

TA-Projekt Nachhaltige Landwirtschaft

Ergebnisse zum Forschungsprojekt

Nachhaltige Landwirtschaft und grüne Gentechnik

im Rahmen des TA-Projektes Nachhaltige Landwirtschaft – Kriterien für
Pflanzenzüchtung und Pflanzenproduktion unter besonderer Berücksichtigung des
Potentials der modernen Biotechnologie

Elisabeth Schulte und Othmar Käppeli (Hrsg.)

ISBN 3-9521113-2-5

Inhaltsverzeichnis

- 1 TA-Projekt „Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik“ –
Fazit und Ausblick
E. SCHULTE 1
- 2 Kriterien für die Pflanzenzüchtung unter besonderer
Berücksichtigung des Potentials der modernen Biotechnologie
J. E. SCHMID, O. KÄSER, B. FEIL, P. STAMP 23
- 3 Betriebswirtschaftliche Analyse des Einsatzes biologisch-
technischen Fortschrittes unter Einbezug gentechnischer
Varianten
C. EGGENSCHWILER, B. LEHMANN, C. RUDMANN, H.P. WOLF 41
- 4 Abschätzungen der Auswirkungen transgener Sorten auf Umwelt
qualitätsziele
G. BERGER, U. STACHOW, A. WERNER 72
- 5 Konzept und praktische Lösungsansätze zur ökologischen
Begleitforschung
K. AMMANN, P. RUFENER, Y. JACOT 96
- 6 Konzept und praktische Lösungsansätze zur anbaubegleitenden
Forschung beim Einsatz transgener Kulturarten
A. RAPS, A. HILBECK, F. BIGLER, P.M. FRIED, M. MESSMER
113
- 7 Beteiligte Institutionen 143
- 8 Fachstudien zum TA-Projekt 143

Elisabeth Schulte und Othmar Käppeli (Hrsg.)

Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des
Schwerpunktprogrammes Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds (BATS)

CH-4058 Basel / Schweiz, Clarastrasse 13

Tel ++41 61 690 9310

Fax ++41 61 690 9315

e-mail: info@bats.ch

www.bats.ch

ISBN 3-9521113-2-5

© Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des
Schwerpunktprogrammes Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds (BATS)

Vorwort

Die Fachstelle BATS initiierte 1997 ein Forschungsprojekt zur Nutzenabschätzung der Grünen Gentechnik in Hinblick auf ihren Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft.

Ziel war es, in einem fachlich breit abgestützten Ansatz mögliche Auswirkungen des Anbaus von Pflanzensorten mit verbesserten (transgenen) Resistenzeigenschaften zu diskutieren und deren Bedeutung für die Schweizerische Landwirtschaft darzustellen. Soweit als möglich wurden für die Schweiz relevante Fallbeispiele ausgewählt. Die Auswirkungsanalyse wurde auf Basis des Vergleichs zwischen den jeweiligen landwirtschaftlichen Produktionsverfahren - konventioneller, integrierter und biologischer Landbau - vorgenommen. Ausgewählte ökologische und ökonomische Indikatoren dienten als Grundlage der Bewertung.

Den Auftakt für dieses Projekt bildete ein Workshop mit Vertretern der landwirtschaftlichen Forschungsanstalten und dem Bundesamt für Landwirtschaft. Nach Festlegung des Projektrahmens und der fachlichen Schwerpunkte konnten 6 Fachstudien vergeben und ein wissenschaftlicher Beirat mit beratender Funktion einberufen werden. Zur Fertigstellung der Fachgutachten standen zwei Jahre zur Verfügung. Zwischenergebnisse wurden während mehrerer Workshops diskutiert.

Der vorliegende Abschlussbericht stellt die Synthese des TA-Projektes dar. In Kapitel 1 wird der derzeitige Diskussionsstand zur angesprochenen Thematik unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Teilstudien dargestellt und in den Gesamtkontext eingefügt. Die weiteren Kapitel beinhalten die Ergebnisse der Einzelstudien in zusammengefasster Form. Die ausführlichen Studien können separat bei der Fachstelle BATS bezogen werden. Auftraggeber war das Bundesamt für Landwirtschaft, Bern. Finanzielle Unterstützung gewährte des Weiteren das Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern.

Allen Beteiligten sei für ihre Unterstützung zum Gelingen des Projektes an dieser Stelle herzlich gedankt.

Basel, im Mai 2000

Elisabeth Schulte

Othmar Käppeli

EXECUTIVE SUMMARY

Aus Sicht der Pflanzenzüchtung, der Betriebswirtschaft und der Umweltforschung werden Prognosen zu Auswirkungen des Anbaus von Sorten mit verbesserten (transgenen) Resistenzeigenschaften gegenüber Schädlingen, Krankheiten und Unkräutern vorgestellt und in Hinblick auf eine nachhaltige Landwirtschaft bewertet. Die Aussagen beruhen zum Teil auf der Basis aufwendiger betriebswirtschaftlicher und ökosystemarer Modellierungen. Es wurden für die Schweiz relevante Kulturarten mit solchen Pflanzeigenschaften ausgewählt, die auf konventionellem Wege bisher noch nicht gezüchtet werden konnten. Folgendes Fazit ist hier zu ziehen:

► *Aus Sicht der Pflanzenzüchtung*

Die Einschätzung der Eignung von Pflanzensorten (transgen oder nicht transgen) für die nachhaltige Landwirtschaft sollte flexibel und fallbezogen vorgenommen werden, damit veränderten Rahmenbedingungen, z.B. Preisgestaltung, Auftreten neuer Krankheiten und Schädlinge, Rechnung getragen werden kann. Die Pflanzenzüchtung kann langfristig gesehen einen wertvollen Beitrag zur Lösung phytomedizinischer und anbautechnischer Probleme, so auch zur Entschärfung der Stickstoff- und Phosphor-Problematik leisten. Um die gesteckten Ziele zu erreichen, gilt es, auch das Potential der Biotechnologie sinnvoll zu nutzen und nicht durch sachlich ungerechtfertigte Forderungen grundsätzlich zu schwächen.

► *Aus Sicht der Betriebswirtschaft*

Gentechnisch veränderte Sorten führen bei allen untersuchten Fallbeispielen unter der Annahme, dass GVO-Saatgutpreise 5% zusätzliche Kosten verursachen und keine Produktpreisdifferenzierungen zwischen GVO- und herkömmlichen Endprodukten bestehen, zu einem höheren landwirtschaftlichen Einkommen, sowohl bei der Konventionellen, Integrierten wie Biologischen Produktion (wäre der Einsatz hier erlaubt). Die Konkurrenzkraft des Ackerbaus wird gegenüber der Rohfutterproduktion und der damit verbundenen Tierhaltung gestärkt. Zumindest kurzfristig wird durch den Einsatz gentechnisch veränderter Sorten die Wettbewerbsfähigkeit gestärkt.

► *Aus Sicht der Umweltforschung*

Für ausgewählte Anbauverfahren von Sorten mit verbesserten (transgenen) Resistenzeigenschaften wurde ein geringerer Energieeinsatz und damit eine höhere Energieeffizienz gegenüber konventionellen einschliesslich biologischer Anbauverfahren ohne den Einsatz der entsprechenden transgenen Sorten festgestellt.

Bei keiner der Bewirtschaftungsweisen, weder in der konventionellen, integrierten oder biologischen, führt die Anwendung der untersuchten Fallbeispiele zu bedeutsamen qualitativen Veränderungen in der Lebensraumqualität für ausgewählte pflanzliche und tierische Zeigerorganismen, im positiven wie negativen Sinne. Die bestehenden Unterschiede in der Wirkung auf die Qualität der biologischen Umwelt blieben zwischen den Bewirtschaftungsweisen (konventionell, integriert und biologisch) erhalten.

Nach der Freisetzungsverordnung (FrSV) ist der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen durch ein Monitoring zu begleiten. Ziel ist es, nachteilige Auswirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen früh erkennen, Sicherheitsbewertungen überprüfen und Erfahrungen sammeln zu können. Zum Konzept des anbaubegleitenden Monitorings werden grundsätzliche Überlegungen sowie Vorschläge zur inhaltlichen Gestaltung vorgestellt.

INHALTSVERZEICHNIS

1	TA-Projekt „Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik“ – Fazit und Ausblick	
	E. SCHULTE.....	1
2	Kriterien für die Pflanzenzüchtung unter besonderer Berücksichtigung des Potentials der modernen Biotechnologie	
	J. E. SCHMID, O. KÄSER, B. FEIL, P. STAMP	23
3	Betriebswirtschaftliche Analyse des Einsatzes biologisch-technischen Fortschrittes unter Einbezug gentechnischer Varianten	
	C. EGGENSCHWILER, B. LEHMANN, C. RUDMANN, H.P. WOLF	41
4	Abschätzungen der Auswirkungen transgener Sorten auf Umwelt- qualitätsziele	
	G. BERGER, U. STACHOW, A. WERNER.....	72
5	Konzept und praktische Lösungsansätze zur ökologischen Begleit- forschung	
	K. AMMANN, P. RUFENER, Y. JACOT	96
6	Konzept und praktische Lösungsansätze zur anbaubegleitenden Forschung beim Einsatz transgener Kulturarten	
	A. RAPS, A. HILBECK, F. BIGLER, P.M. FRIED, M. MESSMER	113
7	Beteiligte Institutionen.....	143
8	Fachstudien zum TA-Projekt.....	143

TA-Projekt „Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik“ – Fazit und Ausblick

E. SCHULTE

Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen (BATS),
Basel

Zusammenfassung

1 Einleitung

2 TA-Projekt *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*

2.1 Ziele nachhaltigen Wirtschaftens

2.2 Nachhaltige Entwicklung und Grüne Gentechnik – Ein unvereinbarer Gegensatz?

2.3 Projektvorgaben und Fallstudien

3 Ergebnisse

3.1 *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik – Aus Sicht der Pflanzenzüchtung*

3.1.1 Entschärfung der Stickstoff- und Phosphor-Problematik

3.1.2 Ertragssicherung und Verminderung des Pflanzenschutzmittel-Eintrages

3.1.3 Erweiterung des Kulturarten-Spektrums in der Fruchtfolge

3.1.4 Effizientere Zuchtverfahren

3.2 *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik – Aus Sicht der Betriebswirtschaft*

3.2.1 Verbesserung der ökonomischen Situation

3.2.2 Einschränkungen – Gesellschaftliche Akzeptanz

3.3 *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik – Herausforderungen an die Umweltforschung*

3.3.1 Begleitforschung und Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen

3.3.2 Begriffe und Definitionen

3.3.3 Begleitforschung - Beispiel: Energieeffizienz neuer Pflanzensorten

3.3.4 Begleitforschung – Beispiel: Modellierung biotischer Wirkungen

3.3.5 Anbaubegleitendes Monitoring

4 Ausblick

Zusammenfassung

Ziel des TA-Projektes *Nachhaltige Landwirtschaft und grüne Gentechnik* war es, in einem breiten wissenschaftlichen Ansatz aus Sicht der Pflanzenzüchtung, der Betriebswirtschaft und der Umweltforschung den Beitrag von Pflanzensorten mit verbesserten (transgenen) Resistenzeigenschaften zu einer nachhaltigen Landbewirtschaftung zu untersuchen. Im vorliegenden Beitrag werden die Einzelergebnisse zusammengefasst und in den Kontext gestellt. Des Weiteren werden grundsätzliche Überlegungen zur Konzeption eines anbaubegleitenden Monitorings von gentechnisch veränderten Pflanzen angeestellt.

1 Einleitung

Die Diskussion um den Einzug der Gentechnik in die Landwirtschaft ist von sehr gegensätzlichen Positionen geprägt. Chancen werden in Hinsicht auf produktivere und umweltverträglichere Anbauverfahren gesehen, Gefahren vor allem aufgrund möglicher nachteiliger Effekte auf die Umwelt. Eine nicht nur vordergründig geführte Auseinandersetzung um Risiken und Nutzen einer neuen Technologie setzt voraus, dass Hypothesen über mögliche Auswirkungen sachlich analysiert und mögliche Effekte im Vergleich zu denen der technischen Alternativen bewertet werden. Als wichtige Beurteilungsgrößen für den Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft sollten sowohl deren Unbedenklichkeit für Mensch und Umwelt als auch deren Verträglichkeit mit den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung in der Landwirtschaft gelten.

Ziel des in den Jahren 1997 bis 2000 durchgeführten TA-Projektes *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik* war es, ökologische und ökonomische Auswirkungen des Einsatzes von Pflanzensorten mit neuen Eigenschaften – in diesem Fall Resistenzen gegenüber Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern - für konventionell, integriert und biologisch wirtschaftende Betriebe zu beschreiben und ihren Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung in der Landwirtschaft zu bewerten. Um der komplexen Thematik gerecht zu werden, wurden verschiedene Fachstudien in Auftrag gegeben, die aus unterschiedlicher Sichtweise - in diesem Fall aus Sicht der Pflanzenzüchtung, der Betriebswirtschaft und der Umweltforschung – eine Analyse vornehmen sollten. Des Weiteren waren Vorschläge für ein anbaubegleitendes Monitoring zu erarbeiten.

2 TA-Projekt *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*

2.1 Ziele nachhaltigen Wirtschaftens

Nachhaltiges Wirtschaften ist für die Pflanzenproduktion von grundlegender Bedeutung. Da ihre Produktionsgrundlage auf den natürlichen Ressourcen basiert, *muss* sie deren nachhaltige Nutzung anstreben. Die landwirtschaftliche Bewirtschaftung führt zwangsläufig zu Eingriffen und Veränderungen im Ökosystem. Umweltverträgliche Anbauverfahren sind daher wichtigstes Ziel der Landbewirtschaftung. Dies ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht ebenso zu fordern. Wer langfristig erfolgreichen Pflanzenbau betreiben will, darf nicht auf Kosten der natürlichen Ressourcen wirtschaften.

Der 1987 von der Brundtland-Kommission geprägte Begriff der *Nachhaltigen Entwicklung*¹ liegt heute in zahlreichen Definitionen vor^{2,3}. Allen Sichtweisen gemeinsam

¹ HAUFF (Hrsg.) (1987) Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Eggenkamp, Greven

² LINCKH et al. (1997) Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft. Springer Verlag

ist die Forderung nach der Entwicklung und Umsetzung einer gleichermassen ökologische, ökonomische und soziale Gesichtspunkte berücksichtigende Strategie (Tab. 1).

Tab. 1: Zielvorgaben für eine *Nachhaltige Entwicklung* in der Landwirtschaft (verändert und ergänzt nach LINCKH et al. 1997²)

<i>Nachhaltige Entwicklung</i>	Ausgewählte Zielvorgaben für den Bereich Landwirtschaft
Sozio-ökonomische Komponente	<p>Erhaltung und Verbesserung der Lebensqualität durch:</p> <p>Sicherung der Versorgung mit gesunden und rückstands-freien Produkten.</p> <p>Erhaltung und Förderung der Nutz-, Schutz- und Erholungs-funktion der Kulturlandschaft.</p> <p>Sicherung eines ausreichenden Einkommens für kosteneffizient und umweltschonend wirtschaftende Betriebe.</p>
Ökologische Komponente	<p>Durchsetzung umweltschonender Bewirtschaftungsweisen bei:</p> <p>Beachtung kritischer Belastungsgrenzen, insbesondere Verminderung der Belastung von Boden und Wasser mit chemischen Hilfsstoffen.</p> <p>Minimierung der Freisetzung von Treibhausgasen und ozonzerstörenden Chemikalien.</p> <p>Schonung der nicht erneuerbaren Ressourcen wie Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit sowie der Biotop- und Artenvielfalt.</p>

WERNER et al. (2000)⁴ hinterfragen sehr kritisch die Ansicht, nach der schon einzelne Verbesserungen von pflanzenbaulichen Produktionssystemen als Schritte einer nachhaltigen Entwicklung dargestellt werden. Für die Autoren kann ein realistischer Ansatz zu einer nachhaltigen Entwicklung nicht durch einzelne, isolierte Änderungen von Technologien oder Handlungsweisen erreicht werden. Vielmehr wird ein integratives, das Gesamtziel verfolgendes Konzept benötigt. Des Weiteren erweist sich die konkrete Überprüfung von Produktionsverfahren und neuen technologischen Entwicklungen auf ihren Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung gegenwärtig noch als recht schwierig. Es fehlt an einer verbindlichen Auslegung der Nachhaltigkeitskomponenten in Form von Kriterien und Indikatoren. Einen Überblick zum derzeitigen Stand in der Entwicklung von Indikatoren geben unter anderem MAESCHLI (1998)³ sowie RAPS et al. (1998)⁵. WERNER (1995)⁶ stellte fest, dass bis jetzt keine Theorie oder Methodologie vorliegt, wie konkrete Indikatoren festgelegt und gemeinsam betrachtet werden könnten. Er führte des Weiteren auf, dass der Sektor Landwirtschaft hinsichtlich seiner nachhaltigen Entwicklung immer

³ MAESCHLI (1998) Das Leitbild Nachhaltigkeit – Eine Einführung. TA-Projekt *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*, Studie 1/6, BATS, Basel

⁴ WERNER et al. (2000) Abschätzungen der Auswirkungen transgener Sorten auf Umweltqualitätsziele. TA-Projekt *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*, Studie 4/6, BATS, Basel

⁵ RAPS et al. (1998) Konzept und praktische Lösungsansätze zur anbaubegleitenden Forschung bei Einsatz transgener Kulturarten. TA-Projekt *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*, Studie 2/6, BATS, Basel

⁶ WERNER, A. (1995) Entwicklung und Realisierung nachhaltiger Landnutzungssysteme. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung, 36, 202-206

nur zusammen mit anderen Funktionen und Aktivitäten im ländlichen Raum betrachtet werden darf. Die Betrachtung einer nachhaltigen Entwicklung kann nicht an den klassischen Grenzen einzelner Felder oder Betriebe enden. Durch den Einbezug von Natur- und Umweltschutz sowie sozialen und ökonomischen Komponenten einer Region erweitert sich der Betrachtungswinkel auf die Ebene komplexer Landnutzungssysteme. Er wählte daher den Begriff des *nachhaltigen Landnutzungssystems*.

2.2 Nachhaltige Entwicklung und Grüne Gentechnik – Ein unvereinbarer Gegensatz?

WERNER et al. (2000) stellten in der Einleitung zu ihrem Beitrag fest, dass die Ableitung von Wirkungen – insbesondere den ökologischen – schon für die aktuell bekannten und mit ausreichender empirischer Datengrundlage belegten Produktionssysteme schwierig genug ist. Zusätzliche Schwierigkeiten treten auf, wenn neuartige Technologien im Vorfeld ihrer breiten Einführung auf ihre Wirkungen abgeschätzt werden sollen. Um aber frühzeitig Erkenntnisse zu sammeln und eine gezielte Weiterentwicklung neuer Technologien zu forcieren, sind Technikfolgenabschätzungen eine wertvolle Hilfestellung. Die Autoren formulierten für ihre Untersuchungen zum ökologischen Einfluss gentechnisch veränderter Sorten zwei Hypothesen, die es speziell für die in der Gesamtstudie definierten Fallbeispiele zu überprüfen galt. Zum einen wurde angenommen, dass

- der Einsatz der neuen Sorten zu einer höheren Effizienz im Einsatz von Energie führt
- und zum anderen, dass diese Sorten negative Wirkungen auf die Arten und Lebensraumqualität der Ackerbiotope verringern.

In ihren Modellberechnungen kamen sie zu dem Ergebnis, dass der Einsatz dieser Sorten nur marginale Effekte auf die Lebensraumqualität zeigt. Weder entscheidende qualitative Verbesserungen noch Verschlechterungen waren für die untersuchten Zeiger-Organismen festzustellen. Dagegen konnte auf abiotischer Seite eine höhere Energieeffizienz für Anbauverfahren mit Sorten mit verbesserten (transgenen) Resistenzeigenschaften nachgewiesen werden. Konkrete Erfahrungen zu ökonomischen Auswirkungen gentechnisch veränderter Kulturen unter den Bedingungen eines freien landwirtschaftlichen Anbaus liegen derzeit nur von den nordamerikanischen Anbauregionen vor⁷. Danach ergibt sich in Abhängigkeit von der Kulturart und der neuen Eigenschaft ein differenziertes Bild. Ertragssteigerungen und Einsparungen beim chemischen Pflanzenschutz waren nicht in allen Regionen und Kulturen festzustellen. Der Einsatz herbizidtoleranter Kulturen führte - statistisch abgesichert - zu einer Verminderung der Herbizidbehandlungen in 4 der 8 untersuchten Regionen über alle Kulturen. Bei insektenresistenten Kulturen waren in 1 bzw. 2 von drei untersuchten Anbauregionen Insektizideinsparungen möglich.

Für den europäischen Raum können derzeit nur Prognosen zu möglichen Auswirkungen eines freien landwirtschaftlichen Anbaus abgegeben werden^{8,9,10}. Ausser

⁷ ERS (Economic Research Service) (1999) Genetically engineered crops for pest management. United States Department of Agriculture, June 25 1999, <http://www.econ.ag.gov>

⁸ DÜRKOP et al. (1999) Beitrag der Biotechnologie zu einer dauerhaften umweltgerechten Entwicklung. UBA-Texte 1/99, Umweltbundesamt Berlin

⁹ SCHULTE (1999) LibertyLink® in Winterraps – Ein Beitrag zur Weiterentwicklung umweltverträglicher Anbauverfahren. 80 S. Genius GmbH Darmstadt

¹⁰ HÜTTER et al. (1999) Verwendung transgener schädlingsresistenter Nutzpflanzen in der Schweiz. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Reckenholz, BUWAL Bern 1999

insektenresistenten Maissorten sind derzeit keine gentechnisch veränderten Kulturen für den landwirtschaftlichen Anbau uneingeschränkt zugelassen. Praktische Erfahrungen liegen jedoch aus Freilandversuchen, Wertprüfungen und mehreren Tausend ha Anbaufläche (vor allem Spanien) im Rahmen des beschränkten Anbaus vor Markteinführung vor.

2.3 Projektvorgaben und Fallstudien

Ziel des TA-Projektes *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik* war es, die Potentiale gentechnisch veränderter Kulturarten auf ihren Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft aus verschiedenen Blickwinkeln zu beleuchten. Insbesondere die Sicht der

- Pflanzenzüchtung,
- Betriebswirtschaft und
- Umweltforschung

interessierte in diesem Zusammenhang (Abb. 1).



Abb. 1: TA-Projekt *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*

Neben der Betrachtung konkreter Fallbeispiele wurde bei der betriebswirtschaftlichen und ökologischen Analyse Wert auf den Vergleich zwischen den Produktionsvarianten – Konventioneller Anbau, Integrierte Produktion und Biologischer Landbau - jeweils mit und ohne das Szenario Gentechnik gelegt. Die als Fallbeispiele verwendeten Kulturarten und Pflanzeigenschaften wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- kurz- bis mittelfristige Anbau-Perspektive (im Ausland),
- potentielle wirtschaftliche Bedeutung für den Standort Schweiz und
- potentielle Eignung für die schweizerische Züchtungsforschung.

3 Ergebnisse

3.1 Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik – Aus Sicht der Pflanzenzüchtung

Die Ausrichtung der Pflanzenzüchtung wird sehr stark von ökonomischen, ökologischen und politischen Rahmenbedingungen beeinflusst. Züchtungsziele, die heute in einem Zuchtunternehmen festgelegt werden, müssen die Anforderungen der Landwirtschaft und Märkte von morgen berücksichtigen. Im heutigen Umfeld muss sich die Pflanzenzüchtung zumindest mittelfristig an folgenden strategischen Zielsetzungen orientieren (SCHMID et al. 1999):

1. Eignung für eine *umweltschonende Erzeugung* von *qualitativ hochwertigen, gesunden Produkten* unter Beibehaltung eines *hohen und stabilen Ertragsniveaus*.
2. Züchterische Bearbeitung von *Kultur- und Wildpflanzen* zwecks Erschliessung von Märkten mit *neuen Produkten*.
3. Entwicklung von Methoden zur Erhöhung der *Geschwindigkeit und Flexibilität* in der Realisierung neuer Zuchtziele.
4. Erhaltung, Charakterisierung und Schaffung *genetischer Vielfalt*.

Für den Standort Schweiz sind diese eher übergeordneten Zielsetzungen zu konkretisieren. Folgende Arbeiten haben - auch unter Berücksichtigung der Option Gentechnik - erste Analysen vorgelegt:

- FRIED et al. (1993) Expertise betreffend Möglichkeiten des Einsatzes biotechnologischer Methoden zur Erhöhung der Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge wichtiger Kulturpflanzen der Schweiz. SPP Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern
- SCHULTE und KÄPPELI (Hrsg.) (1996) Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft? Band 1 (Materialien), Band 2 (Auswertung), SPP Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern; BATS, Basel¹¹
- KOEHLIN (Hrsg.) (1999) Zukunftsmodell Schweiz. Eine Landwirtschaft ohne Gentechnik? Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Öko-Institut e.V. und Blauen-Institut, FiBL, Frick¹²
- SCHMID et al. (1999) Kriterien für die Pflanzenzüchtung unter besonderer Berücksichtigung des Potentials der modernen Biotechnologie. TA-Projekt *Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gnetchnik*, Studie 5/6, BATS, Basel

Die Nützlichkeit des Einsatzes der Gentechnik wird in den Studien unterschiedlich beurteilt. Die Autoren kommen jedoch zu dem gemeinsamen Schluss, dass es *nicht nur einen* Lösungsansatz geben kann, sondern ein Repertoire an unterschiedlichen Methoden zum Erfolg führt. Die Option Gentechnik wird dabei von den Vertretern des Biolandbaus kategorisch ausgeschlossen. Nach SCHMID et al. (1999) kann die Pflanzenzüchtung - mit Unterstützung der Gentechnik - speziell in Hinblick auf dringliche Probleme in der schweizerischen Landwirtschaft über folgende Ansätze einen Beitrag leisten:

- (1) Neue Zuchtziele - Die neue Pflanzeigenschaft trägt zur Ertragssicherung und einem umweltverträglichen Anbau bei. Beispielsweise über die
- Entschärfung der Stickstoff- und Phosphor-Problematik durch angepasste Sorten
 - Ertragssicherung und Verminderung des Pflanzenschutzmittel-Eintrages durch Resistenzen gegenüber Krankheiten und Schädlingen.

¹¹ Berücksichtigung fanden die Kulturen Kartoffel, Weizen, Mais, Raps, Zuckerrübe, Apfel und Weinrebe

¹² Berücksichtigung fanden die Kulturen Kartoffel, Weizen, Mais, Raps, Kopfsalat und Weinrebe

Die Gentechnik bietet vor allem dann einen züchtungstechnischen Vorteil, wenn das Zuchtziel auf konventionellem Wege nicht oder nur unzureichend zu erreichen ist.

(2) Erweiterung des Zuchtmaterials - Bisher unbedeutende Kultur- und Wildpflanzen können züchterisch bearbeitet werden (molekulare Charakterisierung von Ausgangslinien, Genbanken). Eine Erweiterung der Fruchtfolgen um neue Kulturarten wäre möglich.

(3) Effizientere Zuchtverfahren - Neue Züchtungsmethoden (z.B. Marker-gestützte Züchtung, Genübertragung) verkürzen durch gezieltere Veränderung das Zuchtverfahren. Mittel- bis langfristig kann mit Kosteneinsparungen gerechnet werden.

3.1.1 Entschärfung der Stickstoff- und Phosphor-Problematik

Die Verminderung der in der Landwirtschaft auftretenden Stickstoff- und Phosphorüberschüsse ist aus Sicht des Umweltschutzes ein sehr bedeutendes Ziel. Durch die 1993 eingeführten ökologischen Direktzahlungen soll die Stickstoff- und Phosphor-Problematik entschärft werden. Im Rahmen der Bewertung dieser Massnahmen formulierte das Bundesamt für Landwirtschaft für Stickstoff und Phosphor jeweils ein Wirkungs- und ein Umsetzungsziel. Danach soll in den nächsten Jahren der in den Jahren 1990-1992 bilanzierte N-Überschuss um ein Drittel und der P-Überschuss um die Hälfte bis zum Jahr 2005 reduziert werden¹³. Eine Zwischenbilanzierung im Jahr 1995 zeigte erste Erfolge.

(1) N-Problematik

Hohe Ertragsleistungen verlangen einen intensiven Einsatz von Stickstoff-Düngern. Selbst unter optimalen Bedingungen wird der in Düngemitteln enthaltene Stickstoff nicht vollständig aufgenommen. Häufig ist daher mit Nitrat-Auswaschungen ins Grundwasser zu rechnen. Die Senkung des extern zuzugebenden Stickstoffs, ob aus mineralischer oder organischer Quelle - bei Festhalten an einem vergleichbar hohen Ertragsniveau - wäre aus Sicht der Ökologie von grossem Vorteil. Neben einem angepassten Düngungsmanagement wäre auch von Seiten der Züchtung ein Beitrag möglich (Tab. 2). Die modernen - klassisch gezüchteten - Extensiv-Sorten zeigen bereits eine bessere N-Ausnutzung. Weitere Ansätze wären wünschenswert. Kurz- bis mittelfristig sind jedoch derzeit weder geeignete konventionelle noch gentechnische Lösungen für die Praxis verfügbar.

Tab. 2: Wünschenswerte Zuchtziele zur Entschärfung der Stickstoff-Problematik mit Blick auf die Förderung umweltverträglicher Anbauverfahren (zusammengefasst und verändert nach SCHMID et al. 1999)

Wünschenswertes Zuchtziel	Status Quo Gentechnik
Verbesserung des Stickstoff-Aufnahmevermögens	Genotypische Variation im konventionellem Zuchtmaterial vorhanden. Züchterische Verbesserungen konventionell wie gentechnisch mittelfristig noch nicht in Sicht.
Verbesserte Umsetzung von Stickstoff in Kornertrag (N-Ausnutzung)	Moderne Extensivsorten zeigen bereits bessere N-Ausnutzung. Beitrag der Gentechnik aufgrund der physiologischen Komplexität erst langfristig in Sicht.
Übertragung der symbiontischen N-Fixierung auf Nicht-Leguminosen.	Attraktiver Ansatz, Verzicht auf mineralische N-Düngung möglich. Gentechnischer Ansatz erfolgsversprechend. Langjährige Forschung im Gange. Da sehr komplex, nur langfristig mit Erfolg zu rechnen.

¹³ SPIESS (1999) Stickstoff- und Phosphorbilanz der Schweizer Landwirtschaft. Agrarforschung 6(7), 261-264

Verbesserung der Kleberqualität (Reduktion der N-Spätgaben wäre dadurch möglich)	Züchterische Verbesserung der Kleberqualität könnte Backqualität auch bei geringerem Kornprotein erhalten. Gentechnischer Beitrag wünschenswert, da zielgerichteter als konventioneller. Kurz- bis mittelfristig noch kein gentechnischer Ansatz erkennbar.
Reduktion der Stickstoffemission von Getreidebeständen	Noch keine züchterischen Ansätze. Problem bezüglich Relevanz noch nicht quantifiziert.

(2) P-Problematik

Hohe Phosphor-Mengen gelangen vor allem über die organische Düngung in Form von Gülle in den Boden. Von der Pflanze nicht aufgenommene Mengen werden dann via Bodenerosion in Gewässer transportiert. Eine bessere Ausnutzung des im Boden festgelegten Phosphors wird daher angestrebt. Die Besiedlung der Kulturpflanzen mit Mykorrhizen, die Ausscheidung von bestimmten Wurzelexsudaten und die Wurzelmorphologie haben Einfluss auf die Erschließung und Aufnahme von Phosphorverbindungen. Sie können als züchterische Ansatzpunkte für eine Verbesserung des P-Aneignungsvermögens dienen.

Ein weiterer Ansatzpunkt ist die Verminderung bzw. bessere Aufschliessung des für den Nicht-Wiederkäuer schlecht verwertbaren Phytat-Phosphors in der Pflanze. Phosphor liegt in der Pflanze als Phytat vor. Durch die schlechte Verwertung dieser P-Form werden grosse Mengen wieder ausgeschieden und gelangen als Dünger auf das Feld. Eine Erhöhung des P-Aufnahmevermögens durch die Pflanze und ein besserer Phytat-Aufschluss bereits in der Pflanze wären wünschenswerte Züchtungsziele. Die Gentechnik liefert dazu erste Ansätze (Tab. 3).

Tab. 3: Wünschenswerte Zuchtziele zur Entschärfung der Phosphor-Problematik mit Blick auf die Förderung umweltverträglicher Anbauverfahren (zusammengefasst und verändert nach SCHMID et al. 1999)

Wünschenswertes Zuchtziel	Status Quo Gentechnik
Verbesserung des P-Aufnahmevermögens	Ansatzpunkte wie Ausnutzung der Symbiose mit Mykorrhizen, Wurzelmorphologie, Wurzelexsudation bisher züchterisch kaum bearbeitet, da sehr komplex. Gentechnische Ansätze auf Basis Grundlagenforschung verfügbar.
Verminderung der Phytat-Gehalte im Erntegut / Aufschluss des Phytat-Phosphors bereits in der Pflanze	Konventionelle Züchtung auf niedrige Phytat-Gehalte bei Mais im Ansatz gelungen. Gentechnische Strategie der Steigerung der Phytase-Aktivität in Pflanzen ist erfolgversprechender.

3.1.2 Ertragssicherung und Verminderung des Pflanzenschutzmittel-Eintrages

Die Resistenzzüchtung liefert einen wichtigen Beitrag zur Sicherung von Erträgen und unterstützt einen umweltverträglichen Anbau, wenn chemischer Pflanzenschutz durch Resistenzen substituiert oder vermindert werden kann. In Tab. 4 wird für wichtige Kulturarten der Schweiz der Status Quo und die Notwendigkeit einer Resistenzzüchtung dargestellt.

Tab. 4: Beitrag der Pflanzenzüchtung zur Kontrolle wichtiger Krankheiten, Schädlinge und Unkräuter bei ausgewählten Kulturarten in der Schweiz (zusammengefasst und ergänzt nach SCHMID et al. 1999)

Resistenzen gegenüber	Bedeutung in der Schweiz	Konventionelle Bekämpfung	Notwendigkeit für eine Resistenzzüchtung	Einsparung chemischer Pfl. schutz
Schädlingen				
Maiszünsler	lokal; Ertragsminderung 10-30 %	<i>Trichogramma</i> und Stoppelbearbeitung ; arbeitsaufwendig und nur bedingt erfolgreich	nur bedingt Alternativen vorhanden und nur lokales Auftreten des Schädlings. Konventionelle Resistenzzüchtung nicht erfolgreich. Auf Standorten mit hohem Befallsdruck bietet gentechnische Strategie (<i>Bt</i> -Ansatz) gute Alternative	keine in der Schweiz
Kartoffelkäfer	gering	vorhanden; Insektizide, Fruchtfolge	bedingt Resistenzentwicklung befürchtet	ja
Pilzliche Erkrankungen				
Kraut- und Knollenfäule (Kartoffel)	sehr bedeutend	Fungizide	gross konventionelle wie gentechnische Ansätze in der Grundlagenforschung	ja
verschiedene Pilzarten bei Weizen (u.a. Braunrost)	sehr bedeutend	Fungizide, Anbautechnik	gross konventionelle wie gentechnische Ansätze (Grundlagenforschung) erwünscht	ja

Fortsetzung – Tab. 4

Resistenzen gegenüber	Bedeutung in der Schweiz	Konventionelle Bekämpfung	Notwendigkeit für eine Resistenzzüchtung	Einsparung chemischer Pfl. schutz
<i>Virosen</i>				
Rhizomania (Zuckerrübe)	lokal; 30-100 % Ertragsminderung	nicht vorhanden	gross konventionelle Resistenzen vorhanden; Gentechnik-Ansatz in der Prüfung	keine
verschiedene Kartoffelviren	gross	vorhanden; Erzeugung von virusfreiem Pflanzgut	bedingt bis gross konventionelle und gentechnische Ansätze, Präferenz für gezielte Genübertragung (Gentechnik)	ja (Vektorbekämpfung)
<i>Unkräutern</i>				
Herbizid-tolerante Kulturpflanzen	bedingt	vorhanden; mech. und chem. Unkrautbekämpfung	bedingt erwünscht zur Unterstützung bodenschonender Anbauverfahren und der Schadschwellen-orientierten Unkrautkontrolle	bedingt

3.1.3 Erweiterung des Kulturarten-Spektrums in der Fruchtfolge

Da der landwirtschaftliche Anbau sich auf rentable Kulturarten konzentriert, sind heutige Fruchtfolgen relativ eng und bestehen aus ungefähr 3-4 Kulturen in der Rotation. Geringe Diversität in der Fruchtfolge geht oft einher mit einer geringen Biodiversität der Ackerbiozönose. Durch die züchterische Bearbeitung von bisher wenig bedeutenden Kultur- und Wildpflanzen könnte das Kulturpflanzen-Spektrum in der Fruchtfolge und damit die genetische Vielfalt auf der Ackerfläche insgesamt erweitert werden. Voraussetzung ist jedoch, dass die neuen Kulturen ökonomisch attraktiv sind. Die züchterische Bearbeitung von Arten aus dem Bereich der nachwachsender Rohstoffe, von Arzneipflanzen oder von Leguminosen wie Ackerbohne, Erbse und Lupine als wertvolle Proteinlieferanten und Stickstoff-Sammler wäre wünschenswert.

