. Deutsche Pflanzenschutztagung, Heft 376, 155 – 156

Anlagen

Anlage 1: Global Status of Biotech Crops in 2003

Anlage 2: Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen 2003 – Überblick weltweit

Anlage 3: Entwicklung des Maiszünslerbefalls in Bayern

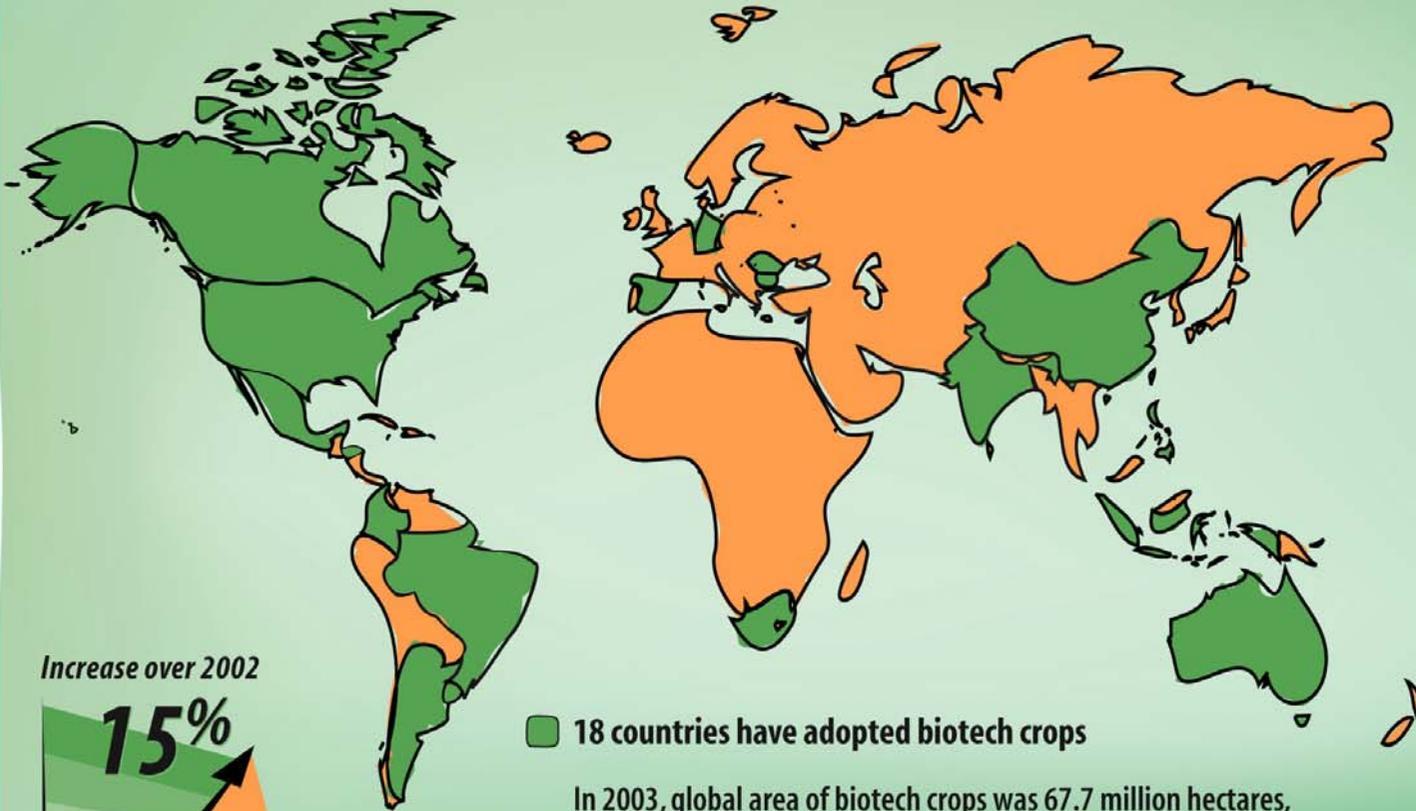
Anlage 4: Maiszünslerbekämpfung in Bayern 2000

Anlage 5: Umweltverträglichkeit bei Mais – Herbiziden

Anlage 6: Umweltverträglichkeit bei Raps – Herbiziden

Anlage 7: Umweltverträglichkeit bei Zuckerrüben – Herbiziden

Global Status of Biotech Crops in 2003



50,000 hectares or more

USA:	42.8 million
Argentina:	13.9 million
Canada:	4.4 million
Brazil:	3.0 million
China:	2.8 million
South Africa:	0.4 million
Australia:	0.10 million
India:	0.10 million
Romania:	<0.10 million
Uruguay:	<0.10 million

50,000 hectares or less

Spain	Bulgaria
Mexico	Honduras
Philippines	Germany
Colombia	Indonesia

Increase over 2002



In 2003, global area of biotech crops was 67.7 million hectares, representing an increase of 15% hectares over 2002.