Nicht zwingend, jedoch denkbar wäre auch, dass durch die Gentechnik die bisherige Tendenz, sich prioritär auf nur wenige ertraglich leistungsfähige Arten zu beschränken, noch weiter gefördert wird. Durch die gezielte Veränderung einzelner Merkmale könnten einige wenige Kulturarten quasi als Grundgerüst für Qualitäten aller Art dienen.

3.1.4 Effizientere Zuchtverfahren

Effizientere Verfahren zur Erreichung des Zuchtziels sind aus Kostengründen sehr erwünscht. Der Einsatz biotechnologischer und gentechnischer Methoden bietet sich daher an. Sie erweitern das Methodenrepertoire, dort wo die konventionelle Züchtung an ihre Grenzen stösst, insbesondere durch die

- molekulare Charakterisierung des Zuchtmaterials (Identifikation wertvoller Eigenschaften) und die
- gentechnische Übertragung von Merkmalen, beispielsweise Resistenzgenen, die im konventionellen Zuchtmaterial nicht im gewünschten Umfang vorliegen, unzureichend oder nur schwer mit anderen Zuchtzielen vereinbar sind.

Aus technischen Gründen kann die Gentechnik aber gegenwärtig nur dort einen Beitrag liefern, wo die erwünschte Eigenschaft, auf einem bis wenigen Genen beruht. Viele

pflanzenzüchterisch interessante Eigenschaften basieren jedoch auf zahlreichen Genen. Die genetische Entschlüsselung agronomisch wichtiger Ertragsmerkmale stellt daher ein wichtiger Schwerpunkt molekulargenetischen Arbeitens dar.

Fazit - Die Pflanzenzüchtung kann langfristig gesehen einen wertvollen Beitrag zur Lösung phytomedizinischer und anbautechnischer Probleme (u.a. Stickstoff- und Phosphor-Problematik) leisten. Die Gentechnik wird dort ansetzen, wo die züchtungstechnischen Grenzen der konventionellen Züchtung erreicht sind. Eine Überprüfung züchterischer Ansätze auf ihren Beitrag für eine nachhaltige Entwicklung sollte bereits in einem frühen Entwicklungsstadium überprüft werden. Nach SCHMID et al. (1999) sollte dies vor und bei der Sortenprüfung stattfinden.

3.2 Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik – Aus Sicht der Betriebswirtschaft

Die langfristige Sicherung und Verbesserung des Betriebseinkommens sind wichtige Zielgrößen *Nachhaltigen Wirtschaftens*. Eine der Voraussetzungen für die Erhaltung und Verbesserung der landwirtschaftlichen Produktivität ist die Nutzung von Produkt- und Prozessinnovationen. Beispielsweise liefert die Pflanzenzüchtung durch das Angebot verbesserter Pflanzensorten einen wichtigen Beitrag. So bewirkt der Züchtungsfortschritt einen jährlichen Ertragszuwachs von ungefähr 0.8 %. Für den Standort Schweiz haben zwei Expertisen den potentiellen Nutzen von Pflanzensorten mit neuen (gentechnisch erzeugten) Merkmalen auf betriebswirtschaftlicher Ebene untersucht:

- PEZZATTI et al. (1996) Ökonomische Auswirkungen eines Einsatzes von Nutzpflanzen mit gentechnisch erzeugten Resistenzen gegen Krankheiten und Schädlinge¹⁴.
- EGGENSCHWILER et al. (1999) Betriebswirtschaftliche Analyse des Einsatzes biologisch-technischen Fortschrittes unter Einbezug gentechnischer Varianten¹⁵.

In beiden Studien wurde mittels Modellrechnungen unter Annahme verschiedener agrarpolitischer und betrieblicher Szenarien der Einfluss neuer Pflanzensorten auf das Betriebseinkommen, den Pflanzenschutzmitteleinsatz und die Anbauverhältnisse in der Fruchtfolge untersucht (Tab. 5). Beide Studien kommen zu dem Schluss, dass angesichts der zunehmenden Liberalisierung des Marktes und den damit sinkenden Produktpreisen vor allem im Ackerbau die neuen Pflanzensorten zumindest kurzfristig die Wettbewerbsfähigkeit verbessern können. Mit dem Szenario *Gentechnik* stehen dem Betriebsleiter Pflanzensorten zur Verfügung, die auf konventionellem züchterischen Wege bisher nicht zu realisieren waren.

Tab. 5: Annahmen für die Modellrechnungen zur betriebswirtschaftlichen Analyse (EGGENSCHWILER et al. 1999)

Annahmen	Varianten
I. Produktionsverfahren	Konventioneller Anbau Integrierter Anbau Biologischer Anbau

¹⁴ In: SCHULTE und KÄPPELI (1996) (Hrsg.) Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft? Band 1 (Materialien), SPP Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds Bern, 632 S., BATS, Basel

¹⁵ Eggenschwiler et al. (1999) Betriebswirtschaftliche Analyse des Einsatzes biologisch-technischen Fortschritts unter Einbezug gentechnischer Varianten. TA-Projekt Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik, Studie 3/6, BATS, Basel

II. Betriebstyp	Ackerbau (Talgebiet) Milchvieh / Ackerbau (Bergzone I)
III. Szenario „Gentechnik“ Kulturen mit Resistenzen gegenüber • Krankheiten • Schädlingen • Herbiziden	Weizen Braunrost Kartoffel Phytophthora / Kartoffelkäfer Zuckerrübe Rhizomania / Breitband-Herbizid Mais Maiszünsler / Breitband-Herbizid Raps Breitband-Herbizid
IV. Agrarpolitisches Umfeld	Referenzjahr 1998 Referenzjahr 2003 (Stärkere Liberalisierung des Marktes). Im Blickpunkt: Konkurrenzkraft des Ackerbaus
Zielgrösse	Maximierung des landwirtschaftlichen Einkommens

3.2.1 Verbesserung der ökonomischen Situation

Die von EGGENSCHWILER et al. (1999) durchgeführten Untersuchungen lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Die im Rahmen der Studie ausgewählten Kulturarten mit neuen Resistenzeigenschaften tragen zu einer Verbesserung der ökonomischen Situation der schweizerischen Landwirtschaft bei. Aufwandeinsparungen und höhere Erträge erklären dieses Ergebnis. Integriert arbeitende Betriebe erzielen im Vergleich zu konventionell und biologisch wirtschaftenden Betrieben das höchste Einkommen. Der Biologische Landbau würde von der Nutzung der neuen Resistenzen besonders profitieren.
- Die Konkurrenzkraft des Ackerbaus wird durch den Einsatz der neuen Sorten gegenüber der Tierproduktion gestärkt.
- Durch die Liberalisierung des Marktes muss für das Szenario „Jahr 2003“ mit einem massiven Preisrückgang im Ackerbau gerechnet werden. Dieser Preisrückgang bewirkt eine geringere Konkurrenzkraft des Ackerbaus gegenüber der Tierhaltung. Eine Reduktion der Ackerfläche im Betrieb ist die Folge. Der Anteil der durch Direktzahlung besonders geförderten Brachen und extensiven Grünlandwirtschaft wird in der Folge ausgedehnt.
- Die neuen Sorten können diesen Trend - trotz Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Ackerbaus - nur bedingt aufhalten. Markante Verbesserungen der Einkommenssituation sind aber durch deren Einsatz nach wie vor gegeben. Hier ist einschränkend zu sagen, dass die meisten der untersuchten Fallbeispiele erst mittel- bis langfristig der Praxis zur Verfügung stehen werden.
- Die langfristige Wettbewerbsfähigkeit des Ackerbaus wird in Zukunft vor allem durch die Ausgestaltung der Direktzahlungen bestimmt.

3.2.2 Einschränkungen – Gesellschaftliche Akzeptanz

In der Vergangenheit wurden die Fortschritte der Pflanzenzüchtung genutzt, um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und zu verbessern. Sorten wurden nach ihrem Ertragsniveau, nach Resistenzen gegenüber Krankheiten und Schädlingen und marktrelevanten Qualitätsparametern ausgewählt. Der züchterische Hintergrund spielte dabei keine Rolle. Dies hat sich mit Einführung der Gentechnik geändert. Nicht mehr

primär die züchterische Verbesserung, sondern die Frage nach der Art der Züchtung rückt in den Vordergrund. Die Betriebsentscheidung zur Sortenwahl wird sich zumindest kurz- bis mittelfristig an anderen als bisher üblichen Kriterien orientieren. Die gesellschaftliche Akzeptanz wird darüber entscheiden, ob sich ein Absatzmarkt für gentechnisch veränderte Produkte ergibt.

3.3 Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik – Herausforderungen an die Umweltforschung

3.3.1 Begleitforschung und Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen

Land- und Forstwirtschaft nutzen zusammen grosse Flächen der Schweiz, um Nahrungsmittel, Futtermittel und Rohstoffe zu erzeugen. Diese Nutzung hat Einfluss auf die Güter Wasser, Luft, Boden und Natur, soweit es die Biodiversität betrifft. Eine wichtige Frage im Rahmen des Schutzes dieser Güter ist, in welchem Masse sie durch die Nutzung beansprucht oder sogar geschädigt werden. In diesem Zusammenhang – der Beobachtung von Veränderungen durch die Landwirtschaft und deren Bewertung in Hinblick auf nachteilige Auswirkungen auf die Schutzgüter – stellen sich für die Umweltforschung zahlreiche Aufgabenfelder. So mangelt es nicht nur an Wissen um die exakten Auswirkungen pflanzenbaulicher Massnahmen auf die Biozönose, sondern auch an einer abgestimmten Methodik, wie einzelne Indikatoren oder deren Gesamtheit herangezogen werden könnten, um Produktionsverfahren in ihrer Wirkung auf eine nachhaltige Entwicklung der Landnutzung zu beurteilen (WERNER et al. 2000). Speziell im Zusammenhang mit der Einführung neuer Techniken wären des Weiteren vorausschauende Folgenabschätzungen von grossem Wert, beispielsweise auf Basis von Modellen, die die Wirkungen von Anbauverfahren praxisnah abbilden können.

Für die Umweltforschung bzw. ökologische Auswirkungsforschung ergeben sich somit weite Themenfelder. Mit dem Anbau gentechnisch veränderter Sorten rücken weitere Untersuchungsaspekte in den Blickpunkt. Werden im Rahmen der (sicherheitsorientierten) Begleitforschung vor Inverkehrbringen transgen- und kulturpflanzenspezifische Untersuchungen zur biologischen Sicherheit auf Labor-, Gewächshaus- und Freisetzungsebene durchgeführt, wird sich das anbaubegleitende Monitoring insbesondere mit Fragen langfristiger und indirekter Auswirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen und den entsprechenden Anbauverfahren befassen (Abb. 2 und 3). Hier ist denkbar, dass Erkenntnisse aus der ökologischen Auswirkungsforschung Impulse für neue Fragestellungen geben und zur Unterstützung bei der Beurteilung von Ergebnissen aus Begleitforschung und Monitoring dienen können.

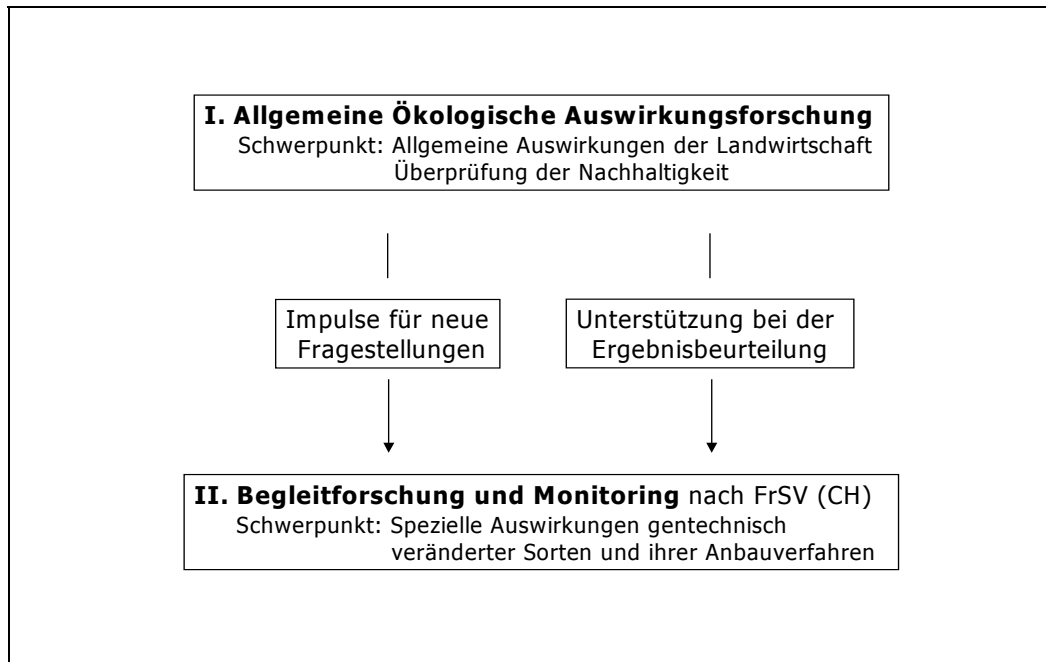


Abb. 2: Zusammenhang zwischen ökologischer Auswirkungsforschung einerseits und Begleitforschung und Monitoring gentechnisch veränderter Sorten andererseits

Der Anbau gentechnisch veränderter Sorten unterliegt einem Bewilligungsverfahren, bei dem die Unbedenklichkeit für die menschliche Gesundheit und die Umwelt geprüft wird. Eine Bewilligung zum Inverkehrbringen und damit freiem Anbau erfolgt dann, wenn Gefährdungen für Mensch und Umwelt nicht zu erwarten sind und mögliche nachteilige Folgen als vertretbar erachtet werden. Während direkte Wirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, beispielsweise die Toxizität der neuen Genprodukte, recht gut überprüfbar sind, bereitet die Beurteilung ökologischer Zusammenhänge aufgrund ihrer Komplexität grundsätzlich Schwierigkeiten. So können auf Basis der zeitlich und räumlich begrenzten Freisetzungsversuche Aussagen zu möglichen langfristigen Auswirkungen eines grossflächigen landwirtschaftlichen Anbaus nur bedingt getroffen werden.

Im Rahmen der zum 1. November 1999 in Kraft getretenen Freisetzungsverordnung¹⁶ (FrSV) kann eine Bewilligung für gentechnisch veränderte Pflanzen an begleitende Sicherheitsuntersuchungen oder an die Durchführung eines längerfristigen Umweltmonitorings gebunden werden¹⁷. Nach dem derzeitigen Stand zur Novellierung der europäischen Freisetzungsrichtlinie 90/220/EWG¹⁸ wird aller Voraussicht nach ebenfalls eine Überwachung nach der Zulassung eingefordert werden können. Die Überprüfung von Hypothesen über nachteilige Umweltfolgen und die Verbesserung der Prognosesicherheit bei Entscheidungen zum Inverkehrbringen sind wichtige Argumente für ein Monitoring auch nach der Bewilligung.

3.3.2 Begriffe und Definitionen

In Bezug auf sicherheitsrelevante Untersuchungen zu gentechnisch veränderten Pflanzen wird grundsätzlich unterschieden in (1) Begleitforschung und (2) Monitoring. Die

¹⁶ Verordnung vom 25. August 1999 über den Umgang mit Organismen in der Umwelt (Freisetzungsverordnung, FrSV)

¹⁷ BUWAL Pressemitteilung vom 25. August 1999

¹⁸ Gemeinsamer Standpunkt des Rates im Hinblick auf den Erlass der Richtlinie des Europäischen Parlaments und Rates über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG (11216/99), Rat der Europäischen Union; Brüssel, 26. November 1999

Begleitforschung [im engeren (sicherheitsorientierten) Sinne]¹⁹ befasst sich mit zeitlich und räumlich begrenzten Untersuchungen. Hier kann zwischen der

- *Experimentellen Sicherheitsforschung* auf Labor- und Gewächshausebene und der
- *Freisetzungsbegleitenden Sicherheitsforschung* unterschieden werden.

Das Monitoring – nach FrSV als „Überwachung“ bezeichnet - umfasst dagegen längerfristige Untersuchungen. Von verschiedenen Autoren und Arbeitsgruppen^{5,20,21} wird hierfür der Begriff „anbaubegleitendes Monitoring“ vorgeschlagen. Da derzeit noch weitere Begriffe diskutiert werden, findet sich in Tab. 7 eine Zusammenstellung.

Tab. 7: Begriffe und Erläuterungen zum Begriff Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP)

Begriffe	Erläuterungen
Überwachung nach FrSV, Schweiz	Anders als in den räumlich und zeitlich eher eng begrenzten Begleitforschungsprojekten sollen bei der Überwachung (Monitoring) Fragestellungen zu möglichen Gefährdungen von GVO auf langfristiger Basis verfolgt werden.
Überwachung nach Vorschlag zur Novellierung der RL 90/220/EWG ¹⁸	<u>Zeitraum:</u> nach der Genehmigung zum Inverkehrbringen. Beinhaltet eine - „Allgemeine überwachende Beobachtung (<i>general surveillance</i>) und - „Fallspezifische Überwachung“ (<i>case specific monitoring</i>).
Anbaubegleitendes Monitoring	Beinhaltet ein allgemeines und spezifisches Monitoring von Effekten des Anbaus von GVP auf die Umwelt. Dabei erfolgt ein Vergleich mit konventionellen Sorten und Anbausystemen. Monitoringflächen sind: - die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LN) und - die unmittelbar angrenzenden Flächen, die einem unmittelbaren Einfluss aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung unterliegen ²¹ .
a) <i>general surveillance</i>	Das allgemeine Monitoring soll dem Erkennen seltener und unerwarteter Ereignisse dienen. Fragestellungen sind weitgehend offen und werden unabhängig von einer Risikobewertung gestellt (keine direkten Ursache-Wirkungs-Hypothesen). Zielt auf die allgemeine Beobachtung von GVP in Anbausystemen und der Umwelt ab ²¹ .
b) <i>case specific monitoring</i>	Für einige GVP können weitere konkrete, wissenschaftliche Fragestellungen untersucht werden, wie sie bei der Sicherheitsbewertung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens definiert wurden (Fall-zu-Fall-Betrachtung mit Ursache-Wirkungs-Hypothesen) ²¹ .

Fortsetzung – Tabelle 7

Begriffe	Erläuterungen
<i>Weitere Begriffe</i>	

¹⁹ In Ergänzung: Begleitforschung [im weiteren Sinne]: „Begleitende (Nutzen-) Forschung“. Zeitraum: vor und nach der Genehmigung zum Inverkehrbringen; Themenkatalog der sicherheitsorientierten Begleitforschung wird um agronomische und ökonomische Fragestellungen erweitert.

²⁰ SCHULTE (1998) Zielsetzungen für die Entwicklung eines anbaubegleitenden Monitorings bei Einsatz gentechnisch veränderter Sorten. UBA Texte 77/98, 97-100, Umweltbundesamt Berlin

²¹ SCHIEMANN (2000) Die BBA-Arbeitsgruppe „Anbaubegleitendes Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen im Agrarökosystem“. In: Schiemann (Hrsg.) Biologische Sicherheit – Proceedings zum BMBF-Statusseminar 29. – 30. Juni 1999, Braunschweig

Intensiv-Monitoring / Extensiv-Monitoring ²²	Auf ein intensives Dreijahres-Monitoring nach der Zulassung folgt ein extensives Monitoring. Schwerpunkt sind Biodiversität-Monitoring den Naturraum und Ökologie-Monitoring den Agrarraum betreffend.
Spezielles Monitoring / Allgemeines Monitoring ²³	Zeitlich begrenzte Untersuchungen zu den Auswirkungen von GVP auf Ökosysteme (spezielles Monitoring) und langfristig angelegte Beobachtung von Ökosystemen, die durch das Inverkehrbringen von GVP beeinflusst werden könnten (allgemeines Monitoring).
Biodiversitäts- Monitoring ²⁴	Das im Aufbau begriffene Biodiversitätsmonitoring des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) beobachtet die Entwicklungstrends einheimischer Flora und Fauna. Bisher <i>ohne</i> GVO-Bezug.

Zur besseren Übersicht wird in Abb. 3 die schrittweise Erweiterung der begleitenden Sicherheitsforschung über a) Labor-, b) Gewächshaus- und c) Freisetzungsversuche bis auf Ebene des d) anbaubegleitenden Monitoring dargestellt.

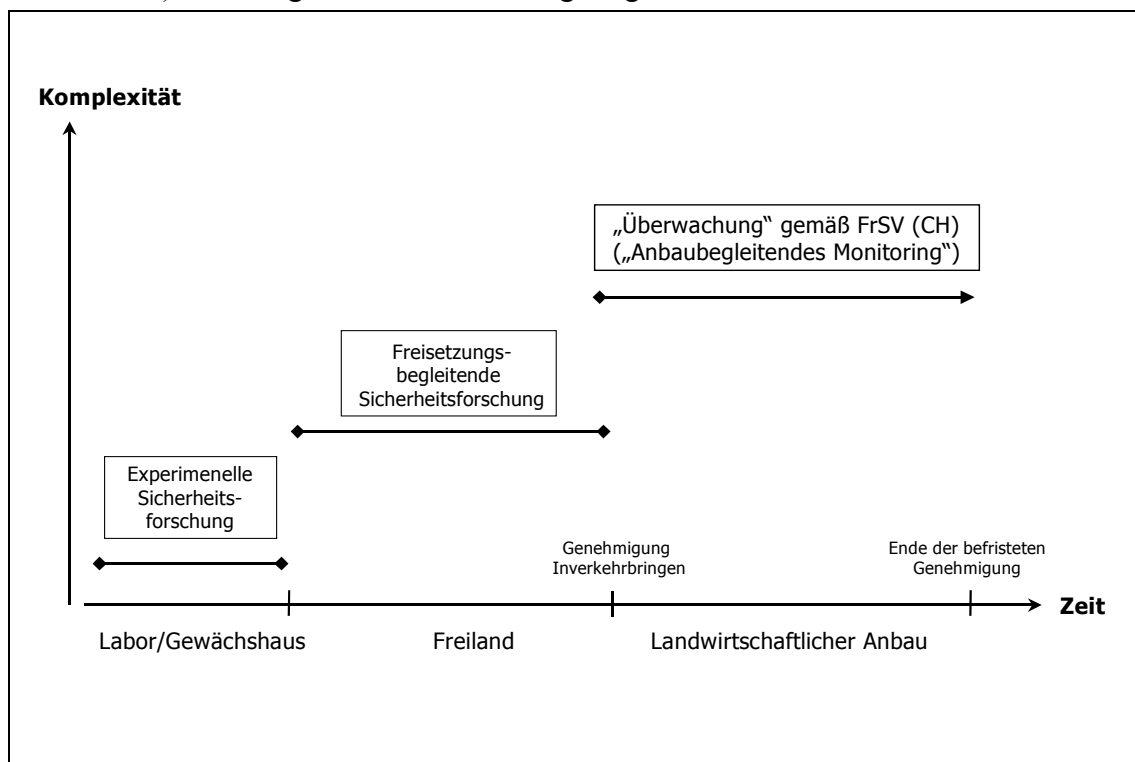


Abb. 3: Von der experimentellen Sicherheitsforschung zum anbaubegleitenden Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen

3.3.3 Begleitforschung - Beispiel: Energieeffizienz neuer Pflanzensorten

Untersuchungen zu den Stoffflüssen, den Bodenveränderungen und zum direkten (Kraft- und Brennstoffe) und indirekten Energieverbrauch (Herstellung von Dünge- und Pflanzenschutzmittel) sind klassische Ansätze, um die Umweltverträglichkeit von Anbauverfahren auf abiotischer Seite zu überprüfen. In WERNER et al. (2000) wurde die Energieeffizienz der pflanzlichen Produktion zur Bewertung herangezogen. Dabei wird die

²² Ammann et al. (1999) Konzept und praktische Lösungsansätze zur ökologischen Begleitforschung. TA-Projekt Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik, Studie 6/6 BATS, Basel

²³ Pfanzagl (1999) Begleituntersuchungen bei gentechnisch veränderten Pflanzen. Band 114, UBA Wien

²⁴ Kohli (1999) Biodiversitätsmonitoring Schweiz. BUWAL Bern

über den Naturalertrag (Ganzpflanze) in Form von Biomasse erzeugte Energie in Beziehung zu der für die Produktion und ihrer Vorbereiche (Maschinen-, Düngemittel- und Pflanzenschutzmittelherstellung etc.) insgesamt eingesetzten Energie gesetzt. Eine hohe Energieeffizienz deutet auf einen schonenden Umgang mit abiotischen Ressourcen hin. Die eingangs von WERNER et al. (2000) definierte Hypothese, dass der Einsatz von Sorten mit verbesserten (transgenen) Resistenzeigenschaften zu einem geringeren Energieeinsatz und damit höherer Energieeffizienz führt, konnte für ausgewählte Fallbeispiele *bestätigt* werden. Basis der Untersuchungen waren die von EGGENSCHWILER et al. (1999) definierten Betriebs- und Bewirtschaftungsvarianten. Als Ursache sind die geringeren energetischen Aufwendungen im Bereich des Pflanzenschutzes, insbesondere die Einsparung der energetisch bedeutsamen Überfahrten zur Ausbringung der Pflanzenschutzmittel bzw. zur Durchführung der mechanischen Unkrautregulation zu nennen. Der Energiebedarf für die Herstellung von Pflanzenschutzmitteln ist dagegen vergleichbar gering.

Die effizientere Umsetzung der eingesetzten Energie beim Anbau von resistenten (transgenen) Sorten gegenüber Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern ist sowohl für die konventionellen wie integrierten Produktionsverfahren festzustellen. Ändern sich die Anbauverhältnisse unter den zukünftigen agrarpolitischen Rahmenbedingungen (Szenario „Jahr 2003“) in Richtung höherer Anteile von Brachland und extensivem Grünland auf Kosten der Ackerbaufläche, sind keine Vorteile durch den Anbau transgener Sorten auf Seiten der Energieeffizienz mehr zu erkennen. Biologisch wirtschaftende Betriebe zeigen in allen Szenarien geringere Energieeffizienzwerte.

3.3.4 Begleitforschung - Beispiel: Modellierung biotischer Wirkungen resistenter (transgener) Pflanzensorten

Ein Ansatz, der bereits im Vorfeld der Einführung gentechnisch veränderter Sorten Aussagen über mögliche ökosystemare Auswirkungen liefern könnte, wäre die Entwicklung von Modellen, mittels der - durch möglichst praxisnahe Abbildung ökosystemarer Verhältnisse – externe Effekte wie beispielsweise Bewirtschaftungsweisen analysiert werden. In der Studie von WERNER et al. (2000) wird ein methodischer Ansatz vorgestellt, der die Wirkung von Anbausystemen (biologisch, integriert und intensiv im Vergleich) und Bewirtschaftungsweisen (beispielsweise Pflanzenschutzmitteleinsatz, Düngung und Bodenbearbeitung) in ihrer Gesamtheit auf die Ackerbiozönose beschreibt. Es handelt sich um einen in seiner Art erstmaligen Ansatz, Wirkungen von landwirtschaftlichen Anbauverfahren auf den Biotopwert von Kulturarten auf der Basis von Indikator-Organismen, Wirkungsmatrizen und Bewertungsalgorithmen abzubilden.

Da die vollständige Abbildung von Biozönosen aufgrund ihrer Komplexität heute noch nicht möglich ist, können auch die Effekte von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsweisen einschliesslich der Integration neuer Sorten ebenfalls nur unvollständig beschrieben werden. Deshalb wurde bei WERNER et al. (2000) ein spezieller Ansatz gewählt. Durch die Definition einer *charakteristischen Ackerbiozönose* auf der Grundlage ausgewählter Indikatoren (Zeiger-Organismen) als Bezugsgrösse, konnten der Einflüsse von Bewirtschaftungsmassnahmen quasi als Störeffekte abgebildet werden.

Eine wichtige Voraussetzung für die Ableitung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen ist jedoch die genaue Kenntnis der ökologischen Ansprüche der ausgewählten Zeiger-Organismen und ihrer Sensibilität gegenüber Bewirtschaftungsweisen. Die Eignung von Kulturarten (bzw. Ackerflächen) als Biotop für die Indikator-Organismen war im Modell sowohl im unbewirtschafteten wie im bewirtschafteten Zustand bekannt. Der Biotopwert

einer Kulturart reichte in der Bewertungsskala von „die Ansprüche der Indikator-Organismen werden optimal erfüllt“ bis „der (die) Indikator(en) findet(n) keinen Lebensraum“. Die Bewirtschaftungsmassnahmen wurden des Weiteren in ihrer Wirkung gewichtet, indem die Schwere ihres biotischen Einflusses berücksichtigt wurde. Kurzfristige reversible Effekte auf die Biozönose bis zu langfristigen und den Artenschutz berührende Wirkungen waren zu unterscheiden. Die Bewertungsskala reichte hier von „Wirkung nur auf einzelne Individuen und unerhebliche Veränderungen der Population und Zönose“ bis „Populationsvernichtende Wirkung und Totalveränderung der Zönose“. Auf diese Weise konnten Anbauverfahren (biologisch, integriert und intensiv) bei Berücksichtigung aller in der Kultur nötigen anbautechnischen Massnahmen in ihrer Wirkung sowohl auf einzelne Indikator-Organismen als auch auf deren Gesamtheit, also letztendlich auf die Ackerbiozönose, abgebildet werden. Die in den Modellrechnungen berücksichtigten Anbauverfahren und Kulturen waren diejenigen, die speziell für den betriebswirtschaftlichen Teil der Gesamtstudie definiert wurden (siehe Kapitel 3.2).

Bei dem von WERNER et al. (2000) vorgestellten Modell handelt sich um einen neuen methodischen Ansatz, der anbautechnische Wirkungen in ihrer Gesamtheit erfassen und bewerten will. In der gegenwärtigen Entwicklungsphase des Modells sind jedoch aufgrund der allgemein mangelnden Datenbasis über ökosystemare Beziehungen und der sehr eingeschränkten und selektiven Auswahl von Indikator-Organismen *nur bedingt* verallgemeinernde Aussagen möglich. Die Ergebnisse ihrer Analysen können folgendermassen zusammengefasst werden:

(1) *Herbizidresistenz* - Das Intensitätsniveau der bisherigen Bewirtschaftung ist bei den untersuchten Anbauverfahren bereits sehr hoch. Der Einsatz herbizidtoleranter Kulturen führte im besten Fall zu einem Gleichbleiben, in der Regel aber zu tendenziellen Verschlechterungen der Biotopeignung der entsprechenden Ackerflächen. Tatsächliche qualitative Verschlechterungen waren aber nur bei einem der vier Fallbeispiele im Szenario Integrierte Produktion feststellbar. Nach Meinung der Autoren wird der Einsatz breitwirksamer Komplementärherbizide langfristig zu einer Verschlechterung der Biotopeignung von Ackerflächen führen. Die in der Praxis verfolgte Strategie der Minimierung der Restverunkrautung wird durch die flexible Anwendung der Komplementärherbizide unterstützt.

(2) *Sorten mit neuen Resistenzen gegenüber Schaderregern und Krankheiten* - In der Regel können durch resistente Sorten Pflanzenschutzmassnahmen reduziert werden. Verbesserungen für die Ackerbiozönose sind vor allem aufgrund geringerer Nebenwirkungen auf Nicht-Zielorganismen und weniger Störungen aufgrund geringerer Anzahl an Überfahrten zu erwarten. Für die ausgewählten Indikator-Organismen bedeutete der Einsatz der resistenten Pflanzensorten in 2 von 3 Fällen für das Szenario „Konventioneller Anbau“ eine Verbesserung, für das Szenario „Integrierte Produktion“ dagegen keine qualitative Verbesserung.

Die Autoren ziehen bezugnehmend auf die eingangs formulierte Hypothese (Kapitel 2.2) den Schluss, dass die ausgewählten Pflanzensorten nur in wenigen Fällen die allgemeinen negativen Wirkungen der ackerbaulichen Landnutzung auf die Ackerbiozönose verbessern können (WERNER et al. 2000).

3.3.5 Anbaubegleitendes Monitoring

Das anbaubegleitende Monitoring soll darauf abzielen, Wissenslücken über Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen möglichst zu schliessen, aber auch, um die im Rahmen des Bewilligungsverfahren vorgenommene Sicherheitsbewertung

zu überprüfen. Mittels des noch zu entwickelnden Monitorings erhofft man, insbesondere solche Auswirkungen rechtzeitig zu erkennen, die unerwarteterweise eintreten oder von denen man angenommen hatte, dass die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens sehr gering ist. Zwei wichtige Funktionen des Monitorings lassen sich daraus ableiten²⁵:

- a) zum einem soll es dem *Erkenntnisgewinn* dienen, um Prognosen und Wirkungshypothesen zu etwaigen nachteiligen Auswirkungen zu klären. Das Monitoring kann somit eine wertvolle Unterstützung beim Abbau von Ungewissheiten und Risikovermutungen über langfristige Auswirkungen sein,
- b) zum anderen soll es als *Frühwarnsystem* dienen, um etwaige schädliche Einwirkungen auf Mensch und Umwelt möglichst frühzeitig wahrnehmen und Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

Ein sehr breites Themenspektrum wird derzeit in Bezug auf die Fragestellung, was im Rahmen des Monitorings beobachtet werden soll, diskutiert. Erste Vorschläge zu den zu beobachtenden Wirkungen und Parametern sowohl für die allgemeine als auch für die fallspezifische Überwachung liegen vor. RAPS et al. (1999) geben eine Übersicht zu möglichen Beobachtungsparametern für die Fallbeispiele Insektenresistenz bei Mais (Bt-Mais) und Pilzresistenz bei Weizen, speziell auf den Agrarraum ausgerichtet. AMMANN et al. (1999) schlagen den Naturraum betreffende Beobachtungsparameter vor. In Tab. 8 wird eine erste Auswahl an Beobachtungsgrößen vorgestellt, die je nach Kulturart und Transgen noch anzupassen sind. Monitoring will Veränderungen in der Umwelt beobachten, die von gentechnisch veränderten Organismen verursacht werden. Die setzt in einem ersten Schritt

- ein *Erkennen* von Auffälligkeiten voraus, die möglicherweise auf gentechnikspezifische Effekte zurückzuführen sind. Dazu ist der Vergleich zu einer Kontrolle bzw. einem *Referenzzustand* – d.h. einem Zustand, der unbeeinflusst von der Wirkung gentechnisch veränderter Organismen ist, zu ziehen – und verlangt zum anderen

- ein *Bewerten* der festgestellten Auffälligkeiten in Bezug auf die Schutzgüter der FrSV. In der Folge ist darüber zu entscheiden, ob Bewilligungen bestätigt, entzogen oder ggf. weitere gezielte Untersuchungen anzustellen sind (Abb. 4). AMMANN und VOGEL (1999) wählten in diesem Zusammenhang den Begriff der Abbruchkriterien²⁶.

Tab. 8: Vorschläge zu Beobachtungen im Rahmen des anbaubegleitenden Monitorings gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) (verändert und ergänzt nach RAPS et al. 1998)

Vorschläge zu Beobachtungen im Rahmen der Überwachung (Monitoring) von GVP	
I. Direkte Wirkungen GVP	- Unerwartete phäno- und genotypische Abweichungen der GVP z.B. Beobachtung des Wachstums, der Inhaltsstoffe, des Expressionsniveaus der gewünschten Zieleigenschaft (Genprodukte)
II. Agrarökosystem Direkte, indirekte	- Auskreuzung auf verwandte Wildarten (Beobachtung neuer Unkräuter in den Folgekulturen)

²⁵ s. auch AMMANN und VOGEL (1999) Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Organismen. KCB, Basel

²⁶ AMMANN und VOGEL (1999) plädieren in ihrer Expertise für den Kanton Basel-Stadt für einen frühzeitigen Entzug der Genehmigung (*Abbruch*) bereits bei Verdachtsmomenten. Die Autoren schlagen vor, neben der naturwissenschaftlichen Expertise, den in der Gesellschaft diskutierten Bedenken eine stärkere Bedeutung zuzumessen. Demnach sollen sich Massnahmen „...nicht allein auf einer naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise stützen. Was ein ökologischer Schaden ist, bzw. die Wahrnehmung von Schäden unterliegt gesellschaftlichen Wertvorstellungen. Abbruchkriterien sollten in einem möglichst breitem gesellschaftlichen Diskurs erarbeitet und verabschiedet werden“. Gehandelt werden sollte „bereits in Verdachtsmomenten, die nach wissenschaftlichen Normen nur als Hypothesen gelten.“

Vorschläge zu Beobachtungen im Rahmen der Überwachung (Monitoring) von GVP	
und späte Wirkungen	<ul style="list-style-type: none"> - Resistenzentwicklung bei Schädlingen / Krankheiten / Unkräutern - Bodenfruchtbarkeit (Bodenabbau der Genprodukte, Horizontaler Gentransfer) - Veränderungen in der landwirtschaftlichen Praxis (Dünger- und Pflanzenschutzmitteleinsatz, Erosion) - Beeinflussung von Nützlingen und in der Nahrungskette nahe stehender Organismen
III. Naturnahe Ökosysteme - Direkte, indirekte und späte Wirkungen	<ul style="list-style-type: none"> - Ausbreitungs- und Verwilderungsverhalten der GVP - Verdrängung von Wildpflanzen, Bestandesänderungen bei Rote-Liste-Arten - Gentransfer in Wildpopulationen (Introgression) - Beeinflussung der Fauna
<p><i>Direkte Wirkungen</i> Die Überprüfung direkter Wirkungen von GVO ist Aufgabe der Risikobewertung <u>vor</u> Zulassung. Monitoring kann dagegen zur Detektion von unerwarteten Effekten dienen, die beispielsweise auf phäno- und genotypische Abweichungen der gentechnisch veränderten Pflanze beruhen.</p> <p><i>Indirekte und späte Wirkungen</i> Wirkungen, die nicht direkt durch die gentechnisch veränderte Pflanze, sondern durch eine Kausalkette von Ereignissen, z.B. durch Wechselwirkungen mit anderen Organismen oder durch die Anbaupraxis hervorgerufen werden.</p>	

Zur Detektion phäno- und genotypischer Abweichungen gentechnisch veränderter Sorten bietet sich der direkte Vergleich mit der nicht-transgenen Sorte an. Zur Überprüfung von etwaigen Wirkungen von GVP-Anbauverfahren bietet sich der Vergleich mit konventionellen Anbauverfahren an. Dies ist jedoch nicht ganz einfach, da Bewirtschaftungspraktiken dem technischen Fortschritt unterliegen und je nach Standort variieren. RAPS et al. (1999) schlagen deshalb vor, als Referenzzustand Flächen bewirtschaftet nach den Richtlinien der *Integrierten Produktion* zu wählen.

Nicht einfacher gestaltet sich die Überprüfung und vor allem Bewertung von Wirkungen auf benachbarte Naturräume. Auch die naturnahen Ökosysteme sind nicht statisch, sie unterliegen einer fortwährenden Veränderung. Wenn Monitoring mögliche nachteilige Auswirkungen des Anbaus gentechnisch veränderter Nutzpflanzen für benachbarte *Naturräume* detektieren will, so ist auch hier der Bezug zu einem Referenzzustand nötig, der die Situation ohne die Wirkung gentechnisch veränderter Organismen dokumentiert. Hier sei auf das im Aufbau begriffene Biodiversitätsmonitoring (BDM-CH) hingewiesen. In einer langfristig angelegten Dauerbeobachtung soll die Biodiversität der Schweiz überwacht werden. Es ist vorgesehen, auf der Basis von ungefähr dreissig Indikatoren den Zustand der Biodiversität (Zustandsindikatoren), die Überwachung von Einflussfaktoren und der Vollzug von Massnahmen (Einfluss- und Massnahmenindikatoren) zur Erhaltung der Biodiversität durchzuführen. AMMANN et al. (1999)²² schlagen vor, Indikatoren des Biodiversitätsmonitorings (BDM-CH) für das Monitoring von GVO zu nutzen.

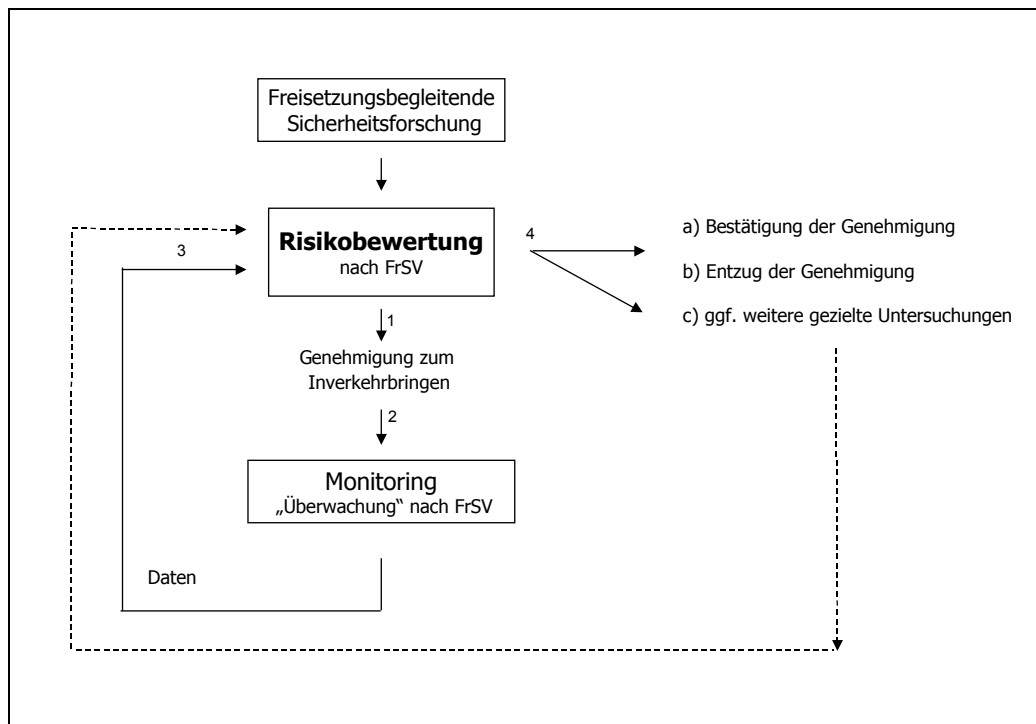


Abb. 4: Inverkehrbringung und Monitoring („Überwachung“) gentechnisch veränderter Pflanzen - Möglicher Informations- und Entscheidungsverlauf

4 Ausblick

Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung kann aus Sicht unterschiedlicher Wissenschaftsdisziplinen und Interessenslagen beschrieben werden. Je nachdem, welcher Blickwinkel eingenommen wird, ergeben sich unterschiedliche Sichtweisen über Ziele und Umsetzungsstrategien. Wie wird der Beitrag der Gentechnik aus Sicht der Autoren der Studie beurteilt? Und welche Schlussfolgerungen lassen sich daraus ziehen? Im Folgenden soll das Argumentationsspektrum theseartig zusammengefasst werden.

► *Starke und Schwache Nachhaltigkeit*

Nachhaltige Entwicklung wird als Prozess verstanden, der gleichermassen ökonomischen, ökologischen, sozialen und ethischen Forderungen gerecht werden soll. Eine grosse Herausforderung, da es sich um konkurrierende Ansprüche handelt. Güterabwägungen sind nötig. EGGENSCHWILER et al. (1999) weisen in diesem Zusammenhang auf das Konzept der starken und der schwachen Nachhaltigkeit hin. Bei der starken Nachhaltigkeit darf weder das ökologische, noch das ökonomische und soziale Kapital zu Gunsten des jeweilig anderen abnehmen, während beim Konzept der schwachen Nachhaltigkeit negative Veränderungen des ökologischen, ökonomischen oder sozialen Kapitals zur Erhöhung des Gesamtnutzen-Niveaus bis zu gewissen Grenzen in Kauf genommen werden darf. Die Aufgabe der Wissenschaft ist es dabei, kritische Werte - quasi Minimalerfordernisse - festzustellen, deren Unterschreitung eine irreversible Veränderung des Systems zur Folge hätte. Welche Kompromisse letztendlich einzugehen sind, kann aber nur im gesellschaftlichen Diskurs ausgehandelt werden. Im Falle der Gentechnik bedeutet dies, dass nicht die wissenschaftliche Analyse Nachhaltigkeit –schwach oder stark ausgeprägt - attestieren kann, sondern die Gesellschaft entscheiden muss, ob nur die grossen oder auch die kleinen Schritte in Richtung Nachhaltigkeit akzeptiert werden können.

► *Grosse und kleine Schritte*

WERNER et al. (2000) und EGGENSCHWILER et al. (1999) kommen in der ökologischen wie ökonomisch Analyse zum Schluss, dass die ausgewählten neuen Pflanzensorten nicht den erhofften Schub in Richtung Nachhaltigkeit bringen. WERNER et al. (2000) weisen darauf hin, dass die untersuchten Sorten im Einzelfall keinen oder nur einen marginalen ökologischen Beitrag zur Biotopverbesserung für die Ackerbiozönose liefern. Zwar ist das ökologische Potential vorhanden - dies wird von SCHMID et al. (1999) für den langfristigen Zeithorizont bestätigt – jedoch sind derzeit auf Basis der ausgewählten Fallbeispiele bestenfalls nur geringfügige Verbesserungen des ökologischen Zustandes zu erkennen. Wird dagegen die Energieeffizienz (das Verhältnis der in Biomasse erzeugten Energie zur insgesamt eingesetzten Energie) berücksichtigt, so kann der Einsatz von Sorten mit verbesserten (transgenen) Resistenzeigenschaften zu einer Verbesserung der Energieeffizienz führen. Nach EGGENSCHWILER et al. (1999) ist durch den Einsatz der neuen Sorten zwar ein betriebswirtschaftlicher Nutzen erkennbar, die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe wird aber letztendlich durch andere Faktoren wesentlich stärker gestützt. Die agrarpolitischen Rahmenbedingungen, der internationale Wettbewerb und die nationalen Stützungsmaßnahmen, wie beispielsweise die Höhe der staatlichen Direktzahlungen für ökologische Leistungen, nehmen hier einen ganz entscheidenden Einfluss.

► *Flexibilität*

Das Konzept der Nachhaltigen Entwicklung darf nicht starr definiert werden, sondern muss an den sich verändernden Einflüssen und Rahmenbedingungen angepasst werden können. Ein System, das solche Flexibilität nicht gewährleistet, indem beispielsweise bestimmte Produktionssysteme oder –elemente kategorisch - ungeachtet ihrer Tauglichkeit im Einzelfall - ausgeschlossen werden, ist als Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung nicht geeignet. Die Vielzahl der Probleme in der Landwirtschaft verlangt nach ebenso vielen Lösungsansätzen. Dabei sollte jeder Ansatz geprüft und die ausgewählten Strategien fortwährend anpasst werden können. Entwicklungen der Gentechnik sollten nicht von vornherein ausgeschlossen werden. Wert ist vielmehr auf eine stärkere Überwachung (Monitoring) der jeweiligen Anbaustrategien auf nachteilige Umweltwirkungen zu legen. Dazu gehört auch, die noch erheblichen Defizite im Wissen um die exakten Auswirkungen pflanzenbaulicher Massnahmen insgesamt auf die Biozönose abzubauen und Indikatoren zur Bewertung verbindlich festzulegen.

Kriterien für die Pflanzenzüchtung unter besonderer Berücksichtigung des Potentials der modernen Biotechnologie²⁷

J. E. SCHMID, O. KÄSER, B. FEIL, P. STAMP

Institut für Pflanzenwissenschaften, Gruppe *Ackerbau und Pflanzenzüchtung*
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), 8092 Zürich

Zusammenfassung

1 Bedeutung der Nachhaltigkeit für den landwirtschaftlichen Pflanzenbau

2 Züchtungsrelevante Aspekte einer nachhaltigen Landwirtschaft

2.1 Grundlagen der Pflanzenzüchtung

2.2 Zuchtziele für eine nachhaltige Landwirtschaft

2.2.1 Stickstoff (N)

2.2.1.1 Senkung des N-Bedarfs der Kulturpflanzen

2.2.1.2 Biologische Stickstofffixierung

2.2.2 Phosphor (P)

2.2.2.1 Verbesserung der P-Aufnahmeeffizienz

2.2.2.2 Reduktion des P-Exports durch Abfuhr des Erntegutes

2.2.2.3 Das Phytatproblem

2.2.3 Fruchtfolge

2.3 Schlussfolgerungen

3 Zuchtverfahren

4 Fallstudien mit Modellkulturen

5 Schlussfolgerungen

6 Literatur

²⁷ Zusammenfassung der Fachstudie von Schmid et al. (1999), BATS Report 5/6, 53 S. (siehe Kap. 8)

Zusammenfassung

Die Einschätzung der Eignung von Pflanzensorten (transgen oder nicht transgen) für die nachhaltige Landwirtschaft soll flexibel und fallbezogen vorgenommen werden, damit veränderten Rahmenbedingungen (z.B. Preisgestaltung, Auftreten neuer Krankheiten und Schädlinge) Rechnung getragen werden kann. Dabei gilt es, das Potential der modernen Biotechnologie sinnvoll zu nutzen und eine kompetente wissenschaftliche Begleitung zu gewährleisten. Die alleinige Fokussierung der Nachhaltigkeitsprüfung auf transgene Sorten wäre nicht angebracht, da alle für den Markt vorgesehenen Sorten, auch konventionell gezüchtete Sorten, die für eine nachhaltige Landwirtschaft gesetzten Ziele zu erfüllen haben.

1 Bedeutung der Nachhaltigkeit für den landwirtschaftlichen Pflanzenbau

Die Landwirtschaft hat einen besonderen Stellenwert in der Diskussion um Nachhaltigkeit. Zum einen hat sie die Aufgabe, die gesamte Bevölkerung mit Nahrungsmitteln zu versorgen, zum andern wird sie von vielen als die Ursache von unseren Umwelt- und Finanzproblemen schlechthin angesehen. Auf den ersten Blick scheint es aber auch ein Ding der Unmöglichkeit zu sein, Forderungen wie genügend Nahrungsmittel zu produzieren und dabei der Nachhaltigkeit zu entsprechen gleichzeitig zu erfüllen. Im Mittelpunkt der Diskussion um Nachhaltige Landwirtschaft in der Schweiz steht der ökologische Aspekt. Dies bedeutet, dass ökologisch unverträglichen Entwicklungen entgegengetreten werden muss. Die damit einhergehenden Anpassungen haben aber der ökonomischen und sozialen Situation der betroffenen landwirtschaftlichen Bevölkerung Rechnung zu tragen (AP 2002, 1995).

Mit Hilfe von jährlichen Beiträgen wird die Schweizerische Landwirtschaft unterstützt, um so diese ökologischen Ziele zu verwirklichen. Um in den Genuss von solchen Beiträgen zu kommen, muss aber ein ökologischer Leistungsnachweis erbracht werden (Direktzahlungsverordnung, DVZ, AS 1999). Dies sind u.a.:

- ausgeglichene Düngerbilanz (Nährstoffbilanz, Bodenanalysen)
- angemessener Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen
- geregelte Fruchtfolge (Maximaler Anteil der Hauptkulturen)
- geeigneter Bodenschutz (Bodenschutzindex, Erosionsschutz)
- Auswahl und gezielte Anwendung von Pflanzenbehandlungsmitteln

Der Biologische Landbau geht in seinen Anforderungen für eine nachhaltige Landwirtschaft noch weiter, indem er auch den Einsatz von chemisch-synthetischen Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln verbietet und bei der Herstellung von Bio-Produkten nicht nur auf den Einsatz von gentechnisch veränderte Organismen verzichtet, sondern auch auf deren Folgeprodukte (v.a. Enzyme).

2 Züchtungsrelevante Aspekte einer nachhaltigen Landwirtschaft

2.1 Grundlagen der Pflanzenzüchtung

Die Pflanzenzüchtung verfolgt das Ziel, Pflanzen genetisch so zu verändern, dass sie optimal an die Bedürfnisse von Mensch, Tier, Umwelt und Industrie angepasst sind (verändert nach Becker, 1993).

Die Pflanzenzüchtung ist keine Erfindung unserer Zeit. Schon vor mehreren tausend Jahren begann der Mensch, aus Wildpflanzenbeständen einzelne Individuen auszuwählen, welche er aufgrund gewisser Eigenschaften für besonders wertvoll hielt. Diese wurden vermehrt

und wurden so als erste Kulturpflanzen genutzt. Im Laufe der Zeit wurden die gewünschten Eigenschaften dieser Kulturen immer weiter verbessert und weitere neue Kulturarten kamen dazu. Die Ernährung der heutigen Menschheit wäre undenkbar ohne die züchterischen Arbeiten vergangener Jahrhunderte und Jahrtausende (Becker, 1993). Zum Teil wurden Pflanzenarten im Verlaufe ihrer züchterischen Bearbeitung so stark an menschliche Bedürfnisse angepasst, dass sie heute ohne den Menschen keine Überlebenschancen mehr hätten.

Im Verlauf der Zeit haben sich durch die landwirtschaftliche Praxis und die Essgewohnheiten einige Kulturen so stark etabliert, dass sich die meisten Zuchtprogramme auf diese zu konzentrieren begannen. Dies führte zum Teil dazu, dass Zuchtprogramme für gewisse Kulturarten ganz gestrichen wurden und so auch die Kultur für den Anbau immer mehr an Bedeutung verlor. Von den etwa 200'000 existierenden Blütenpflanzen nimmt man an, dass etwa 3'000 möglicherweise für menschliche Bedürfnisse brauchbar sind, 100 davon sind heute wichtige Kulturen, und von diesen werden 8 zu den Hauptkulturen für die Ernährung gezählt [=major food crops] (Weizen, Mais, Reis, Kartoffeln, Gerste, Süsskartoffeln, Manjok und Sojabohne). Von diesen acht Kulturen machen Weizen, Mais und Reis ca. 50% des Pro-Kopf-Verbrauchs in der direkten menschlichen Ernährung aus (Alexandratos, 1995).

Pflanzenzüchtung ist der Grundstein für wirtschaftliche und umweltschonende Wirtschaftsweisen in der Landwirtschaft, denn die Wahl der Sorte gibt vor, wie beispielsweise Pflanzenschutz und Düngung gehandhabt werden müssen. Pflanzenzüchtung ist somit ein wichtiger Bestandteil des integrierten Pflanzenbaus (Keller, 1997; Rausche, 1993). Nicht zu vergessen ist die grundlegende Bedeutung der Pflanzenzüchtung für eine nachhaltige Landwirtschaft, da der Pflanzenbau ausschliesslich von Saatgut oder anderen Fortpflanzungseinheiten abhängig ist, und dies unabhängig vom Bewirtschaftungssystem (Sleper et al., 1991). Pflanzen werden mit Hilfe verschiedener Zuchtmethoden verändert. Dadurch werden die gesetzten Zuchtziele realisiert. Das Erreichen der Zuchtziele ist in der Regel zeit- und kostenaufwendig. Der Aufwand variiert je nach Komplexität der Ziele und der zu verändernden Eigenschaften.

Ablauf eines Züchtungsvorgangs:

- Festlegen der Zuchtziele
- Wahl des geeigneten Zuchtmaterials
- Wahl und Durchführung des optimalen Zuchtverfahrens
- Sortenprüfung und Vermehrung der ausgewählten Zuchtlinien

Die züchterische Bearbeitung eines grossen Spektrums an Kulturarten trägt zu einem umfassenden landwirtschaftlichen Unternehmen bei (Coffman und Bates, 1993):

- Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche
- Produktionsintensivierung in einem vorgegebenen Gebiet
- Ausdehnung der Erntesaison, Vermeidung grosser Verluste
- ökologisch diverse, stabile Habitats in ländlichen Gebieten und mit der daran angepassten Technologie auch in Städten
- Mittel, genetisches Material zu konservieren und den dauernden Zugang dazu zu gewährleisten
- Verminderung des landwirtschaftlichen Inputs durch adaptierte Pflanzen
- Weite Palette von wünschenswerten Nahrungsmitteln nicht nur für den Menschen, sondern auch für das Tier

- Möglichkeit finanzieller Einkommen und verbesserte Lebensbedingungen für die ländliche Bevölkerung.

2.2 Zuchtziele für eine nachhaltige Landwirtschaft

Die ökonomischen, ökologischen, politischen und sozialen Rahmenbedingungen beeinflussen die Zuchtzielsetzung. Im heutigen Umfeld könnten folgende strategischen Schwerpunkte für eine mittelfristige Zielsetzung in der Pflanzenzüchtung und Züchtungsforschung gelten:

1. *Züchtung von Pflanzen mit Eignung für eine umweltschonende Erzeugung von qualitativ hochwertigen, gesunden Produkten unter Beibehaltung eines hohen, stabilen Ertragsniveaus*
2. *Züchterische Bearbeitung von Kultur- und Wildpflanzen zwecks Erschliessung von Märkten mit neuen Produkten*
3. *Entwicklung von Methoden zur Erhöhung der Geschwindigkeit und Flexibilität in der Realisierung neuer Zuchtziele*
4. *Erhaltung, Charakterisierung und Schaffung genetischer Vielfalt*

Die Zielsetzungen der Pflanzenzüchtung sind eng verknüpft mit den allgemeinen Zielen der Landwirtschaft (Becker, 1993), dies wird für nachhaltige Landbausysteme in einer Gegenüberstellung deutlich (Tab. 1).

Tab. 1: Gegenüberstellung von Besonderheiten nachhaltiger Landbausysteme und der hieraus erwachsenen Konsequenzen für die Pflanzenzüchtung

Besonderheiten nachhaltiger Landbausysteme	Konsequenz für die Pflanzenzüchtung
Verminderter Einsatz von chemischen Hilfsstoffen wie Pestiziden und Wachstumsregulatoren	Züchtung auf genetische Resistenz und Toleranz Steigerung der Konkurrenzfähigkeit von Kulturarten gegenüber Ackerbegleitflora Züchtung auf Standfestigkeit Züchtung auf geringeren Bedarf von Nährstoffen, insbesondere Stickstoff und Phosphor

Fortsetzung - Tabelle 1

Minimalbodenbearbeitung und erhöhte Bodenbedeckung	Steigerung der Konkurrenzfähigkeit von Kulturarten gegenüber Ackerbegleitflora Züchtung auf erhöhte Konkurrenzkraft des Keimlings in Bezug auf Nährstoffe, Wasser und Licht Zucht von Kulturen mit maximalem Bodenbedeckungsgrad bei gleichzeitig hohem Ertrag
Optimierte Fruchtfolgen	Zucht von Sorten und Kulturarten, die an vielfältige

	Fruchtfolgen angepasste sind Zucht von Sorten und Kulturarten mit verschiedenen Reifezeitpunkten Züchterische Bearbeitung neuer Kulturarten (Nebenkulturarten)
Genaue Kenntnisse über Standortverhältnisse und deren optimale Nutzung	Erfassen von standortspezifischen Schadorganismen Bereitstellen von Sorten, welche an spezifische Standorte angepasst sind Genaue Sortenbeschreibungen
Gesteigertes Verlangen nach multifunktionalen Kulturpflanzen	Nebenprodukteigenschaften in Zuchtziele integrieren
Förderung von Mischkulturen, Sortenmischungen und Agroforestry-Systemen	Zucht auf Verträglichkeit unter Mischungspartnern Abstimmen von Abreife und Qualität der verschiedenen Mischungspartner
Förderung von perennierenden Kulturpflanzen	Zucht auf Mehrjährigkeit

Zuchtziele für eine nachhaltige Landwirtschaft - einige Beispiele

Gutes Stickstoff- und Phosphormanagement sowie vielfältige Fruchtfolgen sind wichtige Komponenten einer nachhaltigen Landwirtschaft. In den nun folgenden Kapiteln wird untersucht, ob und wie die Pflanzenzüchtung dazu beitragen kann, die Landwirtschaft in diesen Bereichen nachhaltiger zu gestalten.

2.2.1 Stickstoff (N)

Mit Ausnahme der Leguminosen können unsere Kulturpflanzen nur dann hohe Erträge bilden, wenn viel N gedüngt wird. Die Proteinkonzentration ist bei vielen Kulturen eine wichtige Determinante der ernährungsphysiologischen, in einigen Fällen aber auch der technologischen Qualität des Ernteguts. Da ohne N kein Protein gebildet werden kann, müssen bei einigen Kulturen erhebliche N-Mengen appliziert werden, um die geforderten Proteinkonzentrationen zu erreichen. Selbst unter optimalen Bedingungen wird nur ca. 50 - 70 % des in mineralischen Düngemitteln enthaltenden N von den Pflanzen ausgenützt. Der Rest wird immobilisiert oder entweicht aus dem Agroökosystem. N-Verluste sind aus verschiedenen Gründen umweltrelevant:

- Die Herstellung von N-Düngern ist energieaufwendig.
- Die Auswaschung von Nitrat kann das Grundwasser kontaminieren.
- Ammoniakemissionen fördern die Eutrophierung und Versauerung von Waldböden und Gewässern.
- Das durch Denitrifikation gebildete Lachgas (N₂O) trägt zum Treibhauseffekt bei und spielt eine wichtige Rolle bei der Ozonzerstörung in der Stratosphäre (Flaig und Mohr, 1996).

Der intensive Einsatz von N-Düngern ist somit aus Sicht der nachhaltigen Landwirtschaft nicht unproblematisch. Die Pflanzenzüchtung könnte signifikante Beiträge zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft liefern, indem der N-Bedarf der Kulturpflanzen gesenkt oder mehr N biologisch fixiert wird.

2.2.1.1 Senkung des N-Bedarfs der Kulturpflanzen

Am Beispiel des Getreides soll gezeigt werden, wie dieses Ziel realisiert werden könnte. Folgende Möglichkeiten bieten sich an:

- (1) Effizientere Nutzung der N-Vorräte des Bodens durch Züchtung auf höheres N-Aufnahmevermögen.
- (2) Bessere Umsetzung von aufgenommenen N in Kornertrag.
- (3) Verbesserung der Proteinqualität.

Punkt (1) Züchtung auf höheres N-Aufnahmevermögen - Diese Punkte sind zu berücksichtigen, wenn auf hohes N-Aneignungsvermögen und hohe Proteinerträge gezüchtet werden soll:

- Die Züchtung von Hochproteinsorten ist unabhängig von der verwendeten Methode
- Konventionell oder gentechnisch - zum Scheitern verurteilt, wenn kein N im System Boden-Pflanze mehr vorhanden ist, welcher für die Produktion von Kornprotein verwendet werden könnte (Feil, 1997).
- Trotz der Vielzahl von Arbeiten zur Aufnahme, Verarbeitung und Verteilung von N in Pflanzen ist bislang unklar, welche Faktoren die N-Aufnahme limitieren (Feil, 1997). Somit fehlen die absolut notwendigen Voraussetzungen für die Anwendung gentechnischer Methoden, denn die Gentechnik kann nur dann erfolgreich eingesetzt werden, wenn die limitierenden Parameter, z.B. ein biochemischer Prozess oder eine zelluläre Struktur, und deren genetischer Hintergrund bekannt sind.
- Das System der Nitrat- bzw. Ammoniumassimilation dürfte als polygenetisches Funktionssystem bereits derart optimiert sein, dass jeder grobe Eingriff sich als Störung auswirkt. Unter diesen Umständen könnten der Gentechnik Grenzen gesetzt sein (Flaig und Mohr, 1996).
- Der Anbau von Hochproteinsorten kann die Entstehung von negativen N-Bilanzen begünstigen, welche auf lange Sicht die N-Mineralisierungskapazität und somit die Fruchtbarkeit des Bodens reduzieren (Feil, 1997).

Punkt (2) Verbesserte Umsetzung von aufgenommenem N in Kornertrag - Moderne Getreidesorten produzieren sehr viel höhere Erträge als ihre Vorgänger, nehmen jedoch in der Regel nur wenig mehr N auf, d.h. der aufgenommene N wird besser in Kornertrag umgesetzt. Dieser Trend wird aller Voraussicht nach auch weiterhin anhalten. Allerdings tendieren genetische Ertragssteigerungen ohne substantielle Verbesserung der N-Aufnahme dazu, die Proteinkonzentration in den Körnern zu senken (Feil, 1997). Viele sehen eine eben ausreichende Versorgung mit Getreide, welches mit reduziertem Aufwand an Düngern und anderen Betriebsmitteln erzeugt wird, als erstrebenswertes Ziel an. Dies ist aus züchterischer Sicht absolut machbar; zukünftige Sorten werden gleich hohe Erträge wie die aktuellen Sorten bei geringerer Anbauintensität erzielen können. Folglich wird die Umweltbelastung pro Einheit Getreideertrag sinken. Nur führt die Erzeugung von mittleren bis hohen Erträgen bei reduzierter N-Düngung zu niedrigen Proteinkonzentrationen, weil der Proteinertrag aufgrund des geringen N-Angebots nur klein ist und das Kornprotein durch die hohen Erträge zudem stark verdünnt wird (Feil, 1996).

Punkt (3) Verbesserung der Proteinqualität - Der gleiche Ernährungseffekt lässt sich mit einer geringeren Proteinkonzentration und folglich mit einer geringeren N-Düngung erreichen, wenn die Zusammensetzung der Aminosäuren exakt dem Bedarf der Konsumenten entspricht (Flaig und Mohr, 1996). Bei fast allen Getreidearten ist Lysin die

am meisten limitierende Aminosäure für monogastrische Tiere und den Menschen. Bei der Beurteilung der Perspektiven der Züchtung auf Lysin sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Bei Gerste und Mais existiert Hochlysin-Material. Dagegen scheint bei Weizen die genetische Variabilität der Lysinkonzentration im Protein definitiv gering zu sein, obwohl sehr viele Akzessionen geprüft wurden. Die ernährungsphysiologische Qualität von Weizen könnte optimiert werden, indem Lysin kodierende DNA-Fragmente von anderen Arten Mais auf Weizen übertragen werden.
- Wie Untersuchungen an Hochlysin-Mais und -Gerste zeigen, können Hochlysin-Gene den Ertrag und andere agronomische Eigenschaften negativ beeinflussen.
- Die Produktion von Lysin ist im Vergleich zu vielen anderen Aminosäuren energetisch relativ aufwendig.
- Die Proteinverwertung kann auch durch die Kombination von Nahrungsmitteln mit unterschiedlicher, sich optimal ergänzender Aminosäurezusammensetzung verbessert werden. Ausserdem kann die Diet mit reinem Lysin angereichert werden.

Die Möglichkeiten zur Senkung der N-Düngung durch die Optimierung der Aminosäurezusammensetzung des Getreideproteins werden von uns daher als eher gering eingeschätzt. Vollkommen anders stellt sich die Situation bei der Backqualität von Weizen dar. Die Backqualität von Weizenmehl wird massgeblich von der Quantität und Qualität des Kleberproteins beeinflusst. Da die Klebermenge in der Regel mit zunehmendem N-Angebot steigt, wird relativ viel N zu Backweizen gedüngt. Schon in der Vergangenheit wurde erfolgreich auf Backleistung selektiert. Durch die gentechnische Manipulation der Menge und Qualität der hochmolekularen Gluteninfraktion lassen sich jedoch möglicherweise Quantensprünge bei der Verbesserung der Backleistung erreichen (Shewry et al., 1997). Da Sorten mit exzellenter Backqualität selbst bei einer geringen Proteinkonzentration ein Mehl mit guten Backeigenschaften erzeugen, kann bei ihnen der Umfang der N-Düngung drastisch reduziert werden.

2.2.1.2 Biologische N-Fixierung

Grundsätzlich kann Luft-N durch Symbiosen zwischen Blütenpflanzen und N-bindenden Mikroorganismen, Assoziationen zwischen Blütenpflanzen und N-Mikroorganismen, diazotrophe Endophyten und freilebende N-bindende Mikroorganismen fixiert werden. Am effizientesten ist die symbiontische N-Fixierung, zu der von den Ackerkulturen nur die Leguminosen befähigt sind. Die heutige Forschung befasst sich aus diesem Grunde intensiv mit der Frage, ob sich N-fixierende Bakterien zu einer Symbiose mit Nicht-Leguminosen vereinigen lassen. Der Anbau von Nichtleguminosen, welche durch Symbiose Luft-N zu binden vermögen, hätte weitgehende Konsequenzen für die pflanzliche Produktion:

- Es ist es nicht mehr notwendig, mineralische N-Dünger direkt zur Kultur zu düngen.
- Zur biologischen N-Fixierung befähigte Nicht-Leguminosen werden wahrscheinlich hohe N-Konzentrationen im Gewebe, also auch im Erntegut, aufweisen, was bei einigen Arten (Braugerste, Brotroggen, Kartoffeln, Zuckerrüben) zu massiven Beeinträchtigungen der Produktqualität führen könnte.
- Möglicherweise müssen aus den gleichen Gründen anbautechnische Massnahmen gegen Nitratauswaschung nach der Ernte getroffen werden.

- Da die biologische N-Fixierung viel (Photosynthese-) Energie erfordert (Raven, 1985), ist zu befürchten, dass N-fixierende Nicht-Leguminosen aus bioenergetischen Gründen nur relativ geringe Erträge produzieren.

Die Entwicklung von N-fixierenden nichtlegumen Kulturpflanzen bietet also ausserordentlich interessante Perspektiven auch im Hinblick auf die Gestaltung einer nachhaltigeren Landwirtschaft. Jedoch werden sich die Umweltwirkungen und Qualitätseigenschaften dieser neuartigen Kulturpflanzen wahrscheinlich gravierend von denen der Wildtypen unterscheiden. Im Grunde handelt sich um vollkommen neue Kulturen, deren Anbau eine noch zu entwickelnde Produktionstechnik erfordert.