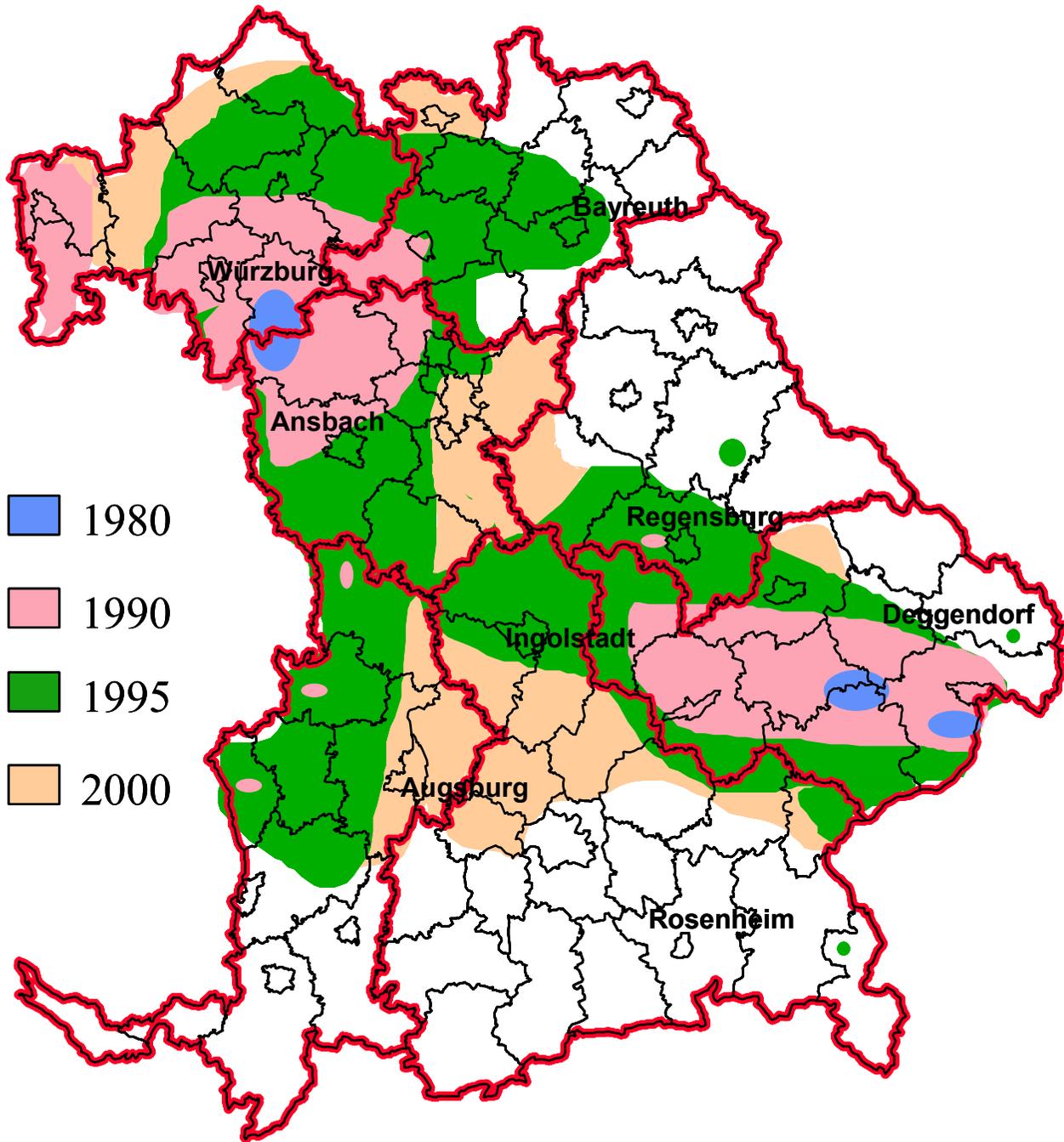
Source: Clive James, 2003, International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications

Anlage 2: Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen 2003 - Überblick weltweit