2.2.2 Phosphor (P)

Das Konzept der nachhaltigen Landwirtschaft verlangt aus verschiedenen Gründen einen möglichst effizienten Einsatz von Phosphordüngern:

- die P-Vorräte und P-Reserven sind begrenzt
- für die Herstellung von P-Düngern muss Energie aufgewendet werden
- P-Verluste aus der Landwirtschaft fördern die Eutrophierung von Gewässern

Es gibt mehrere Ansätze, durch Pflanzenzüchtung den Bedarf an P und die Umweltbelastung durch P zu senken:

- Verbesserung der P-Aufnahmeeffizienz der Pflanzen
- Verringerung des P-Exports durch die Abfuhr des Ernteguts (Lipsett und Dann, 1983)
- Verringerung des Anteils von Phytat-P bzw. Züchtung auf hohe Phytaseaktivität in Futtermitteln

2.2.2.1 Verbesserung der P-Aufnahmeeffizienz

Angesichts der vielfältigen Möglichkeiten zur effizienteren Erschliessung der P-Vorräte des Bodens (Optimierung der Symbiose mit Mycorrhizen, der chemischen Merkmale der Rhizosphäre und der Wurzelmorphologie) und der bereits nachgewiesenen genetischen Variation kann davon ausgegangen werden, dass erfolgreich auf eine höhere P-Aufnahme selektiert werden kann. Bei der Beurteilung der Möglichkeiten zur Verbesserung des P-Aneignungsvermögens sind mehrere Aspekte zu beachten:

- Bisher sind offenbar keine Assoziationen von Cruciferen und Chenopodiaceen mit Mycorrhizen bekannt worden. Dieser mutmassliche Nachteil kann möglicherweise durch Gentechnik beseitigt werden.
- Es wurde vorgeschlagen, hohe Ausscheidung von Zitronensäure kodierende Gene aus Bodenbakterien zu isolieren und in Nutzpflanzen zu integrieren (Stevens, 1997). Ferner könnten durch gentechnische Methoden die Befähigung zur Ausbildung von Proteoidwurzeln von der Weissen Lupine auf andere Arten übertragen werden.
- Unabhängig von der Art und Weise, wie das P-Aneignungsvermögen verbessert wird, sind bioenergetische Aspekte zu berücksichtigen. Der Aufbau und die Unterhaltung eines umfangreichen Wurzelsystems nehmen die Assimilat- und Nährstoffressourcen der Pflanzen in Anspruch und können daher die Ertragsleistung beeinträchtigen. Bei Pflanzen, deren Wurzeln mit Mycorrhizen infiziert sind, werden weitaus grössere Mengen an Photosyntheseprodukten in die Wurzeln alloziert und dann dort veratmet als bei Pflanzen, deren Wurzeln mycorrhizafrei sind. Die Exsudation von organischen Säuren zur P-Mobilisierung verursacht ebenfalls erhebliche energetische Kosten (Marschner, 1995).

2.2.2.2 Reduktion des P-Exports durch Abfuhr des Ernteguts

Die Selektion auf geringere P-Entzüge ohne Ertragseinbussen scheint grundsätzlich möglich zu sein, denn Mais-, Triticale- und Weizensorten mit ähnlichen Kornerträgen können sich beträchtlich in der Korn-P-Konzentration und damit im P-Entzug unterscheiden (Feil et al. 1993; Feil und Fossati, 1995; Schulthess et al., 1997).

2.2.2.3 Das Phytatproblem

Bei zahlreichen Kulturarten, u.a. bei Getreide und Hülsenfrüchten, ist Phytat die Hauptspeicherform für P. Weil Phytat-P von Nicht-Wiederkäuern nur schlecht ausgenutzt wird, scheiden diese grosse Mengen an Phytat-P aus. In Regionen mit hohem Tierbesatz, aber auch in der Nähe von menschlichen Siedlungen kann aus Phytat stammender P über Erosion oder Abwässer in Flüsse und Seen gelangen und diese eutrophieren. Ein geringerer Phytatgehalt bzw. bessere Aufschliessung und damit Verwertung des im Futtermittel festgelegten Phytat-P wäre auch aus ökonomischen Gründen interessant. Zusätze von anorganischem P müssten der tierischen Diät nicht mehr zugesetzt werden. Hohe Phytatkonzentrationen sind des Weiteren auch aus ernährungsphysiologischer Sicht ungünstig. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die mit Phytat assoziierten Probleme zu reduzieren:

- Selektion auf niedrigere Phytatkonzentration. Durch Mutationszüchtung konnte Mais mit um 65% reduzierten Phytatgehalten bei gleichzeitig unveränderten Gehalten an Gesamt-P erzeugt werden. Allerdings traten zum Teil Ertragseinbussen auf, deren Ursache noch weiter analysiert werden muss (Ertl et al., 1998).
- Hinzufügung von mikrobieller Phytase zur Diät von Nutztieren.
- Einsatz von gentechnisch veränderten, phytasereichen Komponenten bei der Zusammenstellung der Diät von Nutztieren. Es ist bereits gelungen, hohe Phytaseaktivität kodierende DNA von *Aspergillum niger* auf Kulturpflanzen zu übertragen (Pen et al., 1993; Denbow et al., 1998).

Die ökologischen, ökonomischen und ernährungsphysiologischen Vorteile der erwähnten gentechnischen Ansätze sind bedeutend. Auch nach Zusatz von mikrobieller Phytase zur Diät wird der Phytat-P nicht vollumfänglich verwertet, wenn auch beträchtlich verbessert (Yano et al., 1999, Storebakken et al., 1998, Denbow et al., 1995). Die durch Gentransfer erhöhte endogene Phytase-Aktivität verbessert die P-Ausnutzung ebenfalls signifikant (Pen et al., 1993, Denbow et al., 1998). Das ökonomische und ökologische Potential von Phytase als Futtermittel-Zusatz ist sehr hoch. In den Niederlanden wird Phytase inzwischen bei mehr als 70 % der Schweine-Diäten zugesetzt (Jongbloed et al., 1997). Es wurde errechnet, dass in den USA 8.23 x 10⁷ kg weniger P in die Umwelt gelangen würde, wenn alle monogastrischen Nutztiere mit Phytase gefüttert würden (Wodzinski et al., 1996). Ähnliche Effekte würden sich auch mit transgenen Futterpflanzen erreichen lassen. Ob eine durch Gentransfer induzierte hohe endogene Phytase-Aktivität mit Ertragsreduktionen verknüpft ist, muss noch untersucht werden. Maislinien aus der Mutationszüchtung bei denen der Anteil von Phytat-P am Gesamt-P um 2/3 reduziert ist, weisen Ertragseinbussen auf (Ertl et al., 1998).

2.2.3 Fruchtfolge

Enge Fruchtfolgen und hohe Anbaukonzentrationen bestimmter Kulturen in einer Region erhöhen den Unkraut-, Krankheits- und Schädlingsdruck. Dadurch kann der Aufwand an

Pflanzenschutzmitteln steigen. Vereinfachte Fruchtfolgen reduzieren die Biodiversität bei Unkräutern und tierischen Organismen. Der Trend zu immer artenärmeren Fruchtfolgen steht folglich nicht im Einklang mit dem Konzept einer nachhaltigen Landwirtschaft. Die Züchtung kann jedoch die Voraussetzungen für vielfältigere Fruchtfolgen schaffen und damit einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Landwirtschaft leisten, indem die monetäre Leistung von bisher wenig rentablen Kulturen verbessert wird. Letzteres lässt sich erreichen, indem der Ertrag gesteigert wird und/oder Qualitätsmerkmale modifiziert werden.

Diese Überlegungen betreffen u.a. die zurzeit nur wenig oder überhaupt nicht angebauten Arten Leindotter, Mohn, Koriander, Weisser Senf, Brauner Senf, Saflor, Ölkürbis, Krambe, Lein, Buchweizen, Amaranth, Quinoa, Topinambur, Chinaschilf, Hanf und Kenaf. Eine wichtige Komponente der Bemühungen um eine nachhaltige Landwirtschaft ist die Erhöhung des Anteils von Leguminosen in der Fruchtfolge, weil dadurch die heute sehr getreidelastigen Fruchtfolgen aufgelockert werden und Leguminosen ohne Stickstickdüngung angebaut werden können. Vorteilhaft wäre insbesondere die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der klimatisch adaptierten Leguminosen Ackerbohne, Erbse und Lupine. Durch Züchtung unter Berücksichtigung gentechnischer Methoden könnte der Proteinertrag erhöht, die Qualität des Proteins verbessert (Tabe und Higgins, 1998) und die Konzentrationen der in den meisten Leguminosen vorhandenen antinutritiven Substanzen gesenkt werden. Genetisch verbesserte Körnerleguminosen könnten auch vermehrt als Industriepflanzen Verwendung finden.

Durch Pflanzenzüchtung könnten also vielfältigere Fruchtfolgen ohne ökonomische Einbussen realisiert werden. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass zumindest die kommerzielle Züchtung dazu tendiert, prioritär die ertraglich leistungsfähigsten Arten qualitativ zu verbessern bzw. mit neuartigen Qualitätsmerkmalen zu versehen oder mit besseren Resistenzeigenschaften auszustatten. Im Extremfall könnte durch die Anwendung gentechnischer Verfahren eine einzige Kulturart mit sehr hohem Ertragspotential, z.B. Mais, so extrem variiert werden, dass durch den Anbau massgeschneiderter Sorten alle nur denkbaren Qualitätsanforderungen abgedeckt werden. Die Konsequenz daraus wäre, dass eine einzige Kulturart unsere Agrarlandschaft dominiert - eine Entwicklung, welche den Prinzipien einer nachhaltigen Landwirtschaft eindeutig widerspricht.

2.3 Schlussfolgerungen

Schlussfolgerungen für die Prioritätensetzung in Pflanzenzuchtprogrammen im Hinblick auf die Produktion von Pflanzensorten mit Eignung für deren Verwendung in nachhaltigen Landbausystemen

In der Schweizerischen Getreidezüchtung (Eidgenössische Forschungsanstalten FAL, RAC) ist bereits seit Jahrzehnten zielgerichtet in Richtung nachhaltige Landwirtschaft gearbeitet worden, wobei die Entwicklung von Sorten mit guten Resistenzeigenschaften und hervorragender Qualität im Mittelpunkt stand. Gerade die Kombination dieser beiden Eigenschaften konnte nur mit grossem Aufwand durch eine sehr zielgerichtete Zuchtarbeit realisiert werden.

Dennoch sind für nachhaltige Landbauverfahren weitere zentrale Eigenschaftskomplexe in die Zuchtanstrengungen zu integrieren, deren Kombination mit einer hohen Ertragsleistung zwar die Marktchancen solcher Sorten wesentlich erhöhen würde, jedoch mit einem zusätzlichen, erheblichen Arbeitsaufwand verbunden wäre :

- Nährstoffaneignungsvermögen /Nährstoffeffizienz

- Konkurrenzkraft gegenüber Ackerbegleitflora
- Optimaler Habitus (Bodenbedeckung, Bewurzelung, ev. Mehrjährigkeit)
- Anpassung an pedoklimatische Bedingungen (optimale Anpassung an Anbaustandorte)
- Züchtung nicht nur auf Haupt- sondern auch auf Nebenprodukte (z.B. Körner und Fasergewinnung aus dem Halm)

Die Züchtung wird eine Optimierung von Nutzpflanzen für die nachhaltige Landwirtschaft durch bewusste Förderung der Pflanze als multifunktionales System realisieren können. Unter Pflanze als multifunktionalem System kann u.a folgendes verstanden werden:

- Träger verschiedener Ernteprodukte (z.B. Körner, Knollen, Stroh, Blätter, Wurzeln)
- Pflanze als Teil des Oekosystems (z.B. Lieferant organischer Substanz, Bodenbedecker, Bodenentseuchung, Wasserhaushalt und Struktur des Bodens, Erosionsschutz, Interaktionen mit Rhizosphäre).

Der Stellenwert der Multifunktionalität der Pflanzen als Rohstofflieferant für verschiedenste Produkte (z.B. Nahrungsmittel, Futtermittel, Energie, Fasern) muss im Hinblick auf die Nachhaltigkeit wie auch hinsichtlich des züchterischen Aufwandes gesehen werden. Es wird sich die Frage stellen, ob mehrere Eigenschaften auf einer Pflanze vereint oder verschiedene Nutzpflanzenarten mit nur einer Haupteigenschaft innerhalb eine Fruchtfolge eingegliedert werden sollten. Zur Diskussion stehen die Züchtung von perennierenden Sorten mit mehreren Eigenschaften und der Einsatz von Mischkulturen (Sorten- und Linienmischungen, Agrarforstwirtschaft etc.).

3 Zuchtverfahren

Der Erfolg eines Zuchtprogramms für die Erzeugung von Sorten für nachhaltige Landwirtschaft hängt von vielen Faktoren ab. Die Kenntnisse und die Verfügbarkeit genetischer Ressourcen ist für die Realisierung der gesetzten Zuchtziele von primärer Bedeutung. Die Suche nach den passenden Spendern der gewünschten Eigenschaften umfasst das gesamte Spektrum der auf klassische Weise (Einkreuzung) kombinierbaren Pflanzenpartner. Die gentechnischen Verfahren verfügen theoretisch über die gesamten genetischen Ressourcen der Lebewesen, was sich insbesondere als Vorteil für Zuchtprogramme mit spezifischen Anforderungen erweist. Als Beispiel könnte die Übertragung der Fähigkeit zur biologischen Stickstofffixierung (BNF) auf Getreide genannt werden, welche für nachhaltige Systeme von grossem Interesse ist. Dieses Zuchtziel könnte auf Grund der zahlreich hierfür beteiligten Gene nur durch gentechnische Methoden gelöst werden.

Wie am obigen Beispiel ausgeführt stellt sich die Frage, ob die bisherigen Zuchtverfahren genügen oder ob neue Methoden erforderlich sind, um die Bemühungen um eine nachhaltige Landwirtschaft durch die Entwicklung von Sorten optimal zu unterstützen. Die prioritären Kriterien sind die Eigenschaften einer Sorte bzw. deren Eignung für die nachhaltigen Systeme. Die Zuchtmethodik an sich besitzt nur zweite Priorität, sie ist nur der Weg zum Produkt. Falls Gleichwertigkeit der klassischen und gentechnischen Methoden aus ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Sicht besteht, müssten weitere Kriterien, beispielsweise politische oder ethische zu einem Entscheid herangezogen werden. Die aktuelle Diskussion zeigt, dass viele Faktoren in solchen Entscheidungsprozessen eine Rolle spielen, deren Konsequenzen oft erst später erkannt werden können. Undifferenzierte Ablehnung wie auch uneingeschränkte Akzeptanz sind unbrauchbare Verhaltensmuster für die sorgfältige, verantwortungsbewusste Einführung neuer Zuchtmethoden.

Für die Evaluierung der verschiedenen klassischen Zuchtmethoden (Auslese-, Kreuzungs-, Hybrid- und Mutationszüchtung) im Vergleich zu biotechnischen Verfahren (v.a. Gentechnik) hinsichtlich ihrer Bonität für nachhaltige Landwirtschaft sollten Kriterien auf experimenteller Basis erarbeitet werden. Die Einschätzung möglicher Risiken beruht vorderhand eher auf spekulativem Hintergrund und sollte durch Monitoring von Freilandexperimenten mit gentechnischen und klassisch-züchterisch erzeugtem Zuchtmaterial erfolgen. Der Anspruch an solche vergleichenden Freilandexperimente ist hoch, jedoch unumgänglich.

Die molekularbiologischen und gentechnischen Verfahren können die klassischen Zuchtverfahren in den folgenden Bereichen ergänzen:

1. Molekulare Charakterisierung der Ausgangslinien und des Zuchtmaterials. Die visuellen und biochemischen Marker werden durch die, in den letzten Jahren entwickelten molekularen Marker wesentlich ergänzt. Der Erforschung und Entwicklung molekularer Marker für die Identifikation von wertvollen Eigenschaften (z.B. für nachhaltige Landwirtschaft) wird hohe Priorität eingeräumt. In einigen Zuchtprogrammen werden Marker für monogen wie auch für polygen vererbte Eigenschaften eingesetzt und dadurch die Wahl von Kreuzungskombinationen verbessert und die Effizienz in der Selektion gesteigert. Die Analyse kann mit einer äusserst geringen Probenmengen auskommen und ist nicht destruktiv, das heisst, dass mit den untersuchten Pflanzen weiter gezüchtet werden kann. Insbesondere für die Erfassung von Wurzeigenschaften, welche für die ökologisch ausgerichtete Züchtung wichtig sind, kann mit molekularen Methoden erfolgen. Klassische Zuchtverfahren können den Aufwand zur Wurzelanalyse und zur Selektion auf Wurzelparameter nicht rechtfertigen. Es ist zuerst die Aufgabe der Züchtungsforschung, solche Marker zu entwickeln, was ebenfalls sehr aufwendig ist. Die molekularen Analysemethoden zur Identifizierung von Genen bzw. deren Produkten stellen einen grossen Fortschritt dar und werden in Zukunft zu unentbehrlichen Routinemethoden in der Züchtung werden. Die Effizienz, Einfachheit in der Anwendung und die Preise pro Analyse müssen noch verbessert werden, damit auch mittlere und kleinere Zuchtbetriebe diese Verfahren auch anwenden können.
2. Die Züchtung mit Hilfe gentechnischer Verfahren erweitert die genetische Basis für die Kreation von Neukombinationen durch Gene, welche nicht durch konventionelle Kreuzung übertragen werden können oder nicht an unerwünschte Gene gekoppelt sind. Die optimale Integration von Genen im Akzeptorgenom, die stabile Expression und die unveränderte Weitergabe an die nächsten Generationen sind wichtige Forderungen an die gentechnischen Verfahren. Selbstverständlich müssen auch alle wichtigen agronomischen Eigenschaften erhalten bleiben. Die erwähnten Eckpfeiler der Nachhaltigkeit müssen auch für die gentechnischen Verfahren an sich beachtet und deren Bedingungen erfüllt werden. Das Potential einer gezielten Unterstützung der Sortenproduktion für die nachhaltige Landwirtschaft durch die Gentechnik ist gross, doch bedarf deren Anwendung einer sorgfältigen Begleitung mit entsprechenden Entscheidungsgrundlagen, welche die geforderten Kriterien erfüllen.
3. In der Züchtung und Züchtungsforschung werden schon seit vielen Jahren biotechnische Verfahren eingesetzt. Sie ergänzen die klassischen Zuchtverfahren oder sind schon voll integriert in die Programme, so dass sie vielfach nicht mehr als speziell biotechnische Verfahren ausgewiesen werden (Schmid et al., 1996, Schmid und Büter, 1997). Dabei handelt es sich beispielsweise um Meristemkulturen, Doppelhaploide aus der Antheren- oder Mikrosporenkultur, Embryokultur, Protoplasten- und

Einzelzellkultur, Zellfusionen und Somaklone. Bei diesen Methoden handelt es sich um nicht-gentechnische Verfahren, welche aber auf ihre Weise zu genetischer Veränderung führen. Einige dieser Verfahren sind sehr geeignet, die Sorten für den ökologischen Landbau zu erzeugen.

4 Diskussion von Fallbeispielen mit Modellkulturen

Maiszünslerresistenz

Der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*), welcher in Mais einen Schaden von 10-30% verursachen kann, ist im frühen Larvenstadium auf B.t.-Toxin empfindlich. Da sich die Larven aber nach der zweiten Häutung in den Stengel oder Kolben einboren, können sie mittels Spritzungen nur schlecht bekämpft werden. Dieses Problem lässt sich umgehen, wenn sich das B.t.-Toxin (transgener Bt-Mais) im Innern der Pflanze befindet. Wegen der Lebensweise der Maiszünslerlarven ist der Einsatz von B.t.-Spritzmitteln kaum möglich. Der Einsatz von Trichogramma-Schlupfwespen (Fried et al., 1993) sowie indirekte Verfahren durch sauberes Unterpflügen des Strohs, wodurch ein Teil der Raupen vernichtet werden (Häni et al. 1992), gelten als nachhaltige Massnahmen. Solange diese Massnahmen einen wirtschaftlich-ökologischen Anbau ermöglichen, besteht keine dringende Notwendigkeit des Einsatzes von transgenem Bt-Mais.

Kartoffelkäferresistenz

Obschon der wichtigste Schädling der Kartoffel weltweit und in der Schweiz der Kartoffelkäfer ist, hat er bei uns nur noch geringe Bedeutung. Die geregelte Fruchtfolge verhindert ein Überleben des Kartoffelkäfers und damit wichtigste Massnahme im Rahmen der nachhaltigen Produktion. Es wurde festgestellt, dass der Kartoffelkäfer bisher gegen alle grösseren Insektizid-Gruppen z.T. innert kurzer Zeit Resistenzen entwickelte. Erste Erfahrungen zeigen, dass dies beim Einsatz der Insektenresistenz ähnlich einzuschätzen ist.

Rizomaniaresistenz bei der Zuckerrübe

Das Rizomania-Virus trat zum ersten Mal bedeutend in den 50er Jahren in Norditalien auf, wurde aber erst in den 70er Jahren als Viruskrankheit beschrieben. Ertragsverluste von 30 - 100% v.a. in neu befallenen Regionen machen Rizomania zu einemen der wichtigsten phytopathologischen Probleme im Zuckerrübenanbau. Als Vektor dient dem Virus der bodenbürtige Pilz *Polymyxa betae*, für welchen keine chemischen Bekämpfungsmethoden bekannt sind. Durch geeignete Kulturmassnahmen (ungünstige Verhältnisse für den Pilz) lässt sich eine Infektion durch das Virus abschwächen.

Bis anhin erreichen Rizomania-resistente Sorten bei Nichtbefall einen um 15% tieferen Ertrag (Schütte, 1995). *Beta vulgaris* ist frei kreuzbar mit der Wildrübe *Beta vulgaris* subsp. *maritima*, aber auch mit den kulturverwandten Mangold, Rote Beete (Randen) und Futterrübe. So ist weniger die Erfassung der Wahrscheinlichkeit als vielmehr die Abschätzung der Konsequenz eines Gentransfers in die Umwelt von besonderer Bedeutung, da von einer natürlichen Verbreitung der neuen Gene innerhalb der Art *B. vulgaris* ausgegangen werden kann. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass die Zuckerrübe im Praxisanbau nur in Ausnahmefällen (Schosserrüben) zur Blütenbildung kommt und eine freie Auskreuzung unter diesem Aspekt beurteilt werden muss (Bartsch, 1995). Es existieren Standorte, die mit Rizomania verseucht sind, aber klimatisch für den Zuckerrübenanbau sehr geeignet wären. Mittels resistenter Sorten können an diesen Standorten Zuckerrüben angebaut und damit ungeeignete Standorte entlastet werden. Einen anderen Selektionsvorteil als die Resistenz gegen Rizomania, ist für die Zuckerrübe kaum

zu erwarten. Die Resistenz gegen Rizomania, auch wenn sie zum Beispiel auf die als Unkraut vorkommende Wildrübe *Beta maritima* übertragen werden könnte, birgt kaum eine Gefahr der Zunahme dieses Unkrautproblems in sich, da ausserhalb der Agrarfläche beide Arten konkurrenzschwach sind. Wildrüben mit natürlicher Resistenz sind bislang nicht zu einem Problem geworden. Die anderen mit der Zuckerrübe kreuzbaren und gegen Rizomania anfälligen Pflanzenarten haben bis heute keine Bedeutung als Unkraut (Schütte, 1995).

Kartoffel mit allgemeiner Virusresistenz

Betreffend die PVY und PVX - Viren besteht das Problem nicht im Fehlen von Resistenzquellen, vielmehr in der Schwierigkeit der Kombination von Virusresistenz mit den wichtigen Qualitätsparametern. Die Akzeptanz von Neuzüchtungen ist bei Kartoffeln recht schwierig, weshalb eine gezielte Verbesserung der Resistenzeigenschaften ohne Veränderung der Qualitätseigenschaften gefragt ist. Diese Anforderungen sind mit der gezielten Genübertragung erfüllt, bei klassischen Kreuzungsverfahren besteht jedoch die Gefahr, dass mit der Neukombination gewisse Qualitätseigenschaften negativ verändert werden oder verloren gehen. Bei der Produktion von Saatkartoffeln wäre die Virusresistenz von Vorteil, da die Kontrollen auf Virusfreiheit und die Bekämpfung der Vektoren reduziert werden könnten oder sogar ganz entfallen würden.

Kartoffel mit Kraut- und Knollenfäule-Resistenz

Als wichtigste Krankheit der Kartoffel in der Schweiz gilt der Oomycet *Phytophthora infestans*, der Erreger der Kraut- und Knollenfäule. Die wichtigste Bekämpfungsmethode ist der Einsatz von Fungiziden; es besteht erwiesenermassen Handlungsbedarf für die für die Erzeugung von resistenten Kartoffelsorten. Aus Mexiko und den Anden stammen zahlreiche Wildarten, welche eine hohe unspezifische, polygene Resistenz aufweisen. Es wurden bisher über zehn verschiedene R-Gene identifiziert, wobei wahrscheinlich noch weitere existieren. Da aber in Mexiko Rassen des Pathogens mit allen elf Virulenzfaktoren und auch in Europa mit neun Virulenzen gefunden werden, scheint eine Pyramidisierung keine Aussicht auf eine dauerhafte Resistenz zu bringen, selbst wenn alle bisher bekannten Gene in eine Sorte eingebaut würden (Turkensteen, 1993). Da die Gene dieser Feldresistenz (r-Gene) noch nicht identifiziert und charakterisiert sind, ist der Erzeugung transgener, resistenter Sorten noch nicht gelungen; es werden auch andere Abwehrmechanismen der Pflanze gegen *Phytophthora* untersucht und gentechnische wie auch konventionelle Ansätze verfolgt. Der Einsatz von resistenten Sorten bleibt ein wichtiges Ziel für die nachhaltige Produktion von Kartoffeln

Weizen mit Pilzresistenz

Krankheiten wie Roste, Mehltau und Septoria können durch Kulturmassnahmen nur ungenügend bekämpft werden (Fried, 1993). Im Weizenanbau werden die Krankheiten Halmbruch (*Pseudocercospora herpotrichoides*), Braunrost (*Puccinia recondita*), Gelbrost (*Puccinia striiformis*), Spelzenbräune (*Septoria nodorum*), und Mehltau (*Erysiphe graminis*) mit Fungiziden bekämpft, da übliche Kulturmassnahmen nur ungenügende Wirkung zeigen. Die wichtigste Bekämpfungsmöglichkeit besteht jedoch im Einsatz resistenter Sorten. Als weitere Bekämpfungsmöglichkeit von *E. graminis* steht in Zukunft auch der Aktivator CGA 245704 zur Verfügung (Aktivator der systemischen Resistenz).

Ein Hauptschwierigkeit der Resistenzzüchtung liegt in der Identifizierung von Genen (phänotypische Merkmale, molekulare Marker), welche die Auswahl der Kreuzungspartner und die effiziente Selektion auf die resistenten Linien ermöglicht. Die molekulare Analyse (molekulare Marker) bietet eine wesentliche Hilfe, insbesondere wenn mehrere Resistenzgene pyramidiert werden sollen, welche phänotypisch nicht identifiziert werden

können. Der Erzeugung von gentechnisch veränderten, resistenten Pflanzen wird forciert; erste Feldversuche mit transgenen Sorte wurden in den USA durchgeführt. Der Anbauwert dieser transgenen Sorte muss fallweise anhand von Nachhaltigkeitskriterien eingeschätzt werden.

Raps, Mais und Zuckerrübe mit Herbizidresistenz

Die bislang produzierten und in mehreren Ländern (nicht in der Schweiz) angebauten herbizidresistenten (HR) Sorten verfügen mehrheitlich über die Resistenz gegen nicht-selektive Herbizide, Glyphosat (Handelsname: Roundup) und Glufosinat (Handelsname: Basta). Bei der Beurteilung des Nachhaltigkeitswertes von HR-Sorten darf nicht vergessen werden, dass auch einige Kulturpflanzen herbizidresistent gemacht wurden durch konventionelle Zuchtverfahren. Die Sommerrapssorte OAC Triton wurde durch das Einkreuzen einer cytoplasmatischen Triazinresistenz von *Brassica campestris* zur HR-Sorte und nicht mittels Gentechnologie. Der Ertrag dieser Sorte erreichte jedoch nur 69 - 80% von herkömmlichen Rapssorten, da das Photosystem II nicht mehr so effizient arbeiten konnte (Singh et al., 1993). Die meisten HR-Sorten sind transgene Sorten, welche insgesamt Vorteile gegenüber der konventionellen Erzeugung zeigen. Im weiteren ist es noch sehr schwierig, überhaupt kreuzbare HR-Spendersorten für die verschiedenen Kulturpflanzen zu finden.

Der Nutzen von HR-Sorten für die nachhaltige Landwirtschaft wird kontrovers diskutiert. Die Kriterien zur Einschätzung des Nutzen/Schaden-Profiles stützen sich auf die jeweiligen Zielvorgaben der Auftraggeber der verschiedensten Studien.

Korell et al. (1997) beurteilten die HR-Sorten inbezug auf Nachhaltigkeit anhand der Kriterien Bodenbearbeitung, Anbau und Bodennutzung sowie Pflanzenschutz. Bezüglich dieser Kriterien kommen sie zu Schluss, dass sich umweltschonende Anbauverfahren besser etablieren lassen. Ein Einsatz auf Problemschlägen zur Bekämpfung von Problemunkräutern wird positiv beurteilt. Nicht so ein permanenter Einsatz einzelner nicht-selektiver Herbizide, da sonst durch frühzeitige Resistenzbildung verschiedener Begleitpflanzen die positiven Optionen der HR-Technik verloren gehen könnten.

5 Schlussfolgerungen

Die Züchtung von Kulturpflanzensorten ist, unabhängig von ihrem späteren Einsatz in Anbausystemen (konventionell, IP, biologisch oder gentechnisch) und Produktverwendung (Mensch, Tier, Industrie), auf die Ziele der nachhaltigen Landwirtschaft auszurichten. Diese Ziele basieren auf den Eckpfeilern Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft. Die Kriterien für die Erreichung der ökologischen Ziele in der schweizerischen Landwirtschaft (u.a. Ökologischer Leistungsnachweis, technische Regeln) konzentrieren sich vor allem auf Anbau, Bodennutzung, Bodenschutz, Pflanzenschutz und Anteil an ökologischen Ausgleichsflächen. Für die Züchtung von transgenen und nichttransgenen Pflanzensorten gilt das Ziel einer kostengünstigen Produktion von qualitativ hochwertigen, gesunden Nahrungsmittel und technologisch einwandfreien Rohstoffen. Gefährdungen jeglicher Art sollen ausgeschlossen werden. Die Prüfungen der geforderten Qualität in der Produktion und der Verwertung haben den heutigen Erkenntnissen und Möglichkeiten zu entsprechen. Dadurch soll nicht nur das Gefährdungspotential von Sorten und deren Produkten, sondern auch deren Eignung für den nachhaltigen ökologischen Anbau geprüft werden. Diese Grundsatzforderung müsste alle Sorten umfassen, unabhängig davon wie sie gezüchtet worden sind (klassisch oder gentechnisch). Es ist jedoch festzuhalten, dass diese Massnahmen der Verbesserung von Sorten dienen sollen und nicht durch sachlich

ungerechtfertigte, übertriebene Forderungen das Potential der Züchtung grundsätzlich geschwächt wird.

Die Einschätzung der Eignung von Pflanzensorten (transgen oder nicht transgen) für die nachhaltige Landwirtschaft soll flexibel und fallbezogen vorgenommen werden, damit veränderten Rahmenbedingungen (z.B. Preisgestaltung, Auftreten neuer Krankheiten und Schädlinge) Rechnung getragen werden kann. In einigen Studien wurde bereits eine Einschätzung der Möglichkeiten für die nachhaltige Nutzung transgener Sorten vorgenommen (z.B. Korell et al., 1997), welche als Entscheidungsgrundlage in ähnlich gelagerten Fällen dienen kann. Da sich die Vorgaben relativ schnell ändern können, empfiehlt es sich, ein Gremium einzusetzen, das die konkrete Einschätzung für die eingereichten Gesuche laufend prüft und die Entscheidungsgrundlagen liefert. Dabei ist eine möglichst frühzeitige Problemerkennung wichtig, d.h. eine Begleitung der Züchter in Fragen der Zuchtzielsetzung und der Prüfung von Ausgangsmaterial für die Züchtung, beispielsweise in Hinblick auf die Frage, ob transgene Linien im Pedigree der Elternlinien enthalten sind. Im weiteren sollten die Freilandversuche mit transgenen Sorten unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit begleitet und geprüft werden. Die wichtigste Stufe vor der Zulassung zum Praxisanbau ist die Sortenprüfung. Die Verordnungen und Reglemente zur Sortenprüfung sollten im Hinblick auf die konkrete Einschätzung der Nachhaltigkeit von Sorten (transgen oder nicht transgen) aktualisiert werden. Insbesondere bei einer wesentlichen Erweiterung des Sortenspektrums, beispielsweise durch die Akzeptanz der europäischen Sortenliste, sind die Kriterien der Nachhaltigkeit auch in den Sortenlisten mit *empfehlendem Charakter* aufzuführen und entsprechend zu gewichten.

Die Kriterien für die Erzeugung von Pflanzensorten für die nachhaltige Landwirtschaft sind grundsätzlich definiert und bedürfen nun der fallweisen Interpretation. Es gilt das Potential der modernen Biotechnologie sinnvoll zu nutzen und eine kompetente wissenschaftliche Begleitung zu gewährleisten. In der Prüfung erster transgener Sorten ist diesem Umstand besonders Rechnung zu tragen. Die alleinige Fokussierung der Nachhaltigkeitsprüfung auf transgene Sorten wäre nicht angebracht, da alle für den Markt vorgesehenen Sorten, auch konventionell gezüchtete Sorten, die für eine nachhaltige Landwirtschaft gesetzten Ziele zu erfüllen haben. Es wird sich zeigen, mit welchen agrarwirtschaftlichen und politischen Massnahmen diese Ziele am besten erreicht werden. Fest steht, dass diese Massnahmen nur dann zum Ziel führen können, wenn entsprechende Sorten zur rechten Zeit überhaupt zur Verfügung stehen. Angesichts der wichtigen Aufgaben und globaler Probleme in der nachhaltigen Erzeugung von Nahrungsmitteln sollte der modernen Pflanzenzüchtung der entsprechende Stellenwert zugestanden werden.

6 Literatur

ALEXANDRATOS, N.: World agriculture : towards 2010 : an FAO study. [Rome, Italy]: Food and Agriculture Organization of the United Nations;. xxvi, 488, 1995

AP2002: Zweite Etappe der Agrarreform Agrarpolitik 2002. Eidg.

Volkswirtschaftsdepartement, Bundesamt für Landwirtschaft, Vernehmlassungsunterlage; Bern, 1995

BARTSCH, D.: Ökologische Begleitforschung zu Rizomania-resistenten Zuckerrüben. In: Albrecht, S. und Beusmann, V. (Hrsg.) Ökologie transgener Nutzpflanzen. Frankfurt, New York: Campus Verlag, 81-98, 1995 (Gentechnologie - Chancen und Risiken, Band 31)

BECKER, H. C.: Pflanzenzüchtung. Stuttgart, E. Ulmer, 327, 1993

- COFFMAN, W. R., BATES, D. M.: History of crop improvement in sustainable agriculture. In: Callaway, M. B. and Francis, C. A. (Hrsg.) Crop improvement for sustainable agriculture. Lincoln University of Nebraska Press, 19-32, xiv, 261, 1993
- Denbow, D. M., Ravindran, V., Kornegay, E. T., Yi, Z., Hulet, R. M.: Improving phosphorus availability in soybean meal for broilers by supplemental phytase. *Poultry Sci.* 74, 1831-1842, 1995
- DENBOW, D.M., E.A. GRABAU, G.H. LACY, E.T. KORNEGAY, D.R. RUSSELL, P.F. UMBECK: Soybeans transformed with a fungal phytase gene improve phosphorus availability for broilers. *Poultry Sci.* 77, 878-881, 1998
- ERTL, D.S., K.A. YOUNG, V. RABOY: Plant genetic approaches to phosphorus management in agricultural production. *J. Environm. Quality* 27, 299-304, 1998
- FEIL, B.: Extensivierung der Stickstoffdüngung im Getreidebau. *Agrarforsch.* 3, 271-274, 1996
- FEIL, B.: The inverse yield-protein relationship in cereals: possibilities and limitations for genetically improving the grain protein yield. *Trends in Agron.* 1, 103-119, 1997
- FEIL, B., D. FOSSATI: Mineral composition of triticale grains as related to grain yield and grain protein. *Crop Sci.* 35, 1426-1431, 1995
- FEIL B., R. THIRAPORN, H.R. LAFITTE: Accumulation of nitrogen and phosphorus in the grain of tropical maize cultivars. *Maydica* 38, 291-30, 1993
- FLAIG, H., H. MOHR: Der überlastete Stickstoffkreislauf. Strategien einer Korrektur. Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg in Zusammenarbeit mit der deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina, Halle (Saale), 1996
- FRIED, M. P., BARBEN, H., KELLER, S., MÜLLER, M. D., WINZELER, H., WINZELER, M., WEISSKOPF, P.: Expertise betreffend Möglichkeiten des Einsatzes biotechnologischer Methoden zur Erhöhung der Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge wichtiger Kulturpflanzen der Schweiz. Bern, Schweiz. Nationalfonds, Schwerpunktprogramm Biotechnologie, 1993
- HÄNI, F., POPOW, G., REINHARD, H., SCHWARZ, A., TANNER, K., VORLET, M.: Pflanzenschutz im Integrierten Ackerbau - Krankheiten, Schädlinge, Nützlinge. 3. überarbeitete Auflage ed. Zollikofen, Verlag LmZ, 335 Seiten, 1992
- JONGBLOED, A. W., LENIS N. P., MROZ, Z.: Impact of nutrition on reduction of environmental pollution by pigs: An overview of recent research. *Vetern. Quart.* 19, 130-134, 1997
- KELLER E.R.: Ökologischer Landbau: Pflanzenzüchtung und Sortenwesen. In: Keller, E. R., Hanus, H., Heyland, K.-U. (Hrsg.) Handbuch des Pflanzenbaus: 1. Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Stuttgart (Hohenheim), Ulmer,; 170-186, 1997
- KORELL, M., S. SCHITTENHELM, H.-J. WEIGEL: Aufstellen von Kriterien für die nachhaltig umweltgerechte Nutzung gentechnisch veränderter Kulturpflanzensorten. Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Gentechnik -. Forschungsbericht 112 01 029, UBA-FB 98-008, 1997
- LIPSETT, J., P.R. DANN: Wheat: Australia's hidden mineral export. *J. Austr. Inst. Agric. Sci.* 49, 81-89, 1983
- MARSCHNER H.: Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press, London, 1995

- PEN, J., T.C. VERWOERD, P.A. VAN PARIDON, R.F. BEUDEKER, P.J.M. VAN DEN ELZEN, K. GEERSE, J.D. VAN DER KLIS, H.A.J. VERSTEEGH, A.J.J. VAN OUYEN, A. HOEKEMA: Phytase-containing transgenic seeds as a novel feed additive for improved phosphorus utilization. *Bio / Technology* 11, 811-814, 1993
- RAUSCHE, B.: Alternativen im Pflanzenschutz : biologische/biotechnische Verfahren und Resistenzzüchtung: Tagungsbericht 1992 Nov 6; Bonn-Bad Godesberg. Bonn: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 1993
- RAVEN, J.A.: Regulation of pH and generation of osmolarity in vascular plants: a cost benefit analysis in relation to efficiency of use of energy, nitrogen and water. *New Phytol.* 101, 25-77, 1985
- SCHMID, J. E., BÜTER, B.: Einführung in die moderne Züchtungsmethodik. In: Keller, E. R., Hanus, H., Heyland, K.-U. (Hrsg.) *Handbuch des Pflanzenbaus: 1. Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion*. Stuttgart (Hohenheim), Ulmer, 170-186, 860, 1997
- SCHMID, J. E., CARREL, K., STAMP, P.: Bedeutung gentechnisch veränderter krankheits- und schädlingsresistenter Nutzpflanzen für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. In: Schulte, E., Käppeli, O. (Hrsg.) *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen: eine Option für die Landwirtschaft?* Bern: Schweiz. Nationalfonds, Schwerpunktprogramm Biotechnologie, Band I, Materialien, 373-456, 1996
- SCHULTHESS, U., B. FEIL, S.C. JUTZI: Yield-independent variation in grain nitrogen and phosphorus concentration among Ethiopian wheats. *Agron. J.* 89, 497-506, 1997
- SINGH, B. K., BASCOMB, N. F., SHANER, D. L.: Herbicide resistant crops. Integrated weed management for sustainable agriculture. *Proceedings of an Indian Society of Weed Science International Symposium*. 1993 Nov 18 - Nov 20, Hisar, Haryana, India: Indian Society of Weed Science, 195-201, 1993
- SHEWRY, P.R., A.S. TATHAM, P. LAZZERI: Biotechnology and wheat quality. *J. Sci. Food Agric.* 73, 397-406, 1997
- SLEPER, D. A., BARKER, T. C., BRAMEL, C. P. J.: Plant breeding and sustainable agriculture: considerations for objectives and methods. *Proceeding of a symposium sponsored by Division C-1 of the Crop Science Society of America*, 1989 Oct 17, Las Vegas, Nevada, USA. *CSSA xvii + 93*, 1991
- STEVENS, T.: Raiding the phosphorus bank. *Rural Res.* 174, 13-16, 1997
- STOREBAKKEN, T., SHEARER, K. D., ROEM, A. J.: Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquacult.* 161, 365-379, 1998
- TABE, L., T.J.V. HIGGINS: Engineering plant protein composition for improved nutrition. *Trends in Plant Sci.* 3, 282-286, 1998
- WODZINSKI, R. J., ULLAH, A. H. J.: Phytase. *Adv. Appl. Microbiol.* 42, 263-302, 1996
- YANO, F., Nakajima T., Matsuda, M.: Reduction of nitrogen and phosphorus from livestock waste: A major priority for intensive animal production - review-. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 12, 651-656, 1999

Betriebswirtschaftliche Analyse des Einsatzes biologisch-technischen Fortschrittes unter Einbezug gentechnischer Varianten²⁸

C. EGGENSCHWILER, B. LEHMANN, C. RUDMANN, H.P. WOLF

Institut für Agrarwirtschaft

Gruppe *Betriebswirtschaft und Ökonomie des ländlichen Raumes*

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

8092 Zürich

Zusammenfassung

1 Einleitung und Fragestellung

2 Annahmen für die Modellrechnungen

2.1 Produktionssysteme

2.2 Betriebstypen

2.3 Auswahl der Kulturen

2.4 Eigenschaften der ausgewählten Pflanzen

2.5 Entwicklung des Umfeldes, Szenarien

3 Nachhaltige Entwicklung

3.1 Entwicklungen der Rahmenbedingungen der landwirtschaftlichen Produktion

4 Methode

4.1 Lineare Programmierung

5 Ergebnisse

5.1 Einleitung

5.2 Wirkung eines Einsatzes von GVO-Pflanzen für einen 45 ha Ackerbaubetrieb

5.3 Einfluss der Betriebsgrösse auf den Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen

5.4 Fazit für 1999

5.5 Fazit für 2003

5.6 Einsatz von GVO-Pflanzen bei einem gemischten Betrieb in der Bergzone I

5.7 Interpretation der Ergebnisse in Bezug auf die Nachhaltigkeit

6 Fazit

7 Literaturverzeichnis

²⁸ Zusammenfassung der Fachstudie von Eggenschwiler et al. (1999), BATS Report 3/6, 66 S. (siehe Kap. 8)

Zusammenfassung

Mittels eines Betriebsmodelles, basierend auf der linearen Programmierung wurden die Auswirkungen eines Einsatzes gentechnisch veränderter Pflanzen unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen für den Standort Schweiz quantifiziert. Die Berechnungen erfolgten auf der Basis unterschiedlicher Szenarien im Bezug auf die Anbaujahr (1998 und 2003), der Produktionsform (Integriert, Konventionell und Biologisch) sowie verschiedenen Betriebstypen (Berg- und Talbetrieb).

Bei allen berechneten Varianten führt ein Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen unter der Annahme, dass Saatgutpreise 5% zusätzliche Kosten verursachen, keine Produktpreisdifferenzierungen zwischen GVO- und herkömmlichen Endprodukten bestehen, zu einem höheren landwirtschaftlichen Einkommen. Die Konkurrenzkraft des Ackerbaus wird gestärkt. Zum Beispiel generiert eine Hektare gentechnisch veränderter Braunrost-resistenter Weizen im Vergleich zu einem Anbau herkömmlicher Weizensorten ca. 620 Fr./ha LN mehr Einkommen. Weiter erfahren die Rauhfutterproduktion und die damit verbundene Tierhaltung beim Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen einen Konkurrenzkraftverlust, da unter den getroffenen Annahmen gentechnisch veränderte Pflanzen eine bessere Opportunität darstellen.

Eine Umstellung von Konventionell auf Integriert bzw. auf Biologisch unterstützt die Ökologisierung der genutzten landwirtschaftlichen Fläche. Durch den Einsatz gentechnisch veränderter Sorten gewinnt die Integrierte Produktion gegenüber der konventionellen Produktion an ökonomischer Attraktivität. Auch die Biologische Produktion würde an Attraktivität gewinnen, wäre der Einsatz von GVO erlaubt.

Die in dieser Studie erhaltenen Resultate zeigen, dass der Einsatz von GVO-Pflanzen dazu beitragen würde, die Wirkung der komparativen Nachteile der schweizerischen Landwirte gegenüber ausländischen Anbietern auf den Nahrungsmittelmärkten zu verkleinern. Die Frage nach der ökologischen Nachhaltigkeit eines Einsatzes von gentechnisch veränderten Pflanzen kann nicht abschliessend beantwortet werden, da die Bewertungskriterien nicht vollständig bekannt sind. Auf Stufe der ökonomischen Nachhaltigkeit ergibt sich, dass mit einem Einsatz von GVO-Pflanzen das Einkommen der Landwirte unter den gegebenen Modellannahmen verbessert wird und somit der Einsatz von GVO-Pflanzen einen Beitrag zur ökonomischen Nachhaltigkeit liefern kann.

1 Einleitung und Fragestellung

Vorliegende Studie soll aufzeigen, welche betriebswirtschaftlichen Auswirkungen der Einsatz gentechnisch veränderter Nutzpflanzen haben kann. Die Studie beruht auf Szenarien betreffend das wirtschaftliche der Landwirtschaftbetriebe und Annahmen bezüglich der Eigenschaften der modifizierten Nutzpflanzen. Es wäre heutzutage undenkbar die Folgen einer neuen Technologie nur auf die wirtschaftlichen Konsequenzen hin zu untersuchen. Dementsprechend ist die vorliegende Studie einen Teil eines Ganzen, in welchem Agronomie allgemein, Ökologie und Ökonomie zusammengeführt werden. Dies ergibt ein Ganzes, das als Nachhaltigkeitsanalyse bezeichnet werden darf oder sicher dazu beiträgt.

In dieser Studie beschränken wir uns auf die wirtschaftlichen Folgen des Einsatzes gentechnisch modifizierter Nutzpflanzen in der Landwirtschaft. Unsere Systemeinheit ist der Landwirtschaftliche Betrieb mit seiner Nutzfläche, der Faktoreinsatzstruktur, den Produktionsverfahren, den Leistungen von Pflanzen und Tieren, der Produktion und seinen positiven und negativen externen Effekten. Bevor wirtschaftliche Konsequenzen des

Einsatzes von modifizierten Nutzpflanzen analysiert und dargestellt werden können gilt es zahlreiche agronomische und agrarökonomische Zusammenhänge zu erfassen. Erst das Zusammenspiel der produktionstechnischen Elemente mit wirtschaftlichen Parametern ermöglicht die Auswirkungen des Einsatzes neuer Technologien in ihrer ganzen Dynamik zu erfassen. Das vorliegende Zusammenfassung ist wie folgt aufgebaut:

Kapitel 2	Annahmen für die Modellrechnung
Kapitel 3	Theoretische Überlegungen zur Technologieadoption und Nachhaltigkeit auf Betriebsstufe
Kapitel 4	Methode zur Quantifizierung der Auswirkungen
Kapitel 5	Ergebnisse

2 Annahmen für die Modellrechnungen

2.1 Produktionssysteme

Die Richtlinien, die für die integrierte (IP) und die biologische Produktion (Bio) gelten, sind im Modell als Restriktionen enthalten. Dazu gehören die Fruchtfolgebedingungen, die Nährstoffbilanz nach LBL, Düngungsnormen und die Tierschutzvorschriften. Für die konventionelle Produktion werden Fruchtfolgerestriktionen, Tierschutzvorschriften sowie die Gewässerschutzvorschriften als Produktionsstandards in Restriktionen definiert.

2.2 Betriebstypen

Für die Modellrechnungen werden zwei landwirtschaftliche Betriebstypen (Talbetrieb und Bergbetrieb) modelliert.

2.2.1 Ackerbaubetrieb Talgebiet

Der optimierte Talbetrieb ist ein Ackerbaubetrieb ohne Milchkontingent mit der Möglichkeit rauhfuttermessende Tiere wie Mutterkühe und Masttiere zu produzieren. Das Ziel der Modellrechnungen besteht darin, die Wirkung der Einführung von gentechnisch veränderten Pflanzen für Betriebe mit unterschiedlicher Betriebsgrösse abzuschätzen.

2.2.2 Gemischter Betrieb in der Bergzone I

Der simulierte Bergbetrieb ist ein Milchbetrieb, der auf einem Teil seiner landwirtschaftlichen Nutzfläche Ackerbau betreiben kann. Er befindet sich in der Bergzone I. Es handelt sich dabei nicht um einen typischen landwirtschaftlichen Bergbetrieb, da die Landwirtschaftliche Nutzfläche 30 ha und die Ackerfläche 20 ha beträgt. Er verfügt über ein Milchkontingent von 50'000 kg. Die Erträge der Kulturpflanzen wurden entsprechend den Gegebenheiten im Berggebiet angepasst.

2.3 Auswahl der Kulturen

Bei der Auswahl der Fallbeispiele wurden Kulturarten und Zuchtziele ausgewählt, die für die Schweiz von Bedeutung sind. Diese liegen in Bereichen, in denen erste Sorten in relativ naher Zukunft auf dem internationalen Markt zu erwarten sind.

Tab. 1: Ausgewählte Kulturen und deren Eigenschaften

Kultur	Resistenzgruppe	Spezifische Resistenz
Weizen	Pilzresistenz	Braunrost
Kartoffeln:	Pilzresistenz, Insektenresistenz	Phytophthora (Kraut- und

		Knollenfäule), Kartoffelkäfer
Zuckerrüben	Virusresistenz, Herbizidresistenz	Rhizomania
Mais	Insektenresistenz, Herbizidresistenz	Maiszünsler
Raps	Herbizidresistenz	

Die folgende Tabelle enthält die im Betriebsmodell verwendeten Varianten.

Tab. 2: Ausgewählte Varianten im Berechnungsmodell

	Konventionelle Produktion				Integrierte Produktion				Biologische Produktion				
	Konventionelle Sorten	Resistente Kulturen				Konventionelle Sorten	Resistente Kulturen				Konventionelle Sorten	Resistente Kulturen	
		PR	IR	VR	HR		PR	IR	VR	HR		PR	IR
Weizen	x	X				x	x				x	x	
Gerste	x					x					x		
Roggen	x					x					x		
Kart.	x	x	x			x	x	x			x	x	x
Z-Rübe	x			x	x	x			x	x			
Mais	x		x		x*	x		x		x*	x		x
Körnerlegum.	x					x					x		
Raps	x				x	x				x			

PR (Pilzresistenz), IR (Insektenresistenz), VR (Virusresistenz), HR (Herbizidresistenz)

* zusätzlich Streifenfrässaart

2.4 Eigenschaften der ausgewählten Pflanzen

In Tabelle 3 und 4 sind die wichtigsten Unterschiede in den Produktionsdaten von herkömmlichen und gentechnisch veränderten Kulturen zusammengestellt.

Tab. 3: Ertragsniveau der GVO-Pflanzen gegenüber herkömmlichen Sorten

		Konvent. Produktion	Integrierte Produktion	Biolog. Produktion
Zuckerrüben	VR	-	-	-
	HR	gleich	gleich	-
Weizen	PR	gleich	+15%	+10%
Kartoffel	PR		+5%	+20%
	IR	+1%	+1%	+1%
Körnermais	IR	+6%	+6%	+6%
	HR	gleich	gleich	-
Silomais	IR	+5%	+5%	+5%
	HR	gleich	gleich	-
Raps	HR	gleich	gleich	-

Tab. 4: Im Modell angenommene Änderungen (Spritzmittel-, Arbeits- und übrige Einsparungen) gegenüber herkömmlichen Sorten

		Konventionelle Produktion	Integrierte Produktion
Weizen	PR	1 Spritzung, 1 Überfahrt	1 Spritzung, 1 Überfahrt
Zuckerrüben	VR	-	-
	HR	1 Spritzung, 1 Überfahrt	-
Kartoffel	PR	4 Spritzungen, 4 Überfahrten	3 Spritzungen, 3 Überfahrten
	IR	1 Spritzung	1 Spritzung
Körnermais	IR	Trichogramma: 1 Akh/ha, 145.-Fr./ha Material	Trichogramma: 1 Akh/ha, 145.- Fr./ha Material
	HR	Keine: + 0.3 Spritzungen	Keine: + 0.3 Spritzungen
Silomais	IR	-	-
	HR	Keine: + 0.3 Spritzungen	Keine: + 0.3 Spritzungen
Raps	HR	Keine: + 0.3 Spritzungen	Keine: + 0.3 Spritzungen

Da in der biologischen Produktion keine chemischen Spritzmittel erlaubt sind, können auch keine eingespart werden. Deshalb fehlt in Tabelle 4 die „Biologische Produktion“. Saatgutpreise: Für alle Fallbeispiele wird eine Preiserhöhung von 5% gegenüber den herkömmlichen Sorten angenommen.

2.5 Entwicklung des Umfeldes, Szenarien

Die Entwicklungen der makroökonomischen Rahmenbedingungen erfordern eine Anpassung der schweizerischen Landwirtschaftspolitik. Diese ist vor allem geprägt durch die Trennung der Produkt- und Einkommenspolitik sowie durch die Annahme eines auf der Tarifizierung basierenden Zollschutzesystems. Die Annahme der Bestimmungen des GATT haben zudem einen garantierten, minimalen Marktzutritt zum Inlandmarkt sowie einen Abbau der Exportsubventionen zur Folge. Der Übergang von einer

interventionistischen nationalen Agrarpolitik zu einem liberaleren System, das dem Markt grössere Freiheiten bezüglich der Preisbildung einräumt, bedingt eine mittelfristige Anpassung der Produzentenpreise der wichtigsten Landwirtschaftsprodukte. Die Produzentenpreise der Ackerkulturen sowie für Milch und Fleisch für das Referenzjahr 1998 sowie Schätzungen für das Szenario 2003 basieren auf Schätzungen des Instituts für Agrarwirtschaft der ETHZ. Das Direktzahlungssystem, welches ökologische sowie weitere nicht-handelbare Leistungen der Landwirte entschädigen soll, ist für beide Szenarien (1998 und 2003) gleich ausgestaltet.

3 Nachhaltige Entwicklung

Grundsätzlich kann eine nachhaltige Entwicklung als ein Veränderungsprozess, in dem die Nutzung von Ressourcen, die Ausrichtung von ökonomischen, technischen sowie institutionellen Entwicklungen und Veränderungen miteinander in Einklang sind, und als das Potential das zur Erfüllung von Bedürfnissen und Wünschen von heutigen und künftigen Generationen mindestens erhalten bleibt, angegeben werden (DORENBOS, HEDIGER 1999). Minimale Bedingung (Systemerfordernisse des betreffenden Systems) hierfür sind die Befriedigung der Grundbedürfnisse für alle, die Wahrung der Integrität des ökologischen, ökonomischen und Sozialen Systems sowie die Schaffung von Wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungsmöglichkeiten. Dies bedeutet nicht, dass das betreffende System in seinem ursprünglichen Zustand erhalten werden muss, sondern erfordert Kompromisse (trade-offs) in der Erreichung der unterschiedlichen Ziele im Bereiche der ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeit.

Die Evaluation obiger Kompromisse und die Operationalisierung des Nachhaltigkeitsgedankens erfordert eine formale Darstellung der verschiedenen Teilziele. Nach HEDIGER (1999) können letzere bezüglich des ökologischen, ökonomischen und sozialen Kapitals formuliert und wie folgt definiert werden. Das ökologische Kapital ist die Gesamtheit von erneuerbaren Ressourcen, natürlichen und naturnahen Landschaften sowie ökologischen Faktoren wie Nährstoffkreisläufe, Klimabedingungen und Regenerationsfähigkeit von Ökosystemen. Das ökonomische Kapital wird durch die Produktionskapazitäten einer Ökonomie beschrieben. Sie umfasst das hergestellte Kapital (Maschinen und Gebäude), Wissen und Know-how, Organisationsstrukturen und Institutionen sowie diejenigen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren natürlichen Ressourcen, welche im Rahmen ökonomischer Transformationsprozesse eingesetzt werden. Das soziale Kapital bezieht sich auf die Fähigkeit einer Gesellschaft, ihr eigenes System aktiv zu gestalten und dabei soziale, ökonomische und Umweltprobleme zu bewältigen. Es umfasst Humankapital, Arbeitskraft, Institutionen, Werte und Normen, kulturelle und soziale Integrität, sozialer Zusammenhalt, aber auch lokales Wissen über die Umwelt, soziale Kompetenzen, Gesundheit und Lebenserwartung.

Wird eine nachhaltige Entwicklung angestrebt, so stellt sich die unumgängliche Frage was erhalten werden soll. Mit anderen Worten muss gefragt werden: «Welche Art der Nachhaltigkeit ist erwünscht?». Darf das ökologische Kapital bzw. das ökonomische oder soziale Kapital unter keinen Umständen abnehmen, so sprechen wir von «starker» Nachhaltigkeit (strong sustainability). Starke Nachhaltigkeit ist als statisches Konservierungskonzept zu betrachten, dass sich auf die Erhaltung und Verbesserung des gegenwärtigen Zustands bezieht. Dagegen ist schwache Nachhaltigkeit (weak sustainability) ein ökonomisches Wertkonzept. Nach diesem Konzept ist lediglich eine Abnahme des Wertes des gesamten Kapitals nicht erlaubt. Einzelne Komponenten des ökologischen, ökonomischen oder sozialen Kapitals dürfen allerdings abnehmen, wenn

dies durch eine Erhöhung von mindestens einer anderen Komponente des gesamten Kapitals kompensiert wird. In diesem Sinne sind trade-offs zwischen den drei Bereichen mit dem Konzept der Schwachen Nachhaltigkeit vereinbar.

Eine nachhaltige Entwicklung bezieht sich immer auf die Entwicklung eines räumlich abgegrenzten Systems mit seinen ökologischen, sozio-kulturellen und ökonomischen Gegebenheiten. Das betrachtete System kann beispielsweise ein bestimmtes Ökosystem, ein Landwirtschaftsbetrieb, eine politische Gemeinde, eine Region, eine Nation oder auch das System Erde sein. Je nach betrachtetem System ändern sich die Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Entwicklung. Auch die beteiligten oder betroffenen Akteure werden je nach betrachtetem System andere Vorstellungen einer nachhaltigen Entwicklung haben. Dementsprechend gilt es räumliche Unterschiede von kulturellen Werten und Normen genauso zu berücksichtigen, wie die Tatsache unterschiedlicher Systembedingungen. Zudem ist neben dem räumlichen Aspekt der Faktor Zeit zu berücksichtigen. Was wir heute als nachhaltig betrachten, gilt unter Berücksichtigung von sich ändernden Systembedingungen und Ansprüchen vielleicht morgen nicht mehr als nachhaltig. Entsprechend sind Nachhaltigkeitskriterien nicht global verwendbar und müssen somit je nach Einzelfall definiert werden. Nachhaltigkeit ist somit als normatives und dynamisches Konzept zu verstehen.

Gemäss den obigen Ausführungen ist der Prozess einer nachhaltigen Entwicklung mit Kompromissen (trade-offs) zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen Zielen behaftet. Dies lässt sich am besten durch eine soziale Wohlfahrtsfunktion darstellen, wobei U den gesellschaftlichen Gesamtnutzen aus aggregiertem Einkommen Y , makroökonomischer Stabilität M (z.B. Vollbeschäftigung und Preisniveaustabilität), sozialem Kapital S und ökologischem Kapital (Umweltqualität) Q repräsentieren:

$$U = U(Y, M, S, Q) \quad (1)$$

Gehen wir vom Konzept der schwachen nachhaltigen Entwicklung aus, so wird die Gesellschaft versuchen, ihr Gesamtnutzenniveau zu erhalten oder zu erhöhen. Das Mass für diese Veränderung setzt sich aus den mit den Grenznutzen gewichteten Veränderungen der einzelnen Kapitalkomponenten zusammen:

$$\dot{U} = U_Y \dot{Y} + U_M \dot{M} + U_S \dot{S} + U_Q \dot{Q} \geq 0 \quad (2)$$

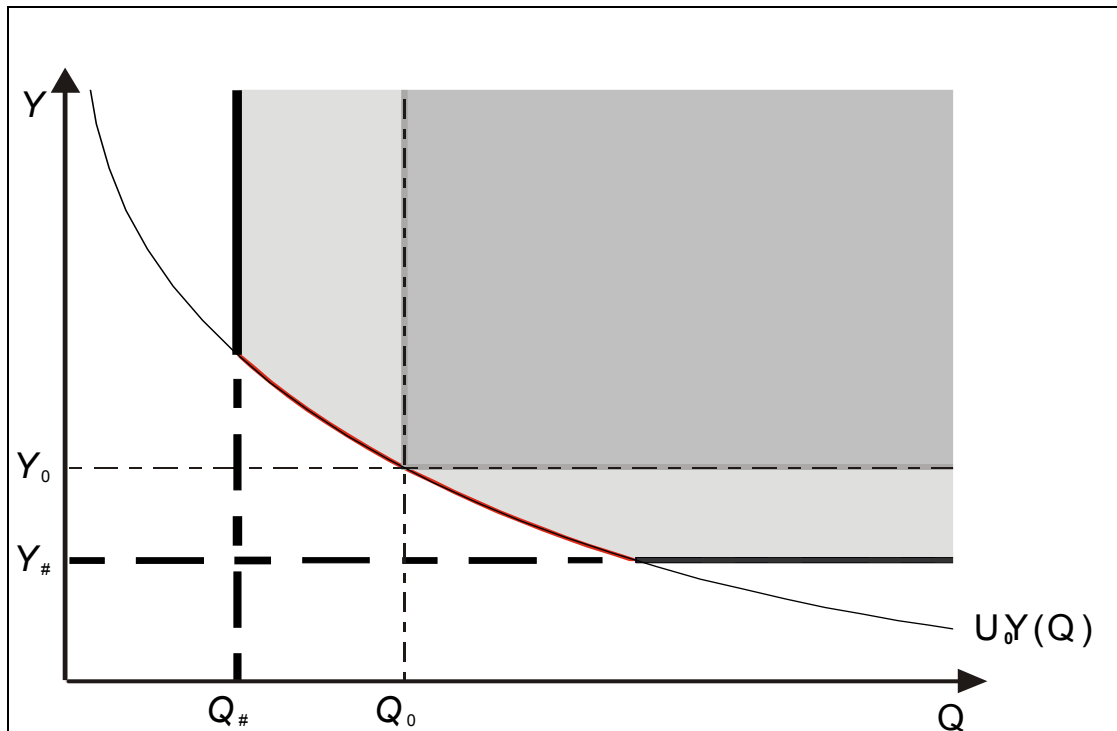
Negative Veränderungen des ökologischen, ökonomischen oder sozialen Kapitals können bei diesem Konzept bis zu gewissen Grenzen im Kauf genommen werden. Diese Grenzen sind bestimmt durch das aktuelle Wohlfahrtsniveau U sowie durch die Minimalerfordernisse bezüglich der Integrität der einzelnen Teilsysteme. Bei der Bestimmung dieser Grenzen kommt der Forschung eine zentrale Rolle zu.

In Abb. ist ein zweidimensionaler Möglichkeitsraum mit Umweltqualität Q und aggregiertem Einkommen Y dargestellt, innerhalb dessen eine nachhaltige Entwicklung möglich ist. Y_0 und Q_0 stellen darin die gegenwärtigen Niveaus von Einkommen und Umweltqualität dar. Für eine schwache nachhaltige Entwicklung stellt das Nutzenniveau U_0 (als Funktion von Y_0 und Q_0) die Referenzgrösse dar, welche nicht unterschritten werden sollte (Vgl. Formel 2).

Der Möglichkeitsraum für einen schwache nachhaltige Entwicklung ist in Abb. durch die gesamte Schattierte Fläche gekennzeichnet. Er umfasst sämtliche Punkte auf oder oberhalb von U_0 , bei welchen die kritischen Grenzen $Q_{\#}$ und $Y_{\#}$ respektiert werden. Der dunkler schattierte Bereich entspricht dem Möglichkeitsraum für eine starke nachhaltige Entwicklung.

Die kritischen Werte $Q_{\#}$ und $Y_{\#}$ stellen die minimalen Höhen des ökologischen und des ökonomischen Kapitals dar, deren Unterschreitung eine irreversible Veränderung des Systems zu Folge hätte. Unterhalb dieser Grenzen ist eine nachhaltige Entwicklung des betrachteten Systems nicht möglich. Es ist Aufgabe der Wissenschaft solche kritischen Werte zu erforschen und der Politik die entsprechenden Grundlagen zu liefern.

Abb. 1: Kritische Werte und Möglichkeitsraum für eine nachhaltige Entwicklung



In Anlehnung an Hediger 1999

3.1 Entwicklungen der Rahmenbedingungen der landwirtschaftlichen Produktion und Adoption des technischen Fortschrittes

Die Markteinführung von GVO-Pflanzen in der landwirtschaftlichen Produktion kann aus ökonomischer Sicht als technischer Fortschritt beschrieben werden. Die Produkt- und Prozessinnovationen sind zentrale Determinanten des langfristigen Wirtschaftswachstum (BECHER, HEMMELSKAMP, SCHEELHAASE, SCHÜLER 1997). Dem Technischen Fortschritt wird ebenso eine Schlüsselrolle für die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung beigemessen, wenn dieser sich an den zentralen Überlebensregeln einer nachhaltigen Entwicklung orientiert. Die Adoption eines technischen Fortschrittes in der Landwirtschaft wird nicht nur von ökonomischen Faktoren, die eine Produktionssteigerung zur Folge haben, beeinflusst, sondern auch durch die Einschätzung der damit verbundenen Risiken. Im Falle einer Einführung gentechnisch veränderten Pflanzen kann der Nutzen eines Einsatzes dieser Technologie quantifiziert und sichtbar gemacht werden. Im Gegensatz dazu sind künftige Risiken wie Einfluss auf das Ökosystem und Umweltinteraktionen sowie Konsumentenpräferenzen schwer erfassbar.

3.1.1 Adoption neuer Technologien durch die Landwirte

Der einzelne Landwirt hat als Rohstoffproduzent keinen direkten Einfluss auf die Preise landwirtschaftlicher Produkte. Die Überproduktion, welche die landwirtschaftlichen Märkte in den meisten wirtschaftlich entwickelten Ländern kennzeichnet, hat im Laufe der Zeit eine Tendenz zu real sinkenden Preisen ausgelöst (RIEDER, ANWANDER PHAN-HUY,

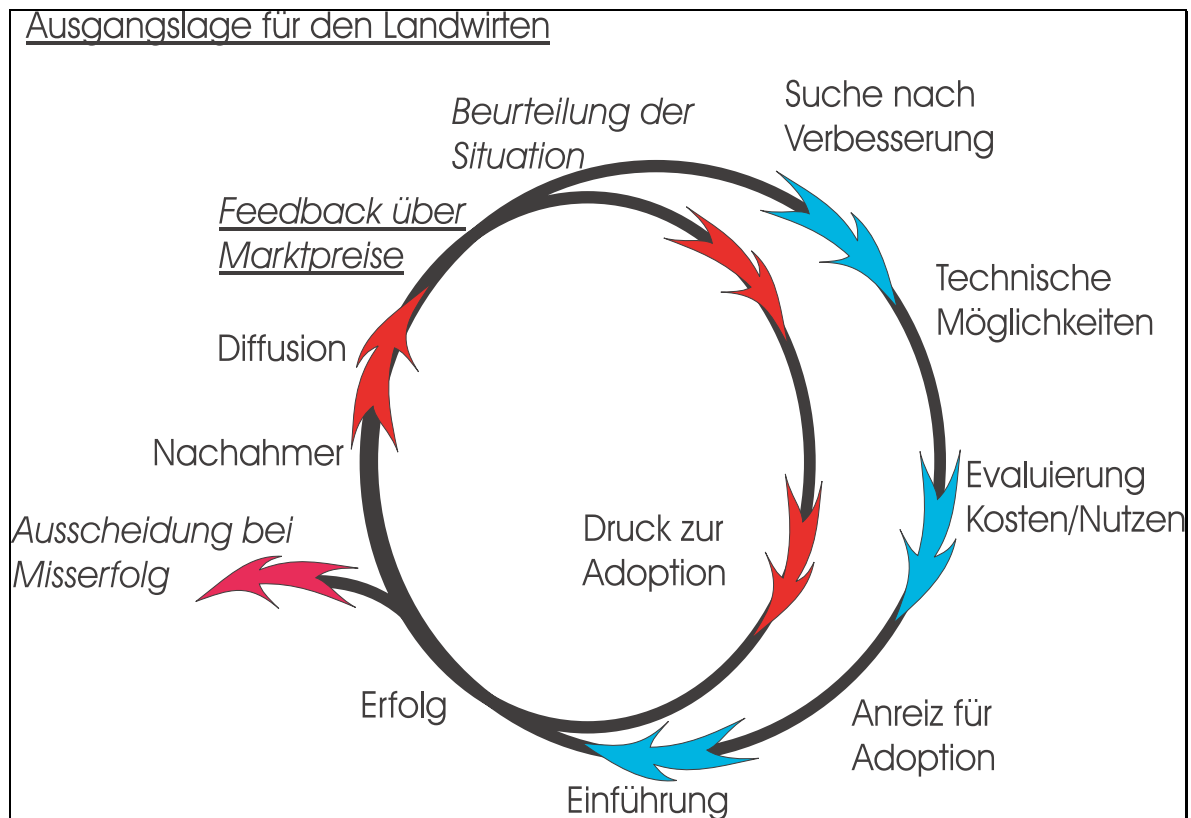
1994). Im gleichen Zeitraum ist die Menge der in der landwirtschaftlichen Produktion eingesetzten Produktionsfaktoren (zu konstanten Preisen) praktisch unverändert geblieben. Hingegen hat die Produktivität der Faktoren stetig zugenommen, was eine Zunahme des Angebotes bei gleichbleibender Faktormenge ermöglichte. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Landwirte immer die rentablen Produktionsverfahren ausgewählt haben, um ihr Einkommen bei sinkenden Produktpreisen zu halten. Die folgende Abbildung 3 zeigt den Annahmeprozess neuer Technologien auf den Märkten für Produktionsfaktoren in einer geschützten Landwirtschaft vor einer Liberalisierung der Märkte auf. Für die schweizerischen Agrarmärkte kann diese Periode mit der Zeit vor Abschluss der Uruguay-Runde des GATT im April 1996 gleichgesetzt werden. Die vor den GATT-Verhandlungen der Uruguay-Runde herrschende Agrarpolitik war charakterisiert durch hohe Preis- und Kostenniveaus, sowie durch einen ausgebauten Grenzschutz. Das wirtschaftliche Verhalten des Pionierlandwirtes wurde vorwiegend durch seine Preisbeobachtung bzw. Preiserwartung bezüglich der von ihm produzierten Hauptprodukte bestimmt. Beim Auftreten neuer Technologien am Faktormarkt (technology push) schätzt er das Kosten-/Nutzenverhältnis dieser neuer Technologien ab, um sein Einkommen zu optimieren. Der Anreiz zur Annahme dieser neuen Technologien ist individuell und hängt von der Analyse, der Initiative sowie von den vorhandenen Handlungsmöglichkeiten jedes einzelnen Landwirtes ab.

Die anderen Landwirte verhalten sich als „Nachahmer“ und entscheiden sich für oder gegen die neue Technologie je nach Erfolg oder Misserfolg des Pionierlandwirtes. Der Druck zur Adoption neuer Technologien ist selbstverständlich auch in dieser Situation gegeben, sein Ausmass ist gegeben durch die Produktivitätsunterschiede, welche durch die Technologieadaption entstehen.

Mit der Uruguay-Runde endete auch die Zeit, in der nationale Landwirtschaftspolitiken, mit Ausnahme einiger Zugeständnisse, unabhängig vom GATT ausgearbeitet werden konnten. Die Schutzmassnahmen bei einem Markteintritt an der Grenze werden tarifiziert. Für interne Stützungen wird eine Höchstgrenze pro Produkt festgelegt und die erlaubten Instrumente für die Einkommensstützung der Landwirte werden durch eine Klassifizierung (BOX) definiert. Die internen Stützungen der verschiedenen nationalen Landwirtschaftspolitiken müssen sich somit auf Direkthilfen (Direktzahlungen) ausrichten, die so wenig wie möglich das Preissystem beeinflussen. Dieses im Rahmen der GATT-Verhandlungen ausgestaltete Agrarpaket fördert eine progressive und programmierte Öffnung der landwirtschaftlichen Märkte. Diese Abkommen erfordern grundlegende Anpassung der schweizerischen Landwirtschaftspolitik. Diese Anpassung ist in Form der AP2002 am 1.1.1999 in Kraft getreten.