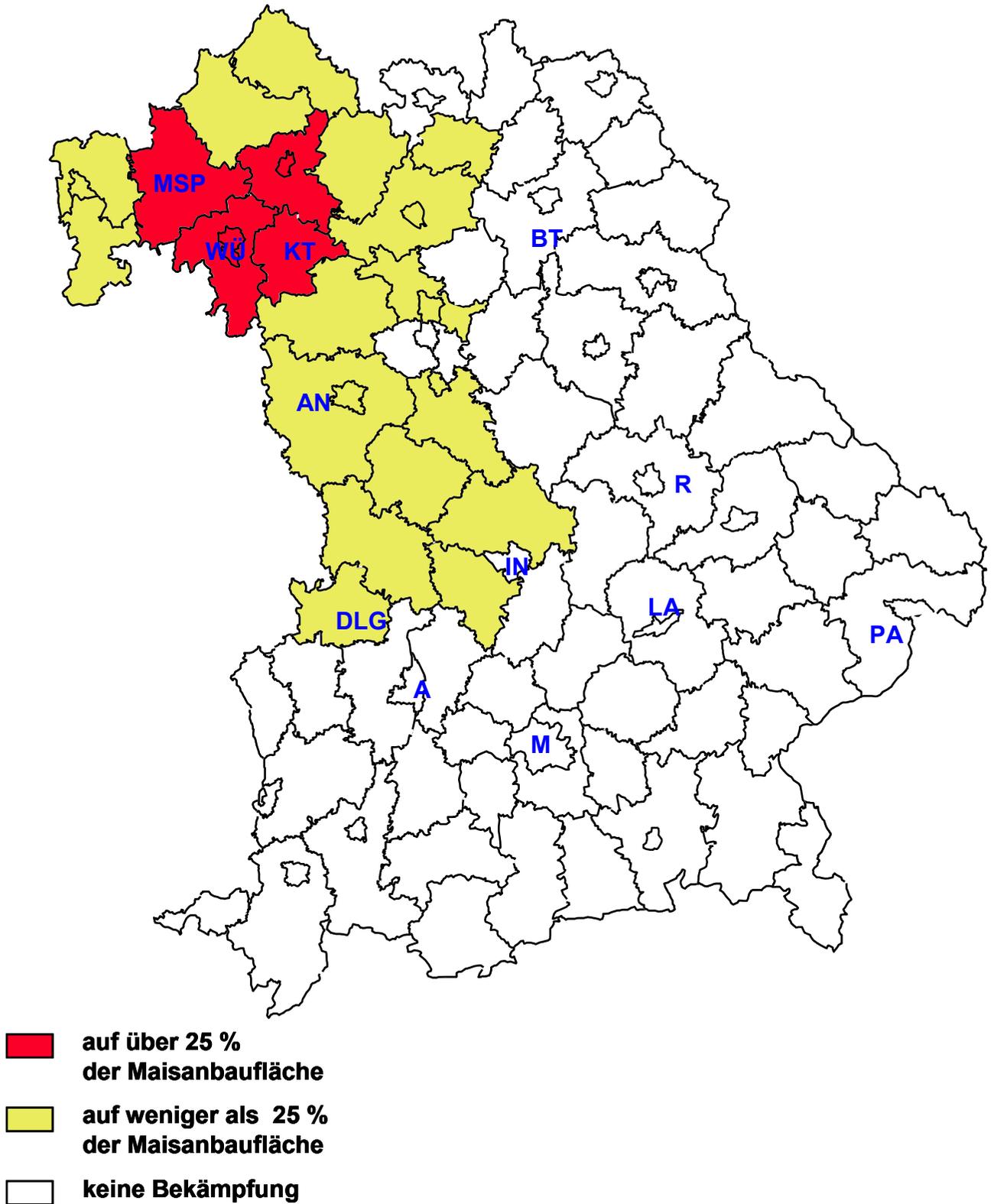
Land	Mais Anbaufläche (Mio. ha)	GVO-Mais Fläche/Anteil (Mio. ha / %)	Soja Anbaufläche (Mio. ha)	GVO-Soja Fläche/Anteil (Mio. ha / %)	Baumwolle Anbaufläche (Mio. ha)	GVO-Baumwolle Fläche/Anteil (Mio. ha / %)	Raps Anbaufläche (Mio. ha)	GVO-Raps Fläche/Anteil (Mio. ha / %)	Kartoffeln Anbaufläche (Mio. ha)	GVO-Kartoffeln Fläche/Anteil (Mio. ha)
USA	31,90	12,80 / 40 %	30,00	24,30 / 81 %	5,60	3,90 / 69 %	0,53	0,40 / 76 %	0,52	< 0,01
Kanada	1,24	0,60 / 50 %	1,00	0,50 / 50 %			4,70	3,20 / 68 %	0,20	< 0,005
Argentinien	2,90	0,65 / 22 %	13,80	12,74 / 92 %	0,25	0,04 / 16 %				
Brasilien			21,00	3,00 / 14 %						
Australien					0,60	0,10 / 17 %				
Südafrika	2,70	0,28 / 10,4 %		0,02	0,05	0,025 / 50 %				
Spanien	0,46	0,032 / 7,0 %								
Deutschland	1,64	<0,001 / <0,1 %								
Bulgarien	0,55	0,02 / 3,6 %								
Honduras	0,30	0,002 / 0,7 %								
Rumänien			0,075	0,07 / 93 %						
Uruguay			0,15	0,06 / 40 %						
Mexiko			0,06	0,015 / 25 %	0,07	0,025 / 36 %				
China					4,80	2,80 / 58 %				
Indonesien					0,012	0,004 / 33 %				
Indien					8,50	0,125 / 1,5 %				
Kolumbien					0,055	0,005 / 9,1 %				
Philippinen	2,40	0,023 / 1,0 %								