Die WTO sieht eine neue Verhandlungsrunde für das Jahr 1999 vor. Die traditionellen Exportländer werden versuchen, ihre Handelsinteressen zu wahren, indem sie eine weitere Liberalisierung des Welthandels in jenen Sektoren verlangen, in denen sie glauben international am wettbewerbsfähigsten zu sein. Diese Länder (USA und Cairns-Gruppe) haben ein fundamentales Interesse an einem weiteren Abbau der Exportsubventionen, an einem verbesserten Marktzutritt und an der Reduktion der internen Stützungen.

Abb. 1: Anpassungsprozess vor der Liberalisierung der Märkte



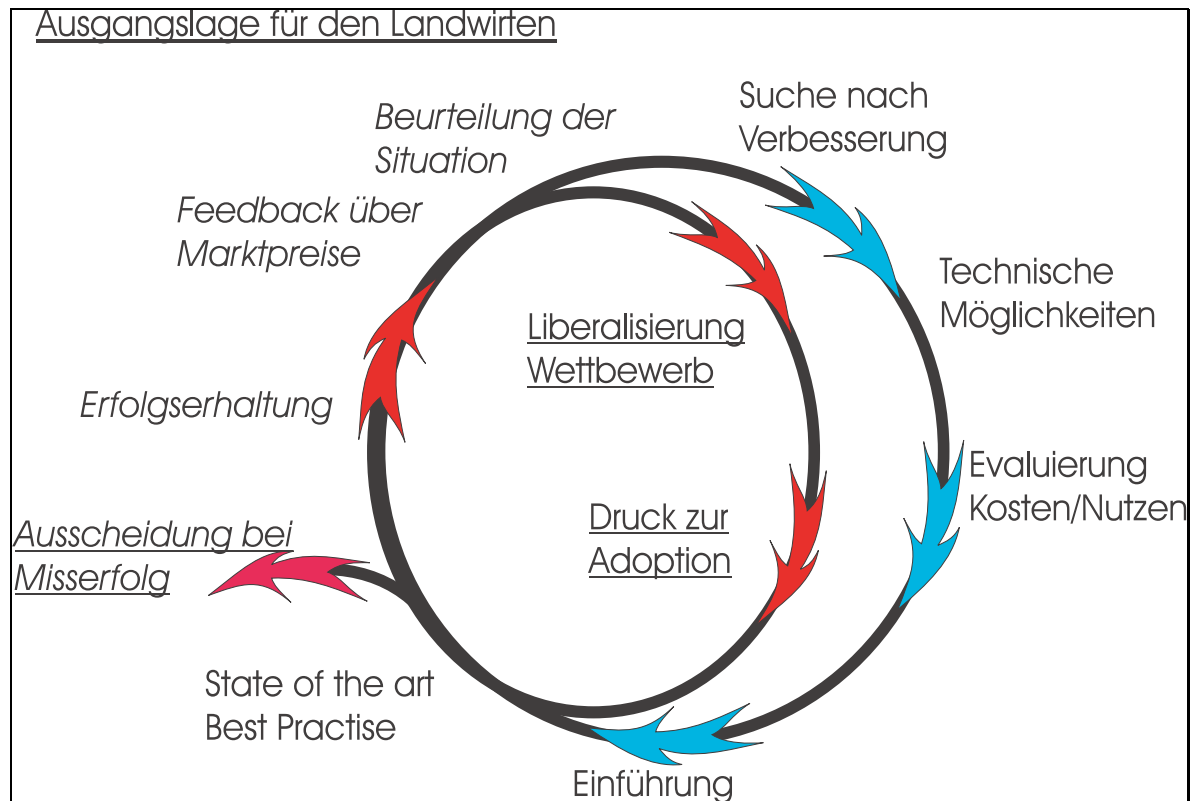
Diesem Vorhaben werden sich aber jene Länder entgegenstellen, welche Schwierigkeiten bei der Reform ihrer international wenig wettbewerbsfähigen Sektoren kennen. Für diese Länder, zu denen auch die Schweiz und die EU angehören, müsste die Ausgestaltung der Landwirtschaftspolitik durch die folgenden drei Prinzipien charakterisiert sein (GOHIN; GUYOMARD; LE MOUËL 1998):

- Die Landwirtschaftspolitik muss in Zukunft so ausgestaltet sein, dass nicht nur die Landwirte davon profitieren, sondern auch parallel dazu öffentliche Leistungen für die Gesellschaft bereitgestellt werden.
- Die Einkommenspolitik für die Landwirtschaft muss von der Produktpreispolitik getrennt werden. Das heisst, dass die Landwirte ihr Einkommen nicht mehr vorwiegend über erhöhte Produktpreise erhalten, sondern über ergänzende Direktzahlungen.
- Der Aufbau von Sicherheitsnetzen und verschiedene Übergangspolitiken, um den herrschenden Verzerrungen der verschiedenen Märkte Rechnung zu tragen, sollten implementiert werden.

Die weitere Liberalisierung der Agrarmärkte bilden also den Inhalt der künftigen Verhandlungen mit der WTO. Für bisher weitgehend geschützte Länder wie die Schweiz bedeutet dies eine Zunahme der Konkurrenz im Agrarsektor. Der vorhersehbare Rückgang der Produktionspreise erhöht den Anpassungsdruck für die Landwirte, insbesondere in bezug auf Erhaltung ihres Einkommensanteils aus der Produktion von landwirtschaftlichen Gütern und Dienstleistungen auf ihrem Betrieb. In dieser Situation müssen sie schnell reagieren und sich überlegen, ob sie neue Technologien annehmen wollen oder nicht. Diese Annahme stellt einen wichtigen Faktor für das Überleben des Betriebes dar. Der Produktivitätsfortschritt, der bei den Erstanwendern auf der internationalen Ebene erfolgreich umgesetzt wird, erhöht das ohnehin schon grosse Gefälle in der

Wettbewerbsfähigkeit. Landwirte anderer Länder, wie die europäischen können ihren Platz auf den Märkten nur behaupten, wenn sie auch Zugang zu diesen Technologien haben. Dies wird für sie zu einer wirtschaftlichen Überlebensfrage. Je vernetzter die internationalen Agrarmärkte sind, desto stärker wird der betriebswirtschaftliche Druck auf die Harmonisierung der Technologiegesetzgebung. Denn die Technologien nicht umsetzen können, schmälert die Erfolgchancen und kann sogar die Aufgabe der Produktion zur Folge haben (Abb. 2).

Abb. 2: Anpassungsprozess während und nach einer Liberalisierung der Märkte



3.1.2 Potentielle Risikosituation beim Einsatz von GVO-Pflanzen

Mit der Gentechnologie eröffnet sich Neuland, das definitionsgemäss noch ungenügend bekannt ist. Die verfügbaren Informationen bezüglich den potentiellen Risiken sind folglich begrenzt. Die Bedeutung eines grossflächigen Anbaus für das Ökosystem muss auf verschiedenen Stufen abgeschätzt werden. Somit sind mögliche Veränderungen des Ökosystemes, Eindringen von veränderten Pflanzen in Ökosysteme und horizontale Übertragung des modifizierten Gens auf andere Pflanzen zu untersuchen. Eine Störung der Beziehungen zwischen den Spezien, genetische Transfers oder Neukombinationen, eine Vermehrung, sogar eine Invasion der Ökosysteme sind mögliche Hypothesen. Gemäss LE ROY (1996) können zwei potentielle Risikokategorien formuliert werden:

Risiko, bedingt durch Einfügen eines fremden Gens oder einer fremden DNA-Sequenz in einen Organismus. Es ist nicht immer möglich abzuschätzen, welche Sequenzen des Genoms durch das Einfügen verändert werden und welche Konsequenzen dies haben wird. Die begründet sich vor allem wegen den Interaktionen zwischen den verschiedenen Genen eines Genomes. Allgemein stellt sich die Frage nach den neuen Eigenschaften, die von einem anderen Organismus durch Einfügen eines Transgenes gewonnen werden. Bringen diese neue Eigenschaften dem Organismus einen selektiven Vorteil? Kann dieser in

Ökosysteme eindringen und sich als schädlich herausstellen, weil er sich auf Kosten anderer Organismen entwickelt? Beispielsweise kann durch ein Transgen eine Pflanze in ein Unkraut verwandelt werden, die vorher keines war.

Risiko, bedingt durch die zufällige oder freiwillige Verbreitung des gentechnisch veränderten Organismus in der Umwelt und die Unfähigkeit, das übertragene Gen oder den ganzen Organismus zu beherrschen. Allgemein besteht das Problem im Transfer der Gene, d.h. die Übertragung des eingefügten Genes in eine mit dem Organismus verwandte Art. Beispielsweise könnte ein Gen, das resistent ist gegen Herbizide, auf Wildpflanzen übertragen werden, die mit der transgenen Kultur verwandt sind. Dies würde zur Schaffung von resistenten Unkräutern führen.

Risiko-Nutzen Abschätzung

Die Einführung gentechnisch veränderter Pflanzen schafft Unsicherheit. Im Zentrum der Überlegungen steht die Wahrnehmung des Nutzens (Erwartungswert) solcher Produkte. Es stellt sich die Frage der Akzeptanz solcher Produkte, ausgehend von der Wahrnehmung der spezifischen Risiken dieser Produkte durch die Konsumenten, Produzenten bzw. durch die Gesellschaft. Die Einschätzung von Risiken im Ernährungsbereich hängt vor allem von der Nutzenabschätzung und von der Vertrautheit mit den verschiedenen Risiken ab. Gesellschaftliche, kulturelle und demographische Faktoren haben hierbei vergleichsweise nur einen geringen Einfluss (ANWANDER PHAN-HUY 1998). Die Menschen sind heute sensibler gegenüber Risiken. Sie zeigen teilweise Überreaktionen, reagieren oft heftig gegenüber Risiken, die von Experten als minim angesehen werden. Auf der anderen Seite werden ernsthafte Gesundheitsgefährdungen, wie Alkoholmissbrauch oder Rauchen oft minimiert. Es muss folglich zwischen einem effektiven und einem wahrgenommenen Risiko unterschieden werden. Die Reaktion der Menschen bezieht sich immer auf das wahrgenommene Risiko. Die Wahrnehmung von Risiken hängt sowohl vom persönlich erfahrbaren Nutzen als auch von den positiven Auswirkungen auf die Gesellschaft ab. Je höher der Nutzen einer Technologie angesehen wird, desto niedriger wird das damit verbundene Risiko eingestuft, und desto grösser ist auch die Akzeptanz dieser Technologie. Es wird dabei angenommen, dass die Menschen eine Abwägung (zwischen möglicher Gefährdung und dem möglichem Nutzen dieser Technologie machen.

4 Methode

4.1 Lineare Programmierung

Die lineare Programmierung (LP) ist ein besonders geeignetes Instrument zur einzelbetrieblichen Planung bzw. für die langfristige Prognose von Betriebsstrukturveränderungen. Die jeweilige Problemstellung wird dabei in einem linearen Gleichungssystem abgebildet. Dieses wird mit einem speziellen Verfahren (Algorithmus) gelöst. Dabei wird der resultierende Wert einer linearen Zielfunktion in einem durch Nebenbedingungen eingeschränkten Lösungsraum maximiert. Das Gleichungssystem kann wie folgt dargestellt werden:

$$\text{Maximiere } Z: \quad \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\text{unter den Nebenbedingungen } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad \text{für } i = 1, 2, \dots, m$$

$$\text{und} \quad x_j \geq 0 \quad \text{für } j = 1, 2, \dots, n$$

Dabei stellen die x_j die Entscheidungsvariablen dar. Die c_j repräsentieren die Grenzerträge der Entscheidungsvariablen. Als Z wird der aus der Zielfunktion resultierende Wert bezeichnet. Die b_i beschreiben die zur Verfügung stehenden Faktormengen oder Kapazitäten und die a_{ij} bezeichnen die Ansprüche der einzelnen Entscheidungsvariablen an die verfügbaren Faktoren respektive Kapazitäten. Auf diese Weise können sich ändernde Produktionsstrukturen eines landwirtschaftlichen Betriebes bzw. dessen Anpassungsprozess unter Berücksichtigung von vorgegebenen makroökonomischen Rahmenbedingungen (z.B. agrarpolitische Massnahmen) abgebildet werden.

Normative Modelle basieren auf effizienten Input-Output-Relationen. Sie weichen deshalb von realen ineffizienten Verhältnissen ab. Modelle abstrahieren von der realen Welt, weil es unmöglich ist, die Komplexität der Realität vollständig zu erfassen. Die Herausforderung für einen Modellbauer besteht darin, die für die interessierende Fragestellung relevanten Elemente und deren gegenseitige Beziehungen im Modell möglichst adäquat abzubilden. Die Resultate, welche aus der LP-Modellrechnung gewonnen werden, stellen eine im Vergleich zur realen (Land-) Wirtschaft ideale Lösung dar. Bezüglich dem im Modell abgebildeten Unternehmer gelten folgende Annahmen: Der Unternehmer...

- ist vollständig informiert,
- verhält sich in bezug auf die Optimierung der Zielfunktion rational,
- ist technisch sowie ökonomisch effizient und
- macht keine Fehler.

Der Zielfunktionswert des verwendeten Betriebsmodelles entspricht im Prinzip der betriebswirtschaftlichen Grösse „Landwirtschaftliches Einkommen“. In der gewählten Vorgehensweise entspricht das „Landwirtschaftliche Einkommen“ annähernd dem Arbeitsverdienst, da die Betriebe in der Ausgangslage kein Eigenkapital ausser dasjenige der Betriebsfläche besitzen.

5 Ergebnisse

5.1 Einleitung

Im folgenden Kapitel werden anhand ausgewählter Betriebstypen die Auswirkungen eines Einsatzes gentechnisch veränderter Nutzpflanzen auf Stufe Landwirtschaftsbetrieb aufgezeigt. Zu diesem Zwecke sind verschieden grosse Modellbetriebe für die Jahre 1998 und 2003 modelliert worden. Im Jahr 2003 gewinnt die Frage, ob mit einem Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen die Konkurrenzkraft des Ackerbaues erhalten werden kann, an Bedeutung. Frühere Modellrechnungen zeigten auf, dass der Ackerbau in der Zukunft (Jahr 2003) nicht die gleiche Wettbewerbskraft im Vergleich zu heute besitzen wird. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da im Rahmen einer Annäherung der Produzentenpreise an ein EU-Preisniveau ein grösserer Produzentenpreistrückgang im Ackerbau unterstellt wurde.

Mit der Variation der Betriebsfläche der Modellbetriebe versuchten wir Interaktionen zwischen Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen und der Auslastung der Arbeitskraft bzw. der Betriebsgrösse aufzuzeigen. Das Direktzahlungssystem im Jahre 2003 entspricht mit Änderungen in der Beitragshöhe demjenigen aus dem Jahre 1998. Durch den Einbezug der heute in der Schweiz praktizierten Produktionsverfahren (Konventionelle Produktion, Integrierte Produktion, Biologische Produktion) kann die

Konkurrenzkraft einzelner gentechnisch veränderter Pflanzen für die jeweiligen Varianten quantifiziert werden.

Damit die Auswirkungen eines Einsatzes gentechnisch veränderter Nutzpflanzen in ihrer Gesamtheit erfasst werden konnten, wurden neben einem 45 ha LN grossen Ackerbaubetrieb noch weitere Modellbetriebe mit unterschiedlicher Flächenausstattung optimiert. Mit diesem Ansatz war es möglich die „GEN-Effekte“ in einen Zusammenhang von produktionstechnischen Elementen einerseits und wirtschaftlichen Parametern andererseits zu setzen. Daraus lassen sich dann betriebsspezifische Charakteristiken ableiten, die den Einsatz von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen eher favorisieren.

Beim gewählten gemischten Betrieb in der Bergzone wurde analog der Betriebsfläche im Ackerbaubetrieb die Grösse der Milchkontingente variiert. Somit können die Wirkungen eines Einsatzes gentechnisch veränderten Pflanzen im Berggebiet quantifiziert werden.

5.2 Wirkung eines Einsatzes von GVO-Pflanzen für einen 45 ha Ackerbaubetrieb im Talgebiet

Exemplarisch wird im Folgenden der Einfluss eines Einsatzes von gentechnisch veränderten Pflanzen auf einen 45 ha LN Ackerbaubetrieb untersucht. Dieser Betrieb besitzt kein Milchkontingent und die Möglichkeit in die Schweineproduktion einzusteigen, ist ihm verwehrt. Somit können die Rindermast, die Mutterkuhhaltung und die Kälbermast sowie Ackerkulturen und Futterpflanzen Bestandteile des Produktionsprogrammes bilden.

Die Auswirkungen im Jahre 1998 und 2003, sowie mögliche Einflussfaktoren der einzelnen Produktionssysteme (KONV, IP, BIO), werden quantifiziert. Als erstes wird die Betriebsstruktur ohne GVO-Einsatz beschrieben. Danach folgt eine Auflistung der Veränderungen im Produktionsprogramm, die durch einen Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen entstehen.

5.2.1 Betriebsspiegel des 45 ha Ackerbaubetriebes

Die Struktur und das Produktionsprogramm des Ackerbaubetriebes können der folgenden Tab. 5 entnommen werden. Die optimierte IP-Variante 1998 entspricht ihrer Betriebsstruktur nach ungefähr einem heute existierenden schweizerischen Ackerbaubetrieb mit Mutterkuhhaltung. Die Veränderungen, die durch den „Zeit-Effekt“ (1998 –2003) bedingt sind, lassen sich folgendermassen zusammenfassen:

- Der im Vergleich zur Tierproduktion relativ grössere Preisrückgang im Ackerbau bedingt eine Verringerung der offenen Ackerfläche
- Extensive Wiesen und Brache gewinnen dank der Erhöhung der Direktzahlungen an Konkurrenzkraft. Tendenziell werden die Betriebe dadurch extensiver bewirtschaftet.
- Das landwirtschaftliche Einkommen sinkt um ca. 25%
- Die Einstellung einer zusätzlichen Arbeitskraft ist nicht mehr rentabel. Das heisst, dass der zusätzliche Erlös, der durch einen Angestellten erwirtschaftet werden könnte, die Lohnkosten nicht mehr deckt.

Tab. 5: Betriebsdaten Ackerbaubetrieb mit 45 ha LN

	IP ohne Gen 98	IP mit Gen 98	IP ohne Gen 03	IP mit Gen 03	Konv ohne Gen 98	Konv mit Gen 98	Konv ohne Gen 03	Konv mit Gen 03	Bio ohne Gen 98	Bio mit Gen 98	Bio ohne Gen 03	Bio mit Gen 03
Jahr	1998	1998	2003	2003	1998	1998	2003	2003	1998	1998	2003	2003
Landwirtschaftliche Nutzfläche	45.00 ha	45.00 ha	45.00 ha	45.00 ha	45.00 ha	45.00 ha	45.00 ha	45.00 ha	45.00 ha	45.00 ha	45.00 ha	45.00 ha
Dunghare Fläche	37.06 ha	40.27 ha	25.53 ha	31.50 ha	31.50 ha	31.86 ha	18.00 ha	18.00 ha	41.85 ha	40.05 ha	23.71 ha	21.45 ha
Offene Ackerfläche	35.52 ha	36.85 ha	19.78 ha	25.17 ha	39.05 ha	45.00 ha	21.00 ha	21.96 ha	31.39 ha	30.04 ha	23.63 ha	23.63 ha
Kunstpflanzenfläche	6.33 ha	5.00 ha		4.99 ha	0.00 ha				10.46 ha	10.01 ha	7.88 ha	7.88 ha
Naturwiesen 0-18%	3.15 ha	3.15 ha	25.22 ha	14.84 ha	5.95 ha		24.00 ha	23.04 ha	3.15 ha	4.95 ha	13.50 ha	13.50 ha
Landwirtschaftliches Einkommen	166 661 Fr.	180 951 Fr.	128 875 Fr.	137 848 Fr.	151 932 Fr.	164 222 Fr.	111 801 Fr.	115 792 Fr.	166 709 Fr.	194 784 Fr.	126 431 Fr.	137 072 Fr.
Arbeit												
Familienarbeitskräfte	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK
Nebenerwerb	1 137 h	1 087 h	520 h	522 h	1 287 h	1 698 h	631 h	660 h	1 041 h	1 118 h	504 h	676 h
Angestellte												
Saisoniers	1.0 AK	1.0 AK		1.0 AK	1.0 AK	1.0 AK			1.0 AK	1.0 AK		
Lehrlinge												
Tagelöhner	390 h	996 h	430 h	593 h	894 h	1 081 h	358 h	339 h	1 071 h	1 035 h	408 h	424 h
Anzahl DGVE	25.1 DGVE	21.0 DGVE	21.0 DGVE	41.3 DGVE	21.0 DGVE		21.0 DGVE	21.0 DGVE	21.0 DGVE	21.0 DGVE	21.0 DGVE	13.3 DGVE
Mutterkühe	23.9 Tiere	20.0 Tiere	20.0 Tiere	20.0 Tiere	20.0 Tiere		20.0 Tiere	20.0 Tiere	20.0 Tiere	20.0 Tiere	20.0 Tiere	12.7 Tiere
Mastvieh												
Ackerkulturen												
Grünbrache	4.79 ha	1.58 ha	5.97 ha		13.50 ha	13.14 ha	13.50 ha	13.50 ha				
Buntbrache												
Winterweizen	10.89 ha		6.35 ha		11.94 ha		1.00 ha		11.95 ha	11.95 ha	7.79 ha	10.05 ha
Braunrost-resistenter WW		11.04 ha		10.45 ha		12.63 ha		1.23 ha			5.88 ha	6.57 ha
Sommerweizen												
Winterroggen												
Wintergerste	6.63 ha	6.72 ha	2.03 ha		1.43 ha	3.64 ha			2.70 ha	2.07 ha		
Sommergerste												
Ackerbohnen									8.16 ha	7.75 ha	6.30 ha	2.97 ha
Raps	4.50 ha											
herbizidresistenter Raps		4.50 ha				1.12 ha						
Kartoffeln	4.11 ha		3.01 ha		7.36 ha		2.97 ha		8.37 ha		3.44 ha	
Phytophthora-resistente Kartoffel		7.28 ha		4.56 ha		8.91 ha		2.93 ha		8.01 ha		3.68 ha
K-Kafer-resistente Kartoffel												
Körnermais	0.12 ha		0.35 ha		0.11 ha		0.30 ha		0.21 ha		0.22 ha	
Herbizidresistenter KM												
Zünlresistenter KM		0.16 ha		0.30 ha				0.29 ha		0.26 ha		0.35 ha
Herbizidresistenter KM mit Streifenfräsaa												
Silomais			0.02 ha									
Herbizidresistenter SM												
Zünlresistenter SM												
Herbizidresistenter SM mit Streifenfräsaa		1.33 ha		6.44 ha				0.82 ha				
Zuckerrüben	4.49 ha	1.62 ha	2.06 ha	2.85 ha	4.70 ha		3.22 ha					
Herbizidresistente ZR		2.62 ha		0.57 ha		5.57 ha		3.19 ha				
Virusresistente ZR												

5.2.2 Veränderungen im Jahr 1998 durch einen Einsatz von GVO-Pflanzen

Obwohl im Jahre 1998 in der Schweiz noch keine gentechnisch veränderten Pflanzen auf den Märkten waren, interessierte uns dennoch die Wirkung solcher Kulturpflanzen auf das ökonomische Resultat sowie auf das Produktionsprogramm. Vorteilhaft für die Berechnungen dieser Variante war die Tatsache, dass die Produktpreise bekannt waren bzw. die relevanten Annahmen betreffend Direktzahlungshöhe bereits vorlagen. Das Produktionsprogramm wird also nicht wegen Preisrelationsverschiebungen verändert, sondern alleine auf Grund des Einsatzes gentechnisch veränderter Pflanzen.

5.2.2.1 Konventionelle Produktion

Durch den Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen setzt dieser Landwirtschaftsbetrieb ca. 11% weniger Arbeitsstunden ein. Dabei wird auf die Mutterkuhhaltung verzichtet. Die offene Ackerfläche wird um 15% auf Kosten der Naturwiesen vergrössert. Die Brachefläche bleibt ungefähr gleich gross. Mit einer Anbaufläche von 1.12 ha bildet der Rapsanbau Bestandteil des Produktionsprogrammes. Die folgenden Kulturen gewinnen mit einem Einsatz gentechnisch veränderten Pflanzen an Konkurrenzkraft und ihre Anbaufläche wird dementsprechend vergrössert (Vgl. Tab. 5):

- Weizen (+10%)
- Gerste (+150%)
- Kartoffeln (+21%)
- Zuckerrüben (+18%)

Der Einsatz von GVO-Pflanzen weist eine höhere Konkurrenzkraft auf und somit tragen die Ackerkulturen einen wesentlich höheren Beitrag zum Einkommen bei als die Mutterkuhhaltung.

Ökonomisch gesehen ist für diesen Betriebstyp der Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen rentabel, da er gesamthaft gesehen ca. 12'291 Fr. (entspricht ca. 273 Fr./ ha LN) mehr Einkommen erwirtschaftet.

5.2.2.2 Integrierte Produktion

Bei dem integriert produzierenden 45 ha LN Ackerbaubetrieb löst ein Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen die folgenden produktionstechnischen und ökonomischen Effekte aus.

- Die Vorschriften der Integrierten Produktion verlangen einen minimalen ökologischen Ausgleich in Form von extensiven oder wenig intensiven Wiesen (mindestens 7% der LN, entspricht hier 3.15 ha). Somit fällt auf dem Betrieb eine gewisse Menge Rauhfutter an. Damit dieses Futter verwertet werden kann, verzichtet der Modellbetrieb nicht wie bei der konventionellen Bewirtschaftungsweise auf die Produktion von rauhfuttermessenden Tieren, sondern er hält 20 Mutterkühe. Bei einem Einsatz von GVO-Pflanzen werden im Vergleich zur GVO-freien Variante (IP) die Düngergrossvieheinheiten und die Wiesenfläche (-14%) reduziert.
- Die düngbare Fläche wird um 8% ausgedehnt. Dies entspricht einer Intensivierung, da einerseits ca. 500 kg mehr Mineraldünger zugekauft werden und andererseits die Grünbrachefläche um 3.21 ha auf 1.58 ha reduziert wird.
- Die offene Ackerfläche wird um 4% erhöht. Neu wird Silomais angebaut (1.33 ha). Die Kartoffelfläche wird dank dem verminderten Arbeitsbedarf der GVO-Pflanzen um 77% ausgedehnt. Durch den erhöhten Arbeitsbedarf in der Kartoffelproduktion steigen die total eingesetzten Arbeitsstunden jedoch um 14% an.
- Durch den Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen steigt das Einkommen um 14'290 Fr. (317 Fr. / ha LN). Im Vergleich zur konventionellen Produktion erreicht der Betrieb ein höheres Einkommen (+14'730 Fr.). Könnten nur konventionelle Betriebe gentechnisch veränderte Pflanzen einsetzen, so erreichen sie im Vergleich zur Integrierten Produktion ein um 2'439 Fr. höheres Einkommen. Bei diesem Szenario würden also längerfristig die Betriebe tendenziell wieder konventionell produzieren (ökonomisch vorteilhafter).
- Es fällt auf, dass der Betrieb sowohl konventionelle wie gentechnisch veränderte herbizidresistente Zuckerrüben anbaut. Herbizidresistente Zuckerrüben verlangen eine Herbizidspritzung mehr und weisen höhere Direktkosten pro ha LN auf. Mit dem Einsatz dieser Kulturart können 30.6 Stunden je Hektare an Jätarbeit in der FAT-Arbeitsperiode 42 (Juni) eingespart werden. Falls der Faktor Arbeit im Modell bindend wird (Knappheit), ist es ökonomisch interessanter den Anbau herbizidresistenter Zuckerrüben auszudehnen, obwohl sie höhere Direktkosten und eine zusätzliche Spritzung verursachen.
- Die Veränderungen im Produktionsprogramm, die durch einen Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen entstehen, sind in der Integrierten Produktion weniger ausgeprägt, da die Fruchtfolgerestriktionen eher begrenzend wirken.

5.2.2.3 Biologische Produktion

Die Fruchtfolgebedingungen sind im biologischen Landbau viel restriktiver. Der Anteil der Kartoffelfläche ist auf maximal 20% der Ackerfläche begrenzt. Neu wird im Vergleich zu den beiden übrigen Anbausystemen eine zusätzliche Hackfrucht (Ackerbohnen) angepflanzt. Auf Stufe Produktionsprogramm hat der Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen keine nennenswerten Veränderungen zur Folge. Einzig die eingesetzten Arbeitsstunden nehmen um 113 Std. ab. Da mit dem Einsatz von gentechnisch

veränderten Pflanzen im biologischen Landbau die Erträge stabilisiert und erhöht werden können, vergrössert sich daher das Einkommen um 28'075 Fr. (623 Fr./ha LN). Sollte in Zukunft der biologische Landbau als einzige Produktionsform auf den Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen verzichten, so erreicht dieser Betrieb ein um 3.4 Fr. (IP) bzw. 6.1 Fr. (KONV.) geringeres Einkommen pro geleistete Arbeitsstunde. Absolut gesehen entspräche dies einem Einkommensverlust gegenüber der Integrierten Produktion von 14'242 Fr./Betrieb.

Da die Mineraldüngerzukaufskosten im biologischen Landbau um den Faktor 8 höher sind, ist ein Verzicht auf die Tierhaltung ökonomisch nicht rentabel. Aus diesem Grunde baut der biologische Betrieb weniger Ackerkulturen an.

5.2.2.4 Fazit

Unter Annahme des Preisszenarios aus dem Jahre 1998 lassen sich die folgenden Zusammenhänge herleiten:

- Gentechnisch veränderte Pflanzen verbessern in allen berechneten Varianten (1998) das Einkommen des Landwirtschaftsbetriebes. Dieser Einkommenszuwachs ist einerseits durch Aufwandeinsparungen und andererseits durch höhere Erträge erklärbar. Letztere werden mittelfristig auf den Agrarmärkten zu Preisanpassungen führen, was den Einkommenseffekt mittel- bis langfristig schmälern wird. Dies ermöglicht der Landwirtschaft jedoch bei tieferen Produktpreisen die ökonomische Nachhaltigkeit (Einkommenspotential) der Betriebe aufrechtzuerhalten.
- Der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen stärkt die Konkurrenzkraft des Ackerbaues im Vergleich zur Tierproduktion
- Extensive Flächen und Brache verlieren an Attraktivität, da bessere Opportunitäten existieren (gentechnisch veränderte Pflanzen).
- Je weniger Restriktionen ein Landbausystem voraussetzt (Fruchtfolgebedingungen, Düngerbeschränkungen), desto ausgeprägter treten Veränderungen im Produktionsprogramm durch einen Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen auf.

5.2.3 Veränderungen im Jahr 2003 durch einen Einsatz von GVO-Pflanzen

Damit der Einfluss eines Einsatzes gentechnisch veränderter Pflanzen auch unter sich ändernden Rahmenbedingungen abgeschätzt werden kann, war es notwendig, die Berechnungen für das Jahr 2003 durchzuführen. Dieses Szenario ist gekennzeichnet durch einen massiven Preisrückgang im Ackerbau (Verlust der Konkurrenzkraft). Diese Effekte wurden schon in früheren Studien beschrieben (WOLF / EGGENSCHWILER, 1998). So bleibt letztendlich die Frage zu klären, ob mit einem Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen eine Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Ackerbaues erreicht werden könnte.

5.2.3.1 Konventionelle Produktion

Das Preisszenario im Jahre 2003 ist gekennzeichnet durch einen massiven Produktpreisrückgang im Ackerbau. Im Gegensatz zur Integrierten Produktion reichen bei der konventionellen Produktion die Direktzahlungen nicht aus, um den Produktpreisrückgang zu kompensieren. Aus diesem Grunde wählt der konventionell produzierende Betrieb eine „extensive Strategie“, die ihm erlaubt sein Einkommen und die Direktzahlungssumme zu optimieren. Brache und extensive Wiesen werden somit bis zur maximal beitragsberechtigten Grösse von 30% der LN ausgedehnt. Mit dieser Beitragsoptimierung erreicht er ein maximales Einkommen, das jedoch um 17'074 Fr. kleiner ist als bei der Integrierten Produktion. Im Vergleich zu 1998 ist die Anstellung eines Arbeiters nicht rentabel.

Durch den Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen erhofft man sich dank Ertragssicherung, Arbeits- und Aufwandeinsparungen eine Stärkung der Konkurrenzkraft im Ackerbau. Die Fläche der Ackerkulturen (ohne Brache) steigt mit einem Einsatz gentechnisch veränderten Pflanzen nur minimal von 8.1 auf 8.46 ha. Markante Verschiebungen in der Auswahl der Ackerkulturen treten nicht auf. Das Einkommen steigt jedoch um 3'991 Fr. (88 Fr./ha LN) und die benötigten Arbeitsstunden reduzieren sich um 4.2%. Die Stärkung der Konkurrenzkraft von Ackerkulturen durch einen Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen reicht nicht aus, um die Brache und die extensiven Wiesen aus dem Produktionsprogramm zu verdrängen.

5.2.3.2 Integrierte Produktion

Der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen fördert den Anbau von Ackerkulturen. Durch diese Stärkung wird eine zusätzliche Arbeitskraft bei einem Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen nachgefragt. Damit diese auch optimal ausgelastet wird, passt der Betrieb seine Produktionsstruktur an. Der Betrieb investiert nun in die Rindviehmast. Damit für diese Tiere genügend Futter vorhanden ist, wird etwas über 6 ha herbizidresistenter Silomais mit Streifenfrüssaat angebaut. Die folgenden Veränderungen sind beobachtbar:

- Die offene Ackerfläche und die düngbare Fläche dehnen sich um 27% bzw. 23% aus.
- Verbunden mit dem Anbau von Silomais (6.44 ha) werden auch die rauhfutterverzehrenden Tiere (Mastvieh) aufgestockt (+20.3 DGVE)
- Auf Kosten der Brache, der Wintergerste und des Rapsanbaus wird der Weizen (+64%), der Zuckerrüben(+66%), der Silomais- und der Kartoffelanbau (+51%) ausgedehnt.
- Mit dem Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen steigt das landwirtschaftliche Einkommen um 8'973 Fr. (199 Fr./ha LN).
- Falls der Faktor Arbeit bei einem ähnlich gelagerten Betrieb knapp wäre, würde vermehrt Brache und extensive Wiesen angebaut.

5.2.3.3 Biologische Produktion

Im biologischen Landbau beträgt der Mindestanteil der Kunstwiesen an der Ackerfläche 25%. Extensive Wiesen werden bis zur maximal beitragsberechtigten Fläche von 30% der LN angebaut. Somit bleibt für den Ackerbau kein grosser Spielraum mehr. Mit dem Einsatz gentechnisch veränderten Pflanzen vergrössert sich die Anbaufläche des Weizen (+11%) und der Kartoffel (+6%). Weiter werden 7.3 Mutterkühe weniger gehalten. Das Einkommen steigt mit einem Einsatz gentechnisch veränderten Pflanzen um 10'641 Fr. (236 Fr./ha LN).

5.2.3.4 Fazit 2003

Die Preisrelationsverschiebungen, die im Jahre 2003 auftreten, haben einen markanten Einfluss auf den Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen. Sollte in Zukunft der Preisrückgang im Ackerbau bedeutend höher sein als in der Tierhaltung, so genügt auch der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen nicht, den heutigen Ackerflächenanteil zu halten. Mit dem Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen kann der Landwirt auch in der Zukunft sein Einkommen verbessern. Die Ausgestaltung künftiger Direktzahlungen bestimmt die Wettbewerbsfähigkeit der Produktionsmöglichkeiten von gentechnisch veränderten Pflanzen und somit deren Vorkommen im Produktionsprogramm

5.2.4 Zusammenfassung wirtschaftlicher Ergebnisse

Ein Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen führt in jeder berechneten Variante zu einer Einkommensverbesserung (Vgl. Tab. 6). Durch den Einsatz gentechnisch veränderter Kulturen kann die Gesamtarbeitszeit gesenkt werden, sofern nicht durch eine Intensivierung des Produktionsprogrammes mehr Arbeitsstunden eingesetzt werden. Analog diesen Berechnungen über Einkommensgewinne können auch die Verluste quantifiziert werden, die bei einem einseitigen Verzicht auf einen Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen in einem Landbausystemes im Vergleich zu den beiden übrigen entstehen können. Die biologische Produktion erreicht unter den 1998'er Preisannahmen das höchste Einkommen. Somit dürften die Anreize für diesen Betrieb genügend hoch sein, damit mittel- bis langfristig ein Wechsel auf die biologische Produktion in Betracht gezogen werden könnte. Ein etwas anderes Bild widerspiegelt die Situation im Jahre 2002. Die Konkurrenzkraft der konventionellen Produktion nimmt weiter ab. Ein integriert produzierender Betrieb erreicht absolut gesehen das höchste Einkommen. Die Anreize in Zukunft integriert zu produzieren werden steigen.

Tab. 6: Einkommen des 45 ha LN Ackerbaubetriebes

	Konv			IP			Bio		
	ohne Gen	mit Gen	%	ohne Gen	mit Gen	%	ohne Gen	mit Gen	%
Landw. Einkommen 1998	151'932 Fr.	164'222 Fr.	8.1%	166'661 Fr.	180'951 Fr.	8.6%	166'709 Fr.	194'784 Fr.	16.8%
Landw. Einkommen 2003	111'801 Fr.	115'792 Fr.	3.6%	128'875 Fr.	137'848 Fr.	7.0%	126'431 Fr.	137'072 Fr.	8.4%
Eingesetzte Std 1998	5'018.8	4'465.1	-11.0%	4'665.6	5'320.9	14.0%	5'443.4	5'329.9	-2.1%
Eingesetzte Std. 2003	3'272.8	3'225.7	-1.4%	3'454.6	5'483.0	58.7%	3'447.7	3'293.5	-4.5%

Bei der Variante 2003 (IP) wird bei einem Einsatz von GVO-Pflanzen eine zusätzliche AK nachgefragt.

5.2.5 Struktur des Einsatzes von GVO-Pflanzen

Bei allen untersuchten Varianten wiesen die GVO-Pflanzen gegenüber den konventionellen Pflanzen einen grösseren Konkurrenzvorteil auf. Somit bildeten diese Pflanzen immer Bestandteil des Produktionsprogrammes. Eine Ausnahme bildete unter gewissen Umständen (Knappheit der Arbeit) der Zuckerrübenanbau. Für verschiedene Kulturpflanzen (Kartoffel, Silomais, Körnermais und Zuckerrüben) wurden unterschiedliche gentechnisch veränderte Varianten modelliert. Dabei fanden die folgenden Varietäten bei allen berechneten Varianten Einzug ins Produktionsprogramm, sofern sich ein Anbau dieser Kulturpflanze ökonomisch aufdrängt:

- Pilzresistente Kartoffel
- Zünlresistenter Körnermais
- Herbizidresistenter Silomais mit Streifenfrässaat
- Herbizidresistente Zuckerrüben

Unter den angenommenen Voraussetzungen dürften diese Pflanzen am konkurrenzkräftigsten sein.

5.2.6 Grenzgewinn des Einsatzes gentechnisch veränderter Pflanzen

Die Einführung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen verbessert die relative Wettbewerbsfähigkeit der Ackerkulturen. Mit Hilfe des Grenzgewinnes kann nun festgestellt werden, in welchem Masse eine gentechnisch veränderte Sorte an Konkurrenzkraft gegenüber konventionellen Sorten gewonnen hat. Beträgt der Grenzgewinn für eine Hektare gentechnisch veränderten Weizen 620 Fr., so bedeutet dies, dass das landwirtschaftliche Einkommen des Betriebes um 620 Fr. steigen würde, wenn eine Hektare gentechnisch veränderter Weizen, anstatt herkömmlicher Weizen angebaut würde. Im Folgenden werden einige ausgewählte Grenzgewinne gentechnisch veränderter Kulturen für den IP-Ackerbaubetrieb für das Berechnungsjahr 1998 aufgelistet.

Tab. 7: Grenzgewinne gentechnisch veränderter Kulturen

Ackerkultur	Grenzgewinn/ha LN	Ackerkultur	Grenzgewinn/ha LN
Winterweizen	620 Fr.	Körnermais HR, Str.fr.	296 Fr.
Raps HR	22 Fr.	Silomais IR	143 Fr.
Kartoffeln IR	370 FR.	Silomais HR	-18 FR.
Kartoffeln PR	789 Fr.	Silomais HR, Str. fr.	842 Fr.
Körnermais IR	446 Fr.	Zuckerrüben HR	490 Fr.
Körnermais HR	-27 Fr.	Zuckerrüben VR	-21 Fr.

Fast durchwegs alle Pflanzen weisen einen positiven Grenzgewinn aus. Die marginal negativen Grenzgewinne, insbesondere für den herbizidresistenten Mais, können mit den gewählten Modellannahmen erklärt werden. Das zusätzliche Ertragspotential für diesen Maistyp ist gleich Null. Der Preis für das Saatgut steigt und keine anderen Einsparungsmöglichkeiten (z.B. Arbeit) wurden bei der Modellierung für diesen Maistyp berücksichtigt. Falls ein Arbeitsgang oder eine Spritzung eingespart werden könnte, so würde der Grenzgewinn unweigerlich positiv werden. Das gleich gilt für die virusresistenten Zuckerrüben.

5.3 Einfluss der Betriebsgrösse auf den Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen

Im vorherigen Beispiel wurden die Auswirkungen eines Einsatzes gentechnisch veränderter Pflanzen anhand eines konkreten Betriebes aufgezeigt. Im folgenden bleibt nun zu prüfen, ob diese Effekte betriebspezifisch oder allgemein gültig sind. Zu diesem Zwecke wird die Betriebsfläche in 5 ha Schritten von 10 bis 50 ha LN variiert. Mit diesem Vorgehen werden die meisten schweizerischen Ackerbaubetriebe im Talgebiet abgebildet und die Auswirkungen eines Einsatzes gentechnisch veränderter Pflanzen werden sichtbar. Dabei spielt die Nachfrage nach einer zusätzlichen Arbeitskraft eine wesentliche Rolle, da dadurch grössere Veränderungen im Produktionsprogramm auftreten können.

5.3.1 Flächennutzung beim Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen

Grundsätzlich sind bei allen „Flächenklassen“ die gleichen Veränderungen im Produktionsprogramm durch den Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen wie beim bereits diskutierten Ackerbaubetrieb mit 45 ha LN feststellbar. Bei den Ackerbaubetrieben, wo der Faktor Arbeit nicht limitierend wirkt (bis 25 ha LN beim IP-Betrieb 1998), wird durch den Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen der Hackfruchtanteil erhöht und die ökologischen Ausgleichsflächen reduziert.

Durch einen Einsatz von GVO-Pflanzen werden die rauhfuttermehrzehrenden Tiere und die Grünlandfläche reduziert. Kleinflächige Betriebe (bis 15 ha) halten keine Düngergrossvieheinheiten. Für sie ist es attraktiver ihre Arbeitskraft vorwiegend im Kartoffelanbau einzusetzen. Die Betriebsgrösse übt somit keinen nennenswerten Einfluss auf den Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen und auf die Zusammensetzung des Produktionsprogrammes aus.

5.3.2 Nachfrage nach zusätzlichen Arbeitskräften beim Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen

Mit gentechnisch veränderten Pflanzen steigt die Ertragssicherheit und zugleich ist der Arbeitsbedarf für die einzelnen Ackerkulturen geringer (Vgl. Annahmen Kapitel 2). Aus

diesem Grunde steigt die Konkurrenzkraft der Ackerkulturen und die Entlohnung einer zusätzlichen Arbeitskraft wird schon bei einer kleineren Betriebsfläche realisiert. Dieser Zusammenhang wird sichtbar bei der Variation der landwirtschaftlichen Betriebsfläche. Mit einem Einsatz von GVO-Pflanzen wird der Punkt, wo der Erlös der Ackerkulturen die zusätzlichen Arbeitskosten deckt, schon bei einer kleineren Fläche erreicht (Grenzkosten der Arbeitskraft entsprechen dem Grenzertrag). Die Modellergebnisse zeigen exemplarisch diesen Zusammenhang auf (Vgl. Tab. 8). Mit einem Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen wird schon bei einer kleineren Betriebsfläche eine zusätzliche Arbeitskraft nachgefragt. Dieser unterschiedliche Arbeitseinsatz beeinflusst auch das Produktionsprogramm mittels einer Intensivierung der Produktion (Faktor Arbeit wirkt nicht mehr limitierend).

Im Jahre 2003 fragen die Ackerbaubetriebe im Vergleich zu 1998 erst bei einer grösseren Fläche eine zusätzliche Arbeitskraft nach. Auswirkungen auf das Produktionsprogramm wie

- Ausdehnung der Düngergrossvieheinheiten,
- Vergrösserung der Ackerfläche, insbesondere des arbeitsintensiven Kartoffelanbaues,
- Reduktion der Brache und der ökologischen Ausgleichsfläche,

sind sowohl im Jahre 1998 und 2002 beobachtbar.

Durch den Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen könnte in Zukunft der Stellenabbau in der Landwirtschaft gebremst werden. Familienbetriebe würden so eher eine zusätzliche Arbeitskraft auf ihrem Betrieb beschäftigen. Somit ist eine Arbeitsaufteilung an den Wochenenden möglich und Ferien und freie Wochenenden der Betriebsleiterfamilien dürften eher realisierbar sein. Die Präsenzzeit der Betriebsleiterfamilie auf dem Landwirtschaftsbetrieb könnte somit in einem kurz- bis mittelfristigen Zeithorizont flexibler gehandhabt werden.

Tab. 8: Einsatz einer Arbeitskraft in Abhängigkeit von der LN und der Landbauform

Betriebsgrösse in Ha LN		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1998	Konv. ohne Gen						x	x	x	x	x	x
	Konv. mit Gen					x	x	x	x	x	x	x
	IP ohne Gen						x	x	x	x	x	x
	IP mit Gen					x	x	x	x	x	x	x
	Bio ohne Gen							x	x	x	x	x
	Bio mit Gen						x	x	x	x	x	x
2002	Konv. ohne Gen											x
	Konv. mit Gen									x	x	x
	IP ohne Gen											x
	IP mit Gen								x	x	x	x
	Bio ohne Gen											
	Bio mit Gen										x	x

x = Einsatz einer zusätzlichen Arbeitskraft

Weiter kann die Erhaltung von Arbeitsplätzen in ländlichen Gebieten einen Beitrag zur dezentralen Besiedlung liefern, da Beschäftigungsmöglichkeiten und Kaufkraft wichtige Determinanten zur Bestimmung der Attraktivität einer Region bilden.

5.3.3 Zusammenfassung wirtschaftlicher Ergebnisse

Ackerbaubetriebe unterschiedlicher Grösse und Produktionsform erreichen mit einem Einsatz gentechnisch veränderten Pflanzen durchwegs ein höheres Einkommen pro ha LN

(Vgl. Tab. 9). Das Mehreinkommen pro ha LN ist umso höher je kleiner die Betriebsfläche (intensivere Produktion) und je knapper der Faktor Arbeit vorhanden ist. Biologisch produzierende Ackerbaubetriebe erreichen mit dem Einsatz von GVO-Pflanzen durchwegs ein höheres Einkommen.

Tab. 9: Mehreinkommen durch „GEN-Einsatz“ pro Ha LN beim IP-Betrieb 1998

Anzahl Ha LN	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Konv	344 Fr.	350 Fr.	322 Fr.	304 Fr.	368 Fr.	328 Fr.	303 Fr.	282 Fr.	280 Fr.	266 Fr.	223 Fr.
IP	516 Fr.	433 Fr.	348 Fr.	288 Fr.	317 Fr.	368 Fr.	341 Fr.	316 Fr.	285 Fr.	256 Fr.	231 Fr.
Bio	712 Fr.	683 Fr.	679 Fr.	605 Fr.	484 Fr.	531 Fr.	665 Fr.	626 Fr.	550 Fr.	484 Fr.	432 Fr.

Die Grenzgewinne für die einzelnen Ackerbaubetriebe decken sich ungefähr mit denjenigen des 45 ha Betrieb (Vgl. Tab. 9). Demzufolge behalten auch die gleichen gentechnisch veränderten Pflanzen ihre Konkurrenzkraft bei und bilden weiterhin Bestandteil des Produktionsprogrammes.

5.4 Fazit für 1998

Der Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen bewirkt:

- Eine Erhöhung des landwirtschaftlichen Einkommens bei einem Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen um ca. 8%. (Maximal 16.8% bei BIO 1998).
- Der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen kann die Oekologisierung der genutzten Fläche unterstützen, da durch deren Einsatz eine Umstellung von der Konventionellen auf die Integrierte ökonomisch interessanter wird. Auch die Biologische Produktion würde an ökonomischer Attraktivität gewinnen, wäre der Einsatz von GVO erlaubt.
- Beim Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen gewinnt die Ackerfläche an Konkurrenzkraft und verdrängt damit die Rohfutterproduktion und die damit verbundene Produktion von rohfutterverzehrenden Tieren
- Der Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen kreiert einen Grenzgewinn für Weizen von ca. 620 Fr./ha LN.
- Die Anreize gentechnisch veränderte Pflanzen in der Biologischen Produktion einzusetzen sind am höchsten, falls der Einsatz von GVO erlaubt wäre.
- Der Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen erhöht die Opportunitätskosten für eine Landnutzung ohne gentechnisch veränderte Pflanzen, dies bedingt, dass die Prämien erhöht werden müssten, um das Gleichgewicht zu erhalten.

5.5 Fazit für 2003

- Der Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen bewirkt
- Eine Nachfrage nach einer zusätzlichen AK schon bei Betrieben mit einer kleineren LN
- Eine markante Verbesserung der Einkommenssituation bei der integrierten und der biologischen Produktion
- Mehr Getreide- und Hackfrüchteanbau
- Brache und ökologische Ausgleichsflächen verlieren durch einen Einsatz gentechnisch veränderten Pflanzen tendenziell an Konkurrenzkraft (Gentechnisch veränderte Pflanzen sind konkurrenzkräftiger)
- Die zukünftige Agrarpolitik müsste die Ökologisierung der nicht ackerbaulich genutzten Fläche noch stärker unterstützen, damit die heute existierenden Produktionsgleichgewichte in der integrierten und der biologischen Produktion erhalten bleiben.

5.6 Einsatz von GVO-Pflanzen bei einem gemischten Betrieb in der Bergzone

In einem zweiten Schritt wurde ein Betrieb im Berggebiet optimiert. In erster Linie ging es darum, die Auswirkungen eines Einsatzes gentechnisch veränderter Pflanzen zu quantifizieren. Im Berggebiet sind die klimatischen und topographischen Bedingungen weniger günstig als im Talgebiet. Die Erträge der Ackerbaukulturen und der Futterpflanzen sind dort geringer. Der optimierte Bergbetrieb besitzt 30 ha LN, wovon 20 ha ackerfähig sind. Sein Milchkontingent beträgt 50'000 kg. Anstatt wie beim diskutierten Ackerbaubetrieb die Fläche zu variieren, wurde das Milchkontingent vergrössert. Dadurch tritt nun der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen in Konkurrenz zur Milchproduktion. Auf diese Weise können Aussagen betreffend der innerbetrieblichen Wettbewerbsfähigkeit eines Einsatzes von GVO-Pflanzen getätigt werden.

5.6.1 Auswirkungen eines Einsatzes gentechnisch veränderter Pflanzen bei einem Betrieb mit 50'000 kg Milchkontingent

Mit dem verfügbaren Milchkontingent von 50'000 kg wird bei der integrierten und der konventioneller Produktion 1998 und 2002 keine Milch produziert. Anstatt Milchkühe werden Mutterkühe gehalten. Der biologisch produzierende Betrieb nutzt sein Milchkontingent vollständig, ausser im Jahre 2002 beim Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen. Dies ist einerseits durch eine Stärkung der Konkurrenzskraft in der Milchproduktion auf Grund des ca. 10% höheren Bio-Milchmehrpriess zurückzuführen und andererseits verlangen strengere Fruchtfolgerestriktionen einen grösseren Anteil Grünland, dessen Futter durch rauhfutterverzehrende Tiere gefressen werden muss.

Die Effekte auf das Produktionsprogramm, die durch einen Einsatz gentechnisch veränderter Nutzpflanzen entstehen, entsprechen mehrheitlich denjenigen des diskutierten Ackerbaubetriebes. Das landwirtschaftliche Einkommen ist bei allen betrachteten Varianten bei einem Einsatz von GVO-Pflanzen höher (Vgl. Tab. 10).

Tab. 10: Einkommen des Bergbetriebes mit 50'000 kg Kontingent

	Konv		IP		Bio	
	ohne Gen	mit Gen	ohne Gen	mit Gen	ohne Gen	mit Gen
Landw. Einkommen 1998	66'817.0 Fr.	71'024.0 Fr.	79'440.0 Fr.	85'827.0 Fr.	80'470.0 Fr.	89'205.0 Fr.
Landw. Einkommen 2002	43'670.0 Fr.	46'958.0 Fr.	59'169.0 Fr.	64'335.0 Fr.	58'262.0 Fr.	62'127.0 Fr.
Eingesetzte Std 1998	2'712.4	2'875.7	2'758.8	2'737.6	4'415.5	4'860.6
Eingesetzte Std. 2002	2'928.7	2'931.0	2'855.5	2'841.7	4'556.5	4'732.4

Tab. 11: Einkommenszuwachs beim Einsatz von GVO-Pflanzen

	Konv		IP		BIO	
	absolut	pro Ha LN	absolut	pro Ha LN	absolut	pro Ha LN
Mehreinkommen 1998 mit Einsatz gentechnisch veränderten Pflanzen	4'207 Fr.	140.2 Fr.	6'387 Fr.	212.9 Fr.	8'735 Fr.	291.2 Fr.
Mehreinkommen 2002 mit Einsatz gentechnisch veränderten Pflanzen	3'288 Fr.	109.6 Fr.	5'166 Fr.	172.2 Fr.	3'865 Fr.	128.8 Fr.

Absolut gesehen erreicht der biologisch produzierende Betrieb dank den höheren Produktpreisen und den Direktzahlungen im Jahre 1998 das höchste Einkommen. Wird nun der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen nur in den beiden Landbausystemen IP und Konv. erlaubt, so ist die IP Variante mit einem GVO-Pflanzeneinsatz ökonomisch am vorteilhaftesten. Dieselbe Einkommenshöhe kann auch mit einem Einsatz von GVO-Pflanzen in der biologischen Produktion nicht erreicht werden. Längerfristig wären somit die Einkommensanreize wahrscheinlich genügend gross, damit biologische Betriebe wieder auf die integrierte Produktion umsteigen könnten. Der Einkommensgewinn beträgt, bei einem Einsatz von GVO-Pflanzen in der integrierten Produktion 5'166 Fr. (172 Fr/ha LN), und er wird bei keiner anderen Variante im Jahre 2003 erreicht (höheres Einkommenspotential).

Die Konventionelle Produktion erreicht bei diesem Betrieb im Berggebiet mit einem Einsatz gentechnisch veränderten Pflanzen nie das Einkommensniveau der beiden übrigen Produktionssysteme. Diese Tatsache unterstützt somit die Ökologisierung der Landwirtschaftsbetriebe, da längerfristig konventionelle Betriebe dank den Einkommensanreizen mindestens auf die integrierte Produktion umsteigen werden. Dieser Effekt kann als ein Beitrag zur ökologischen Nachhaltigkeit angesehen werden, da tendenziell diese Betriebe eine geringere Intensität aufweisen.

5.6.2 Auswirkungen des Einsatzes gentechnisch veränderter Pflanzen bei einem Betrieb mit 120'000 Milchkontingent

Der Betriebstyp hat ein Milchkontingent von 120'000 kg. Das ganze Kontingent wird bei allen Varianten (Konv., IP, Bio) vollständig gemolken. Die Konkurrenzkraft der Milchproduktion ist also höher als die des Ackerbaues. Die Veränderungen im Produktionsprogramm sind bei einem Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen vergleichbar denjenigen der bereits diskutierten Varianten (Ackerbaubetrieb im Talgebiet). Mit einem Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen erreicht dieser Betriebstyp im Vergleich zu einem GVO-Verzicht die folgenden Mehreinkommen in den Jahren 1998 und 2003:

- | | | |
|-----------------------------|------------------|------------------|
| • Konventionelle Produktion | 3'405 Fr (1998) | 2'991 Fr. (2003) |
| • Integrierte Produktion | 5'608 Fr. (1998) | 4'616 Fr. (2003) |
| • Biologische Produktion | 7'767 Fr. (1998) | 3'200 Fr. (2003) |

Beim Szenario von 1998 wird in der konventionellen Produktion nicht mehr die gesamte Fläche von 30 ha LN bewirtschaftet. Mit einem Einsatz von GVO-Pflanzen steigt die Konkurrenzkraft im Ackerbau und die Fläche wird wieder ganz bewirtschaftet. Im Jahre 2003 wird der Verlust der innerbetrieblichen Konkurrenzkraft im Ackerbau nicht durch den „GEN-Effekt“ kompensiert und in der konventionellen sowie der biologischen Produktion wird die landwirtschaftliche Nutzfläche nicht vollständig bewirtschaftet. Die Opportunitätskosten der Verpachtung sind also grösser als diejenigen der Bewirtschaftung der zusätzlichen Fläche. Der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen kann einen Beitrag zur Sicherung der Flächennutzung in der Schweiz liefern.

Tab. 12: Betriebsdaten Betrieb Berggebiet mit 120'000 kg Milchkontingent

	Konv ohne Gen 98	Konv mit Gen 98	Konv ohne Gen 03	Konv mit Gen 03	IP ohne Gen 98	IP mit Gen 98	IP ohne Gen 03	IP mit Gen 03	Bio ohne Gen 98	Bio mit Gen 98	Bio ohne Gen 03	Bio mit Gen 03
Jahr	1998	1998	2003	2003	1998	1998	2003	2003	1998	1998	2003	2003
Milchkontingent	120 000 kg	120 000 kg	120 000 kg	120 000 kg	120 000 kg	120 000 kg	120 000 kg	120 000 kg	120 000 kg	120 000 kg	120 000 kg	120 000 kg
Landwirtschaftliche Nutzfläche	28.81 ha	30.00 ha	28.01 ha	26.22 ha	30.00 ha	30.00 ha	30.00 ha	30.00 ha	30.00 ha	30.00 ha	26.01 ha	25.87 ha
Düngbare Fläche	20.17 ha	24.77 ha	19.61 ha	18.35 ha	25.00 ha	25.26 ha	21.00 ha	21.00 ha	23.20 ha	23.45 ha	18.21 ha	18.11 ha
Offene Ackerfläche	10.01 ha	15.05 ha	8.53 ha	9.57 ha	15.15 ha	16.79 ha	11.24 ha	11.51 ha	13.57 ha	14.12 ha	9.95 ha	10.36 ha
Kunstpflanzenfläche	4.71 ha	4.72 ha	5.73 ha	3.10 ha	4.85 ha	3.21 ha	4.76 ha	4.49 ha	6.43 ha	5.88 ha	3.32 ha	3.45 ha
Naturwiesen 0-18%	9.10 ha	5.23 ha	8.75 ha	8.55 ha	5.00 ha	5.00 ha	9.00 ha	9.00 ha	5.00 ha	5.00 ha	7.74 ha	7.76 ha
Naturwiesen 18-35%	5.00 ha	5.00 ha	5.00 ha	5.00 ha	5.00 ha	5.00 ha	5.00 ha	5.00 ha	5.00 ha	5.00 ha	4.93 ha	4.30 ha
Landwirtschaftliches Einkommen	79 981 Fr.	83 386 Fr.	58 503 Fr.	61 494 Fr.	88 456 Fr.	94 064 Fr.	73 585 Fr.	78 201 Fr.	110 833 Fr.	118 600 Fr.	83 558 Fr.	86 758 Fr.
Arbeit												
Familienarbeitskräfte	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK	1.3 AK
Nebenerwerb	189 h	841 h	131 h	89 h	829 h	963 h	284 h	323 h	561 h	1 029 h	344 h	373 h
Angestellte												
Saisonniers												
Lehrlinge		1.0 AK			1.0 AK	1.0 AK			1.0 AK	1.0 AK		
Tagelöhner	48 h	175 h	44 h	37 h	129 h	309 h	60 h	58 h	120 h	386 h	31 h	167 h
Anzahl DGVE	22.1 DGVE	22.1 DGVE	22.0 DGVE	26.6 DGVE	22.1 DGVE	22.1 DGVE	18.0 DGVE	18.0 DGVE	23.3 DGVE	23.3 DGVE	20.0 DGVE	18.8 DGVE
Milchkühe	22.1 Tiere	22.1 Tiere	18.4 Tiere	18.9 Tiere	22.1 Tiere	22.1 Tiere	18.0 Tiere	18.0 Tiere	23.3 Tiere	23.3 Tiere	20.0 Tiere	18.8 Tiere
Milchverkauf	120000 kg	120000 kg	120000 kg	120000 kg	120000 kg	120000 kg	120000 kg	120000 kg	120000 kg	120000 kg	120000 kg	120000 kg
Mittlere Milchleistung	5700 kg	5700 kg	6940 kg	6940 kg	5700 kg	5700 kg	6940 kg	6940 kg	5400 kg	5400 kg	6275 kg	6640 kg
Mutterkühe												
Mastvieh			7.9 Tiere	16.7 Tiere								
Ackerkulturen												
Winterweizen	3.19 ha		3.59 ha		5.01 ha		4.31 ha		5.99 ha		2.78 ha	
Braunrost-resistenter WW		5.88 ha		2.86 ha		5.88 ha		4.31 ha		6.00 ha		4.14 ha
Sommerweizen												
Winterroggen					0.87 ha					0.42 ha	1.20 ha	0.05 ha
Wintergerste	1.69 ha	4.00 ha	0.55 ha	0.41 ha	4.99 ha	4.12 ha	2.50 ha	2.50 ha	4.01 ha	3.58 ha	2.66 ha	2.71 ha
Sommergerste												
Raps	1.00 ha				1.00 ha							
herbizidresistenter Raps		1.00 ha				1.00 ha						
Kartoffeln	0.54 ha		0.49 ha		1.17 ha		0.60 ha		1.11 ha		0.16 ha	
Phytophthora-resistente Kartoffel		1.53 ha		0.41 ha		2.30 ha		0.58 ha		2.85 ha		1.18 ha
K-Käfer-resistente Kartoffel												
Körnermais												
Herbizidresistenter KM												
Zünslerresistenter KM												
Herbizidresistenter KM mit Streifenfräsaat												
Silomais	3.06 ha		3.30 ha		1.21 ha		3.47 ha		2.40 ha		2.65 ha	
Herbizidresistenter SM												
Zünslerresistenter SM												
Herbizidresistenter SM mit Streifenfräsaat		1.69 ha		5.40 ha		3.37 ha		3.77 ha				
Zückerrüben												
Herbizidresistente ZR												
Virusresistente ZR												

5.6.3 Einfluss eines verschieden grossen Milchkontingentes auf den Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen im Ackerbau

- Durch die systematische Erhöhung des Milchkontingentes in 10'000er Schritten auf 240'000 kg, wird die offene Ackerfläche im Jahre 1998 sowie im Jahre 2003 zunehmend verdrängt. Das heisst, dass die Milchproduktion ökonomisch gesehen der rentabelste Betriebszweig ist.
- Der Einsatz gentechnisch veränderter Kulturen bewirkt bei Betrieben mit unterschiedlichem Milchkontingent die folgenden Effekte:
- Der Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen fördert die Aufrechterhaltung einer diversifizierten Fruchtfolge
- Der Silomaisanbau und damit die Grossviehmast, dessen Hauptfuttermittel Mais ist, gewinnen an Konkurrenzkraft.
- Ökologisch nachhaltigere Produktionsprogramme (IP, Bio) werden zukünftig komparativ zur konventionelle Produktion attraktiver
- Der Betrieb steigt bei einem Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen erst bei einem grösseren Kontingent in die Milchproduktion ein. Die GVO-Pflanzen des Ackerbaues besitzen eine grössere Konkurrenzkraft im Vergleich zur Milchproduktion.

5.7 Interpretation der Ergebnisse in Bezug auf die Nachhaltigkeit

Im Zentrum des Interesses dieser Studie stehen die wirtschaftlichen Folgen für die Betriebe, welche durch den Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen entstehen. Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie können wir ökonomische und teilweise ökologische Aussagen zu Auswirkungen eines Einsatzes von GVO-Pflanzen herleiten.

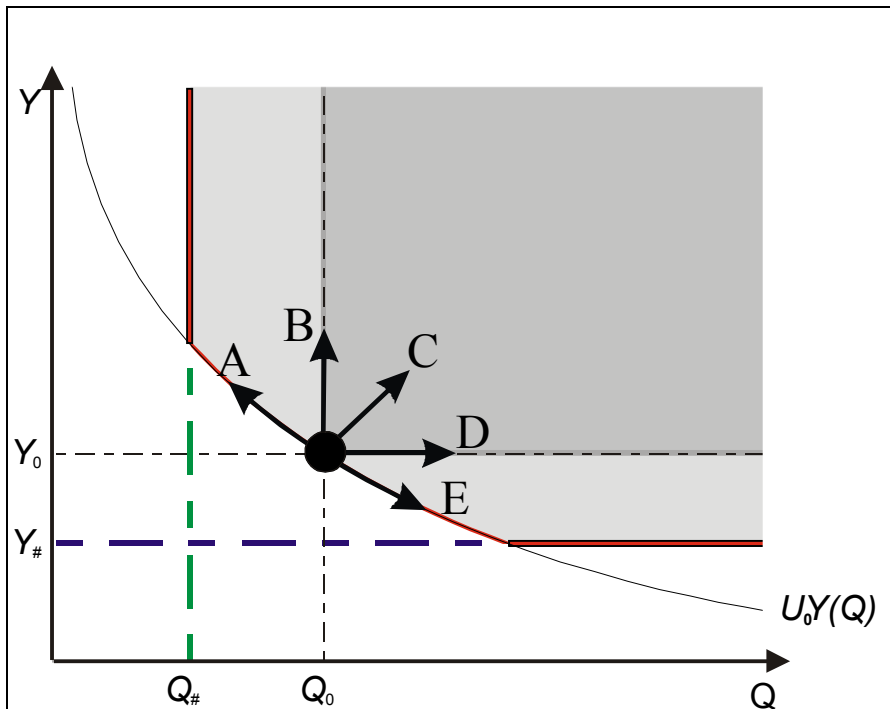
5.7.1 Theoretische Überlegungen

Anhand der bereits ausführlich diskutierten Modellergebnisse wird nun ein Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen, unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit betrachtet. Eine Möglichkeit der Darstellung, wie der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen ins System der nachhaltigen Entwicklung einzuordnen ist, bietet das angepasste Schema in Abbildung 4.

Der zweidimensionale Lösungsraum mit Umweltqualität (Q) und Einkommen (Y) zeigt den Möglichkeitsraum für eine nachhaltige Entwicklung auf (HEDIGER 1999). Die beiden kritischen Grenzen $Y_{\#}$ und $Q_{\#}$ stellen den Zustand dar, bei dessen Unterschreitung irreversible Veränderungen im System auftreten können. Somit kann $Y_{\#}$ als Existenzminimum und $Q_{\#}$ als minimale Umweltqualität definiert werden, bei dessen Unterschreitung sich der ursprüngliche Zustand nicht mehr von selbst einstellt. Der Möglichkeitsraum für eine nachhaltige Entwicklung bildet nun der Lösungsraum, der durch die kritischen Werte $Y_{\#}$ und $Q_{\#}$ sowie der Nutzenfunktion U_0 (U_0 als Funktion von Y_0 und Q_0) begrenzt wird. Diese Nutzenfunktion beschreibt den Ort, wo das gleiche Wohlfahrtsniveau bei verschiedenen Kombinationen von Umweltqualität und Einkommenspotential erzielt werden kann. Y_0 und Q_0 stellt das Einkommen und die Umweltqualität des gewählten Betriebes dar. Im schattierten Bereich ist definitionsgemäss eine schwache nachhaltige Entwicklung möglich, dies heisst, dass ein Trade-off zwischen beiden Komponenten Wirtschaft und Ökologie vorhanden ist. Der dunkle Bereich zeigt den Möglichkeitsraum für eine starke nachhaltige Entwicklung auf, in welchem keine Trade-offs unterhalb festgesetzten Werten möglich sind. Ohne einen Einsatz gentechnisch veränderter Nutzpflanzen befindet sich der Referenzbetrieb im Schnittpunkt von Y_0 und Q_0 (Kreis). Y_0 ist die Höhe des Einkommens das der Betrieb ohne einen Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen erreicht. Analog wird Q_0 als die Umweltqualität definiert, die ohne einen Einsatz von GVO-Pflanzen erreicht wird.

Da in der heutigen Umweltgesetzgebung schon eine Vielzahl von Normen und Grenzwerte existieren, müssten diese Werte so ausgestaltet sein, dass eine dauerhafte Unterschreitung der kritischen der kritische Umweltgrenze $Q_{\#}$ nicht möglich ist. Basierend auf dieser Überlegung müssten die rechtlich/administrativen Grenzen rechts des Punktes $Q_{\#}$ liegen. Somit dürften sich die Grenzen der verschiedenen Produktionsformen in der folgenden Reihenfolge Konv., IP, Bio. weiter nach rechts verschieben, da Umweltrestriktionen wie Minimalanteil extensive Wiesen, Erfordernis geschlossener Nährstoffkreisläufe und strengere Fruchtfolgebedingungen restriktiver wirken.

Abb. 3: Kritische Werte und Möglichkeitsraum für eine nachhaltige Entwicklung



Quelle: In Anlehnung an HEDIGER (1999)

Der Möglichkeitsraum, den die Landwirtschaftsbetriebe für eine nachhaltige Entwicklung haben, wird durch die Punkte A-E abgebildet. Im folgenden werden diese unterschiedlichen Möglichkeiten kurz beschrieben:

- A: Das Einkommen erhöht sich und die Umweltqualität nimmt ab.
- B: Bei gleichbleibender Umweltqualität steigt das Einkommen.
- C: Sowohl die Umweltqualität als auch das Einkommen steigen
- D: Einzig die Umweltqualität verbessert sich.
- E: Die Umweltqualität nimmt zu. Das Einkommen verringert sich.

Die Pfade A und E sind Bestandteil einer schwachen nachhaltigen Entwicklung.

Sollte ein Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen in eine andere Richtung als die der skizzierten Punkte zeigen, so wäre ein Einsatz nicht nachhaltig. Das heisst der Betrieb würde sich in dieser Situation auf einer tieferen Nutzenfunktion befinden. Dies wäre der Fall, wenn die Einkommenserhöhung die Verschlechterung der Umweltqualität nicht kompensieren könnte (und umgekehrt), oder wenn das Einkommen bei gleichbleibender Umweltqualität sich verschlechtert.

5.7.2 Einordnung der Ergebnisse der Modellbetriebe in das Konzept der Nachhaltigkeit

Die Ergebnisse und Auswirkungen der Modellrechnungen werden nun unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit gewürdigt. In den aktuellen Forschungsarbeiten wird heute eine Vielzahl von Bedingungen definiert, die für eine nachhaltige Entwicklung erfüllt sein müssen (HEDIGER 1999). Im Rahmen dieser Arbeit können daraus jedoch nur Teilaspekte berücksichtigt werden, die unter den angenommenen Rahmenbedingungen eine Bewertung des Einsatzes gentechnisch veränderter Pflanzen einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung liefern können.