Quelle: USDA (NASS); ISAAA; TransGen; Firmenangaben (Monsanto; BayerCropScience)

Anlage 3: Entwicklung des Maiszünslerbefalls in Bayern



Anlage 4: Maiszünslerbekämpfung in Bayern 2000



Anlage 5: Umweltverträglichkeit bei Mais - Herbiziden

Mittel/-kombination Aufwandmenge (l bzw. kg/ha)	Umwelt-V. - relativ (%)	Umwelt-V. - absolut (Pkt.)	Einzelkriterien (Punkte)					
			AI-Menge	Anwender- Tox	Grundwasser- Tox	Wasserorganismen-Tox	Landorganismen-Tox	Sicherheitsabstände
Lido SC (2,5)	48	20	7,7	1,4	3,3	3,3	10,0	4,0
Motivell + Artett Pack (1 + 2,5)	54	22	10,0	1,7	3,3	3,3	10,0	4,0
Zintan Gold Pack + Motivell (2,0 + 0,5 + 0,8)	48	20	7,3	2,0	3,3	3,3	5,0	4,0
Liberty (4,5)	91	38	9,6	3,3	10,0	5,0	5,0	10,0
Roundup Ultra (4,5)	100	42	4,9	10,0	10,0	10,0	10,0	6,7
Liberty + Terano (2,5 + 1,0)	63	26	7,3	1,4	10,0	3,3	5,0	4,0
Roundup Ultra + Gardo Gold (2,5 + 2,5)	47	19	3,7	5,0	3,3	3,3	10,0	4,0

Quelle: K. Gehring, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenschutz

Anlage 6: Umweltverträglichkeit bei Raps - Herbiziden

Mittel/-kombination Aufwandmenge (l/ha)	Umwelt-V. - relativ (%)	Umwelt-V. - absolut (Pkt.)	Einzelkriterien (Punkte)						
			AI-Menge	Anwender- Tox	Grundwasser- Tox	Wasserorganismen- Tox	Landorganismen-Tox	Sicherheitsabstände	
Butisan Top (2,0)	90	37	37	5,5	3,3	10,0	2,0	10,0	6,7
Butisan Top (2,0) + Gallant Super (0,4)	64	27	27	5,3	3,3	10,0	1,4	10,0	6,7
Brasan (3,0) + Fusilade Max (2,0)	55	23	23	3,0	1,4	10,0	2,0	10,0	6,7
Liberty (3,0)	92	38	38	10,0	3,3	10,0	5,0	5,0	10,0
Liberty (4,5)	84	35	35	6,7	3,3	10,0	5,0	5,0	10,0
Roundup Ultra (3,0)	100	42	42	5,1	10,0	10,0	10,0	10,0	6,7
Roundup Ultra (4,5)	96	40	40	3,4	10,0	10,0	10,0	10,0	6,7

Quelle: K. Gehring, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenschutz

Anlage 7: Umweltverträglichkeit bei Zuckerrüben – Herbiziden

Mittel/-kombination Aufwandmenge (l/ha)	Umwelt-V. - relativ (%)	Umwelt-V. - absolut (Pkt.)	Einzelkriterien (Punkte)						
			AI-Menge	Anwender- Tox	Grundwasser- Tox	Wasserorganismen-Tox	Landorganismen-Tox	Sicherheitsabstände	
Betanal Expert (4,5) + Goltix 700 SC (4,5) + Fusilade Max (2,0)	35	15	14	1,6	1,3	3,3	1,5	10,0	6,7
Betanal Expert (3,0) + Goltix 700 SC (3,0) + Rebell (3,0)	40	17	17	1,7	3,3	3,3	1,5	10,0	6,7
Tornado (3,0) + Powertwin (2,0)	66	28	28	2,5	5,0	10,0	3,3	10,0	6,7
Liberty (4,0)	92	38	38	10,0	3,3	10,0	5,0	5,0	10,0
Liberty (5,0)	87	36	36	8,0	3,3	10,0	5,0	5,0	10,0
Liberty (6,0)	84	35	35	6,7	3,3	10,0	5,0	5,0	10,0
Roundup Ultra (4,0)	100	42	42	5,1	10,0	10,0	10,0	10,0	6,7
Roundup Ultra (5,0)	98	41	41	4,1	10,0	10,0	10,0	10,0	6,7
Roundup Ultra (6,0)	96	40	40	3,4	10,0	10,0	10,0	10,0	6,7

Quelle: K. Gehring, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Pflanzenschutz