5.7.2.1 Ökonomische Nachhaltigkeit (Einkommen)

Bei allen berechneten Varianten und bei beiden Betriebstypen erreichen die Landwirtschaftsbetriebe beim Einsatz von GVO-Pflanzen ein höheres Einkommen im Vergleich zu einem Einsatz mit herkömmlichen Kulturpflanzen. Der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen kann dementsprechend als Beitrag an die ökonomische Nachhaltigkeit der Landwirtschaft (Betriebe) angesehen werden. Es sind aber Einschränkungen anzubringen, indem durch den Marktmechanismus (Wettbewerb) kurzfristig entstandene Renten zum Teil weitergegeben werden. Dies ist bei jeder Verbesserung der Produktivität der Fall. Dies soll aber nicht heissen, dass die wirtschaftlichen Aspekte einen Grund wären gentechnisch veränderte Pflanzen in der Schweiz nicht zuzulassen, wenn sie anderswo im Einsatz stehen, denn dadurch würde ein Produktivitätshandicap für die Schweizer Produzenten entstehen, welches sich in einem vorerst in einem relativen Einkommensnachteil, später in einer Einkommensbaisse ausdrücken würde.

Dieser Einkommensgewinn behält also nur seine Gültigkeit unter den in Kapitel 2 definierten Annahmen. Neuere Studien aus den USA zeigen, dass sogar mit einem Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen kein Mehreinkommen erzielt werden kann (TAGESANZEIGER 1999).

Die Aussagen betreffend Einkommensentwicklung behalten nur ihre Gültigkeit, falls keine unterschiedlichen Produzentenpreise zwischen GVO- und herkömmlichen Produkten am Marke gelöst werden können. Falls es eine Marktsplattung gäbe zwischen gentechnisch veränderten Pflanzen und unveränderten, könnten sich grössere Preisdifferenzen ergeben, welche dann die Einkommensunterschiede zwischen den beiden Kategorien von Produzenten schmälern würden. Schlussendlich entscheiden indirekt die Konsumenten mit ihren Kaufpräferenzen über die Produktpreise gentechnisch veränderter Pflanzen und somit über die zusätzlichen Gewinnerwartungen eines GVO-Pflanzeneinsatzes.

5.7.2.2 Ökologische Nachhaltigkeit (Umweltqualität)

Werden nun die in Kapitel 5.2.2.2 beschriebenen Effekte als Verbesserung der Umweltqualität angesehen, so bewirkt ein Einsatz von GVO-Pflanzen bei gleichzeitiger Einkommenserhöhung eine Veränderung in die Richtung des Pfeiles C (Vgl. Abbildung 4).

Die durch die Direktzahlungen bedingten ökonomischen Anreize, mindestens auf die integrierte Produktion umzusteigen, werden durch den Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen weiter verstärkt. Bei dieser Produktionsform werden nach dem sogenannten Schadschwellenprinzip immer nur die sanftesten und umweltschonendsten Eingriffe toleriert (Vgl. Kapitel 2). Aus diesem Blickwinkel und der Direktzahlungspolitik des Bundes, die eine nachhaltige Landwirtschaft unterstützen will (Erfordernis des ökologischen Leistungsnachweises), kann unserer Meinung nach mit der integrierten Produktion eine Verbesserung der Umweltqualität erreicht werden.

Aussagen über mögliche negative externe Effekte, die bei einem Einsatz von GVO-Pflanzen entstehen könnten, können hier nicht gemacht werden. Dabei spielen bei der Beurteilung der Umweltqualität durch die Gesellschaft auch Faktoren wie Risiko, Schadensmeldungen, vermehrter Chemieeinsatz eine nicht zu unterschätzende Rolle. Beispielsweise Meldungen, dass mit einem Einsatz von GVO-Pflanzen auch Nützlinge sterben könnten (Tages-Anzeiger, 1999b) und gewisse längerfristige Interaktionen, die heute noch nicht bekannt sind, haben einen enormen Einfluss auf die Bewertung der Umweltqualität der Gesellschaft.

5.7.2.3 Soziale Nachhaltigkeit

Die soziale Nachhaltigkeit beinhaltet die Aufrechterhaltung eines funktionsfähigen sozialen Systemes (DORENBOS / HEDIGER 1999). Sollte nun längerfristig die Einkommenserwartung bei einem Einsatz gentechnisch veränderten Pflanzen im Vergleich zu herkömmlichen Pflanzen bedeutend höher sein, so würde die Attraktivität des Landwirtschaftssektors wieder steigen und der Abbau von Arbeitsplätzen vor allem in Grenzstandorten könnte gebremst werden (Vgl. Kap. 5.3.2).

6 Fazit

Im Rahmen des *“Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung”* initiierte die Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen (BATS) eine Studie zur Abschätzung der Technikfolgen, mit dem Titel *“Nachhaltige Landwirtschaft – Kriterien für Pflanzenzüchtung und Pflanzenproduktion unter Berücksichtigung des Potentials der modernen Biotechnologie”*. In diesem Rahmen wurde das Institut für Agrarwirtschaft beauftragt, eine Analyse auf Niveau landwirtschaftlicher Betrieb durchzuführen, welche die Auswirkungen der Einführung gentechnisch veränderter oder verbesserter Pflanze aufzeigt. Die vorliegende Analyse schlägt vor, die Untersuchung auf die Beobachtung der Wirkung gentechnisch veränderter Pflanzen bei der Einführung in die schweizerische landwirtschaftliche Produktion zu beschränken. Sie trägt den Namen *“Betriebswirtschaftliche Analyse des Einsatzes biologisch-technischen Fortschrittes unter Einbezug gentechnischer Varianten”*.

Die Pflanzen wurden ausgewählt gemäss ihrem aktuellen Einsatz in anderen Ländern, ihrer Eignung für die schweizerische agronomische Forschung oder der kurz- und mittelfristigen Perspektiven zur Anerkennung der im Ausland entwickelten Pflanzen durch die jeweiligen Behörden sowie deren wirtschaftliche Bedeutung für die pflanzliche Produktion in der Schweiz. Die gentechnisch veränderten Eigenschaften der gewählten Pflanzen beziehen sich auf ihre Resistenzen gegen Herbizide, Pilzbefall, Viruserkrankungen und Insekten. Die ausgewählten Pflanzen sind Weizen, Zuckerrüben, Raps, Silo- und Körnermais sowie Kartoffel.

Die durchgeführten Berechnungen sind Optimierungen basierend auf dem komparativ statischen Ansatz. Als Ausgangslage dienten die Produkt- und Faktorpreise aus dem Jahre 1998, obwohl zu diesem Zeitpunkt noch keine gentechnisch veränderten Pflanzen anerkannt waren, und 2003. Beide Szenarien wurden jeweils mit GVO-Pflanzen und herkömmlichen Pflanzen berechnet. Mit dieser Vorgehensweise konnten die Auswirkungen eines Einsatzes von GVO-Pflanzen unter zwei unterschiedlichen Rahmenbedingungen quantifiziert werden.

Das in dieser Arbeit verwendete Modell optimiert die Struktur eines Betriebes unter gegebenen Umweltbedingungen (normative Methode). Dabei wird das Einkommen maximiert. Somit können zukünftige Rahmenbedingungen modelliert und Erkenntnisse über Auswirkungen eines Einsatzes gentechnisch veränderten Pflanzen auf betrieblicher Ebene gewonnen werden. Als Beispielbetriebe wurden ein reiner Ackerbaubetrieb und ein gemischter Futterbaubetrieb mit Milchproduktion in der Bergzone 1 ausgewählt. Die Optimierungen wurden für die drei Produktionssysteme konventionell, integriert und biologisch vorgenommen.

Bei allen berechneten Varianten führt ein Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen unter der Annahme, dass keine Preisdifferenzierungen zwischen GVO- und herkömmlichen Produkten bestehen, zu einem grösseren Landwirtschaftlichen

Einkommen. Weiter wird die Konkurrenzkraft des Ackerbaues gestärkt und die Ackerkulturen bilden wieder vermehrt Bestandteil des Produktionsprogrammes. Beispielsweise generiert eine Hektare gentechnisch veränderter braunrostresistenter Weizen im Vergleich zu einem herkömmlichen Anbau ca. 620 Fr. / ha LN mehr Einkommen. Weiter erfahren die Rauhfutterproduktion und die damit verbundene Tierhaltung beim Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen einen Konkurrenzkraftverlust, da diese Pflanzen eine bessere Opportunität darstellen.

Der Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen unterstützt die Ökologisierung der genutzten landwirtschaftlichen Fläche, da IP und BIO ökonomisch optimale Produktionsmethoden sind und somit der Druck auf die Umstellung auf eines der beiden Produktionssysteme in der Zukunft noch zunehmen wird. Allerdings sind durch die komparative Besserstellung des Ackerbaues (GVO-Einsatz) gegenüber einer GVO-freien Referenzlösung, potentielle ökologische Nachteile zu erwarten.

Würde somit der Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzensorten für die biologische Produktion verboten, für die konventionelle und integrierte Produktion hingegen erlaubt, würde die biologische Produktion im Vergleich zu den anderen Produktionssystemen einen komparativen Nachteil erfahren.

Die simulierte Einführung von gentechnisch veränderten Pflanzensorten führt zu gewissen Veränderungen bei der Allokation der Produktionsfaktoren. Die Entlohnung einer zusätzlichen Arbeitskraft auf Betrieben mit gentechnisch veränderten Sorten ist eher gewährleistet. Der Einsatz von GVO-Pflanzen fördert somit die Erhaltung von Arbeitskräften innerhalb der Landwirtschaft und kann daher auch einen Beitrag zur dezentralen Besiedlung liefern.

Die Dominanz der ausländischen Anbieter auf den Nahrungsmittelmärkten unterstreicht die Notwendigkeit, dass die einheimischen Akteure über die gleichen Technologien verfügen müssen, um ihre Wettbewerbsposition wenigstens erhalten oder sogar verbessern zu können.

Sollten in Zukunft keine Preisdifferenzierungen zwischen herkömmlichen und GVO-Pflanzen stattfinden, so würde ein einseitiger Verzicht auf den Einsatz dieser Technologie nur Nachteile für die Schweizer Landwirte bringen. Bei der heutigen Verbreitung von Kulturen gentechnisch veränderter Sorten, vor allem in Übersee, lässt die Frage aufkommen inwiefern Wettbewerbsnachteile auf Grund von klimatischen, topographischen und kostenseitigen Bedingungen vermindert werden können.

Die in dieser Studie erhaltenen Resultate zeigen, dass der Einsatz dieser GVO-Sorten dazu beitragen würde, die Wirkung der komparativen Nachteile zu verkleinern. Er trägt also zumindest kurzfristig zu einer Verbesserung der ökonomischen Situation der schweizerischen Landwirtschaft der Schweiz bei.

Die Einrichtung von GVO-freien Produktionszonen für gentechnisch veränderte Organismen kann als Nischenproduktion betrachtet werden. Sie wird aber keinesfalls als Patentlösung für die Landwirtschaft angesehen, falls auf Konsumentenseite keine Tendenzen feststellbar sind, die auf eine erhöhte Zahlungsbereitschaft für herkömmliche Produkte hindeuten.

Die Frage nach der ökologischen Nachhaltigkeit eines Einsatzes von gentechnisch veränderten Pflanzen kann nicht abschliessend beantwortet werden, da die Bewertungskriterien nicht vollständig bekannt sind. Auf Stufe der ökonomischen Nachhaltigkeit ergibt sich, dass mit einem Einsatz von GVO-Pflanzen das Einkommen der

Landwirte unter den gegebenen Modellannahmen verbessert werden kann und somit der Einsatz von GVO-Pflanzen einen Beitrag zur ökonomischen Nachhaltigkeit liefern kann.

7 Literaturverzeichnis

ANWANDER PHAN-HUY, S.; 1998; Nachfrageseitige Akzeptanz von Technologien im Ernährungsbereich, 1998, v/d/f Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

BECHER, G.; HEMMELSKAMP, J.; SCHEELHAASE, J.; SCHÜLER, J.; 1997; Nachhaltigkeit und Technische Innovation, in: Wirtschaftsanalysen, Zentrum für europäische Wirtschaftsforschung, Mannheim, Band 8, 221-260.

DORENBOS, A.; HEDIGER, W.; 1999; Nachhaltige Landwirtschaft in der Schweiz, Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie, Schweizerische Gesellschaft für Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie, Band 1/99, S. 127-151.

GOHIN, A.; GUYOMARD, H.; LE MOUËL, C.; 1998; Eléments de définition d'une politique agricole commune pour le XXIème siècle, S. 22-31 in Economie Rurale, Nr. 244 , S. 27, Société française d'économie rurale, Paris.

HEDIGER, W.; 1999, Reconciling "weak" and "strong" sustainability, in International Journal of Social Economics, Vol. 26, No. 7/8/9, pp. 1120-1143.

LE ROY, V.; 1996; La dissémination d'organismes génétiquement modifiés (OGM) la prudence est-elle possible? Le Courrier de l'environnement n°12, INRA Editions, 1996, in: [http:// www.inra.fr/dpenv/do12.htm](http://www.inra.fr/dpenv/do12.htm).

RIEDER, P.; ANWANDER PHAN-HUY, S.; 1994; Grundlagen der Agrarmarktpolitik, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.

TAGES-ANZEIGER, 1999; Helga Kessler, „Gentechnik: Auch Amerika zweifelt“ in Tages-Anzeiger S. 1 und 32 vom 23. Juli 1999.

WOLF, H.P.; EGGENSCHWILER, CH.; 1998; Interne Berechnungen am Institut für Agrarwirtschaft der ETHZ, nicht veröffentlicht.

Abschätzungen der Auswirkungen transgener Sorten auf Umwelt-qualitätsziele²⁹

G. BERGER, U. STACHOW, A. WERNER

Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V.

Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie

D-15374 Müncheberg

Zusammenfassung

1 Einleitung und Zielstellung

2 Beurteilung von landwirtschaftlichen Produktionsverfahren auf die Qualität der biologischen Umwelt

2.1 Bedeutung der Ackerproduktion für die Biotik

2.2 Indikatoransatz, Bewertungsmethode und Vergleichsbasis

2.3 Vergleich von Kulturarten und Produktionsverfahren

2.3.1 Herbizidtoleranz

2.3.2 Insektenresistenz

2.3.3 Pilzresistenz

2.3.4 Zusammenfassung der allgemeinen Tendenzen

2.4 Betriebsvergleiche

2.4.1 Betriebe ohne transgene Kulturarten vs. Betriebe mit transgenen Kulturarten

2.4.2 Auswirkungen der Einführung transgener Kulturarten in den Bewirtschaftungsweisen „biologisch“, „integriert“ und „konventionell“

2.4.3 Produktionsweise, Anbau und Rahmenbedingungen 1998 vs. 2003

2.4.4 Größe der Betriebe

2.5 Zusammenfassende Betrachtungen zur Lebensraumqualität

2.5.1 Verhalten der Indikatoren

2.5.2 Langfristige Wirkungen auf die Artengruppen

2.6 Abschlussbemerkungen zur biotischen Bewertung

3 Beurteilung von landwirtschaftlichen Produktionsverfahren auf die Qualität der unbelebten Umwelt

4 Fazit

²⁹ Zusammenfassung der Fachstudie von Werner et al. (1999), BATS Report 4/6, 112 S. (siehe Kap. 8)

Zusammenfassung

Auf der Basis von Ökosystem-Modellierungen und Energieeffizienz-Berechnungen wurde der Einfluss von Anbauverfahren mit und ohne transgene Sorten bis auf Betriebsebene analysiert. Bei keiner der Bewirtschaftungsweisen, weder in der konventionellen, noch in der integrierten oder biologischen, führt der Anbau von Sorten mit verbesserten Resistenzeigenschaften zu bedeutsamen Veränderungen in der Lebensraumqualität des Ackerstandortes, wenn auch die Reduzierung von Pflanzenschutzmittelanwendungen in einzelnen Anbausystemen zu Verbesserungen führen kann. Die Unterschiede in der Wirkung auf die Qualität der biologischen Umwelt bleiben somit zwischen den Bewirtschaftungsweisen erhalten. Als Beurteilungskriterium für die Nutzung abiotischer Ressourcen wurde die Energieeffizienz der Pflanzenproduktion herangezogen (in Biomasse erzeugte Energie / insgesamt eingesetzte Energie). Die Verwendung der ausgewählten transgenen Fallbeispiele führt im Vergleich zum Anbau der entsprechend konventionell gezüchteten Sorten ohne die relevanten Resistenzeigenschaften bei allen Bewirtschaftungsweisen zu einer Steigerung der Energieeffizienz.

1 Einleitung und Zielstellung

Die Landnutzung ist, ebenso wie andere wirtschaftliche Bereiche, immer mehr entsprechend den Ansprüchen von 'Nachhaltigkeit' zu gestalten. Wenn es gelingt, Prinzipien der nachhaltigen Entwicklung in der Praxis umzusetzen, würden verschiedene gesellschaftliche Forderungen an die Landwirtschaft besser berücksichtigt werden können. Unter anderem sollen dabei in erheblichem Umfang ökologisch ausgerichtete Ansprüche erfüllt werden.

Um ökologische Ziele in der landwirtschaftlichen Produktion berücksichtigen zu können, muß bekannt sein, welche Effekte die Landnutzung auf relevante Umweltgrößen verursacht. Es hat sich als schwierig erwiesen, die ökologischen Wirkungen für die zur Zeit bestehenden Landnutzungsverfahren abzuschätzen und zu beurteilen, obwohl sie oft wissenschaftlich gut untersucht sind. Besondere Probleme treten aber zusätzlich dann auf, wenn neuartige Technologien im Vorfeld ihrer Einführung auf ökologische Wirkungen hin zu analysieren sind. Eine solche vorausschauende Technikfolgenabschätzung ist aber erforderlich um die Bedeutung neuer Produktionstechnologien oder Anbausysteme für das Konzept der 'Nachhaltigen Entwicklung' einordnen zu können. Auch dann, wenn eine gezielte Weiterentwicklung oder Anpassung der vorhandenen bzw. der neuen Technologien an spezielle ökonomische und ökologische Ansprüche erfolgen soll, sind derartige Abschätzungen erforderlich.

Die Notwendigkeit der Abschätzung von ökologischen Technologiefolgen trifft zum Beispiel zu, wenn transgene Sorten ('GVO-Pflanzen') in die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion eingeführt werden sollen. Neben ökonomischen und organisatorischen Vorteilswirkungen für die landwirtschaftlichen Betriebe und neben den genökologischen Konsequenzen sowie Auswirkungen auf die Qualität der landwirtschaftlichen Produkte werden eine Reihe von Effekten für die Umwelt unterstellt, die in ihrer generellen Tendenz aber noch nicht eingeschätzt werden können. In einer dazu durchgeführten Studie (WERNER et al. 2000, siehe Hauptkapitel 8) wurden solche Umweltqualitätsziele festgelegt, die als wichtige umwelt- und naturschutzbezogene Kenngrößen für die Beurteilung einer nachhaltigen Entwicklung der Landnutzung dienen können. Die vorliegende Kurzfassung stellt wesentliche Ergebnisse dieser Studie zusammen. Zielstellung der Studie war es, für diese Umweltqualitätsziele die Einflüsse von verschiedenen Anbausystemen und Bewirtschaftungsweisen mit oder ohne den Einsatz von Sorten mit verbesserten

(transgenen) Resistenzeigenschaften abzuleiten. Die Ergebnisse dieser Beurteilungen sollen helfen, die unterschiedlichen Kombinationen des Anbaus bei verschiedenen Bewirtschaftungsweisen, Standorten, Betriebsgrößen und Anbausystemen bezüglich deren Wirkung auf Kriterien der nachhaltigen Entwicklung zu vergleichen. Basis für diese Kombinationen sind betriebswirtschaftliche Szenarien - und damit deren Anbauverfahren -, die von EGGENSCHWILER et al. (1999) (siehe Hauptkapitel 3) speziell für die Gesamtstudie definiert und hinsichtlich ihrer ökonomischen Komponenten im Konzept der nachhaltigen Entwicklung analysiert wurden.

Dem Einsatz von Sorten mit verbesserten Resistenzeigenschaften (u.a. gegen Schädlinge und Krankheiten oder eine Toleranz gegen nicht selektive Herbizide) wird oft unterstellt, er führe zu (i) einer besseren Nutzung von Betriebsmitteln (somit vorwiegend abiotischen Ressourcen) sowie (ii) einer Minderung der Belastung für die Umwelt aufgrund des verringerten Einsatzes an Pflanzenschutzmitteln. Die im weiteren beschriebene Studie beschäftigt sich deshalb mit exemplarisch ausgewählten Kenngrößen aus den Bereichen des *abiotischen Ressourcenschutzes* (Energieeffizienz der Pflanzenproduktion als Maß für den Schutz nicht erneuerbarer Energiequellen als Teil der Qualität der unbelebten Umwelt: Kapitel 3) sowie des *biotischen Ressourcenschutzes* auf Ackerflächen (Erhalt und Entwicklung der biologischen Umweltqualität durch Schutz von Arten und Lebensgemeinschaften: Kapitel 2).

Eine Analyse der Auswirkungen des Anbaus der neuen (transgenen) Sorten durch den Vergleich der in den Anbauverfahren eingesetzten Mengen an Pflanzenschutzmitteln bzw. deren Verbleib in der Umwelt erfolgt in dieser Studie bewußt nicht. Die Betrachtung der Mengen an Pflanzenschutzmitteln erlaubt nämlich keine Aussagen über die unmittelbaren Wirkungen der Pflanzenschutzmittel auf den Naturhaushalt. Nur bei wenigen Wirkstoffen kann aus der ausgebrachten Menge auf das jeweilige Risiko, zum Beispiel des Eintrages von Wirkstoffen in Gewässer oder auf ökotoxikologische Wirkungen geschlossen werden. Zudem müssen die Maßnahmen des chemischen Pflanzenschutzes immer in Beziehung zu den jeweiligen Zuständen des Kulturpflanzenbestandes, der Standortsituation sowie der eventuell betroffenen Nichtzielorganismen erfolgen. Eine Betrachtung der ausgebrachten Mengen an Pflanzenschutzmitteln kann dies nicht leisten. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Studie ein Ansatz verfolgt, der die ökosystemare Wirkung von Pflanzenschutzmittelanwendungen auf den Naturhaushalt direkt abschätzt.

2 Beurteilung von landwirtschaftlichen Produktionsverfahren auf die Qualität der biologischen Umwelt

2.1 Bedeutung der Ackerproduktion für die Biotik

Das Verständnis über die Zusammenhänge zwischen der landwirtschaftlichen Landnutzung einerseits und dem Vorkommen, der Häufigkeit und den Funktionen der verschiedenen Komponenten der Agrarbiozöten andererseits ist Grundlage und Gegenstand einer Vielzahl wissenschaftlicher Arbeiten sowie agrar- und umweltpolitischer Handlungen und bestimmt die Diskussion über die Umweltverträglichkeit verschiedener agrarischer Produktionsformen. Unstrittig ist dabei z.B. die Tatsache, dass die Lebensbedingungen vieler Pflanzen- und Tierarten der Agrarlandschaften durch die veränderten landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen der letzten Jahrzehnte eingeschränkt wurden. Dabei reduziert sich die Diskussion hinsichtlich anzustrebender Produktionsformen jedoch weitgehend auf die Gegenüberstellung von Produktionsverfahren wie „konventionell“, „integriert“ und „biologisch“ oder auf einzelne Maßnahmen wie die Verwendung bestimmter Pflanzenschutzmittel oder

Bodenbearbeitungsgeräte. Dies wird jedoch der Vielfalt der produktionstechnischen Möglichkeiten, aber auch der betriebswirtschaftlichen Notwendigkeiten und Beschränkungen sowie ihres Zusammenwirkens nicht gerecht.

Eine weitere Dimension erlangt diese Problematik durch die mögliche Einführung transgener Kulturarten. Während sich die Diskussion der biologischen Umweltwirkungen dieser Sorten bisher u.a. sehr stark mit Fragen des unerwünschten Gentransfers und der Resistenzbildung beschäftigte, ist auch hier – wie bei allen biologisch-technischen Fortschritten in der Landwirtschaft – mit veränderten Produktionsverfahren, Fruchtfolgen und weiteren betrieblichen Charakteristika zu rechnen. Veränderungen des Lebensraumes „Acker“, sowie die Beeinflussung seiner charakteristischen Lebensgemeinschaften können die Folge sein.

2.2 Indikatoransatz, Bewertungsmethode und Vergleichsbasis

Ausgehend von der Aufgabenstellung, die Auswirkungen verschiedener Anbauverfahren auf den Acker als Lebensraum zu beschreiben, wurde eine Methode entwickelt, die sowohl qualitative Aussagen über die Lebensbedingungen für Flora und Fauna auf Ackerflächen zulässt, als auch die Tendenzen der Veränderung bei ackerbaulicher Nutzung von transgenen Sorten (GVOs) abzubilden hilft. Die Lebensgemeinschaften der Äcker werden über einen Satz von Indikatoren beschrieben, der wichtige Elemente von ausgewählten Lebensgemeinschaften der Ackerflächen repräsentiert: *Segetalflora*, *Feldvögel*, *Feldmaus*, *Feldhase*, *Laufkäfer* und *Spinnen* sowie *Schwebfliegen*. Für jeden dieser Indikatoren wurde innerhalb der verschiedenen Anbauverfahren (das sind die Kombinationen jeweils einer Fruchtart mit den dazugehörigen Bewirtschaftungsmaßnahmen) ein Wert der Biotopeignung ermittelt. Grundannahme dabei war, dass die Lebensraumqualität durch das Anbauverfahren für jeden Indikator vor allem hinsichtlich der Chancen ihres Populationserhaltes bzw. ihrer Reproduktionsfähigkeit beurteilt werden sollte.

Die Beschreibung der Biotopeignung erfolgte auf dem Niveau einzelner Arten mit Hilfe von populationsbezogenen Abstufungen. Diese wurden, soweit möglich, mit Aussagen zur Ausprägung der Lebensgemeinschaften innerhalb der Artengruppe eines Indikators, z. B. Rebhuhn, Wachtel, Grauammer und Feldlerche in der Gruppe „Feldvögel“, untersetzt. In Tabelle 1 werden die gewählten Abstufungen zur Biotopeignung und ihre Beschreibung dargestellt. Die Biotopeignungsstufen (BES) geben eine qualitative Einschätzung der Bedingungen eines Kulturpflanzenbestandes und seines Anbauverfahrens für die Indikatoren wider. Die Stufe „*sehr gut*“ beschreibt eine Biotopeignung von Fruchtarten, die oft selbst unter Extensivbedingungen des Kulturpflanzenanbaus nicht erreicht werden dürfte. Kontinuierliche Bodenbearbeitung durch Pflügen oder Unkrautbekämpfung durch Hacken oder Striegeln einschließlich der Ernte besitzen oftmals soviel Störungspotenzial, durch das schon allein deshalb schlechtere Einstufungen notwendig sind. Wenngleich diese Stufe als für Ackerflächen untypisch gelten dürfte, so können extrem störungsarme Offenlandbiotope, wie z. B. selbstbegrünte Brachen oder extensiv genutzte Trockenrasen, die Einstufung „*sehr gut*“ besitzen.

Lebensgemeinschaften der Äcker, die eine stabile, charakteristische Artenzusammensetzung aufweisen, d.h. der Biotopeignungsstufe „*gut*“ zugehörig sind, können für den Natur- und Artenschutz in den Agrarflächen das anzustrebende Ziel sein. Aufgrund vielfältiger Bewirtschaftungsmaßnahmen, selbst in vergleichsweise extensiven Verfahren, wie dem Sommergetreideanbau im Biologischen Landbau, sind erhebliche Beeinflussungen dieser Artengemeinschaften unvermeidbar. Der Erhalt von charakteristischen Offenlandarten, die zwar erheblichen Populationsschwankungen

unterliegen können, dabei aber nicht von Vernichtung bedroht sind, stellt ein realistisches und auch sinnvolles Ziel für den Zustand der Lebensgemeinschaften auf Ackerflächen dar. Zudem sind diese Arten oft gut an solche Störungen angepasst.

Tab. 1: Stufen der Biotopeignung und ihre populations- und lebensgemeinschafts-basierte Beschreibung

Biotopeignungsstufe	Beschreibung
"sehr gut"	Die Ansprüche des Indikators werden vollständig befriedigt. Hauptsächlich <i>stabile Populationen</i> sind dadurch möglich. Die Lebensgemeinschaft ist durch eine charakteristische Zusammensetzung des Artenspektrums der Ackerflächen des Naturraumes geprägt.
"gut"	Die Ansprüche des Indikators werden gut befriedigt. Die Populationsdynamik ist zwar <i>Schwankungen</i> unterworfen, die Gefahr der Populationsvernichtung besteht jedoch nicht. Die Lebensgemeinschaft ist durch eine charakteristische Zusammensetzung des Artenspektrums der Ackerflächen des Naturraumes geprägt.
"mäßig"	Die Ansprüche des Indikators werden größtenteils ausreichend befriedigt. Die Populationsdynamik ist <i>größeren Schwankungen</i> unterworfen. Die Gefahr der Populationsvernichtung besteht größtenteils nicht. Die Lebensgemeinschaft besitzt hauptsächlich eine charakteristische Zusammensetzung des Artenspektrums der jeweiligen Ackerflächen des Naturraumes. Einzelne Charakterarten können jedoch fehlen.
"problematisch"	Die Ansprüche des Indikators werden zum Teil ausreichend, zum Teil gar nicht befriedigt. Die Populationsdynamik ist größeren Schwankungen unterworfen. Eine <i>Populationsvernichtung</i> ist möglich. Die Lebensgemeinschaft ist in ihrer Gesamtheit weniger durch eine charakteristische Zusammensetzung des Artenspektrums der jeweiligen Ackerflächen geprägt. Vereinzelt treten Charakterarten auf.
"ungeeignet"	Die Ansprüche des Indikators werden nicht befriedigt. Instabiles Populationsgeschehen mit akuter Gefahr der <i>Populationsvernichtung</i> ist die Folge. Die Lebensgemeinschaft besitzt keine charakteristische Zusammensetzung des Artenspektrums der jeweiligen Ackerflächen des Naturraumes. Charakterarten treten nur noch episodisch, größtenteils aber nicht mehr auf.
"Charakterarten" hier: Arten, die an die Lebensraumbedingungen von Ackerflächen gut angepasst sind und dort in der Regel unter historisch-extensiver Bewirtschaftung ihre Verbreitungsschwerpunkte besitzen bzw. besaßen (u.a. Indikatorarten und -gruppen wie oben, allgemein Steppen- und Offenlandarten)	

Als „mäßig“ wird eine Stufe bezeichnet, die langfristig charakteristisches Leben im wesentlichen erhalten kann. Wenngleich in dieser Gruppe bereits einzelne sehr empfindliche Arten fehlen können, kann dennoch von einer mehr oder weniger typischen Ackergemeinschaft gesprochen werden. Die Gruppe „gut“ und teilweise auch die Gruppe „mäßig“ beschreiben damit aus biotischer Sicht die zu akzeptierenden Stufen der Biotopeignung von ackerbaulich genutzten Flächen in Agrarlandschaften. Die Stufe „ungeeignet“ beschreibt demgegenüber einen Zustand, der aus biotischer Sicht als unbefriedigend gelten muss. Auch wenn noch vereinzelt Elemente aus der charakteristischen Lebensgemeinschaft angetroffen werden, stellen sich die aktuellen Lebensbedingungen in diesen Kulturen als ungeeignet für die Mehrzahl der ackertypischen Arten dar. Die Stufe „problematisch“ charakterisiert einen Zustand, der als Zwischengröße zu „gut/mäßig“ und „ungeeignet“ Entwicklungstendenzen deutlich macht. Eine

Veränderung von “gut/mäßig ” zu “problematisch” beschreibt eine qualitative Veränderung in Richtung einer deutlichen Verschlechterung. Im umgekehrten Fall stellt die Veränderung von “ungeeignet” zu “problematisch” eine eindeutig positive Entwicklung dar.

Die nachfolgend in Tabellen zusammengefassten Vergleiche zwischen der Biotopeignung von Kulturpflanzenbeständen nicht-transgener Sorten (NGVO) zu denen transgener Sorten (GVO) basieren auf der oben vorgestellten Abstufung. Diese Bewertungen werden sowohl auf der Ebene einzelner Fruchtarten und Produktionssysteme (Kap. 2.3) als auch für Betriebe (Kap. 2.4) dargestellt. In den Tabellen werden Veränderungstendenzen der Biotopeignung mit Hilfe von Richtungspfeilen aufgezeigt. Die Richtung nach oben bzw. unten soll eine Verbesserung bzw. Verschlechterung der Biotopeignung zum Ausdruck bringen. Einfache Pfeile „↑/↓“ drücken geringfügige Effekte, Doppelpfeile „↑↑/↓↓“ verdeutlichen stärkere Veränderungen. Waagerechte Pfeile „↔“ deuten auf keine Veränderungen hin. Somit werden Aussagen zur Entwicklungsrichtung der Biotopeignung bei Anbau von transgenen Pflanzen für jeden Indikator möglich. Die Berücksichtigung der Biotopeignungsstufen zeigt qualitative Veränderungen und damit Effekte von vermutlich naturschutzfachlicher Relevanz an.

Grundlage für die Analyse sowie die nachfolgend aufgezeigten Ergebnisse waren die von Eggenschwiler et al. (1999) (siehe Hauptkapitel 3) detailliert dargestellten Anbauverfahren der Ackerkulturen, bestehend aus einzelnen pflanzenbaulichen Maßnahmen, deren Termine und Ausprägung, sowie die Betriebe unterschiedlicher Produktionsrichtung, Größe und verschiedener ökonomischen Rahmenbedingungen, die entweder traditionelle, nicht-transgene Sorten anbauen, oder transgene Sorten in ihrem Betrieb verwenden.

2.3 Vergleich von Kulturarten und Produktionsverfahren

Wir untersuchen zunächst die Kulturarten und Produktionsverfahren hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Lebensraumqualität für die Indikatoren. Dabei beschränken wir uns auf Aspekte, in der kurzfristige, langfristige und solche bezogen auf den Artenschutz zusammengefasst werden. Im anschließenden Kapitel (2.4) werden dagegen ganze Betriebe ohne und mit Anbau transgener Sorten verglichen.

2.3.1 Herbizidtoleranz

Herbizidtoleranz von Ackerkulturen bewirkt in den Produktionsverfahren, dass solche Mittel zur Unkrautbekämpfung eingesetzt werden, die sehr breit gegen die verschiedensten Unkrautarten wirken (‘Totalherbizide’), auch noch bei größeren Unkrautpflanzen wirken und dadurch zeitlich flexibel eingesetzt werden können. Damit ist es vielfach möglich, selbst bisher schwierig zu bekämpfende Unkrautarten, sogenannte Problemunkräuter, wirksam zu bekämpfen. Die Effektivität der Unkrautbekämpfung ist demzufolge oftmals höher als bei Produktionsverfahren von Sorten ohne Herbizidtoleranz.

Tab. 2: Biotopqualität von Beständen nicht transgener Kulturpflanzenarten (NGVO) für ausgewählte biotische Indikatoren und ihre Veränderungstendenz bei Anbau von Sorten mit transgener Herbizidtoleranz (GVO)

Fruchtart	Indikator	Bewirtschaftungsweise					
		konventionell			integriert		
		NGVO	Tendenz	GVO	NGVO	Tendenz	GVO
Zuckerrüben	Segetalflora	u	↔	u	u	↓↓	u

	Feldvögel	u	↔	u	u	↓↓	u
	Feldmaus	m	↔	m	m	↔	m
	Feldhase	u	↔	u	u	↓↓	u
	Laufk./ Spinnen	u	↔	u	u	↔	u
	Schwebfliegen	u	↔	u	u	↓↓	u
		u	↔	u	u	↓↓	u
Winterraps	Segetalflora	u	↔	u	u	↓	u
	Feldvögel	u	↔	u	u	↔	u
	Feldmaus	p	↔	p	g	↔	g
	Feldhase	p	↔	p	m	↓↓	p
	Laufk./ Spinnen	u	↔	u	u	↔	u
	Schwebfliegen	u	↔	u	u	↔	u
	Mittelwert	u	↔	u	p	↓	p
Silomais	Segetalflora	u	↓	u	u	↓	u
	Feldvögel	u	↔	u	u	↔	u
	Feldmaus	p	↔	p	p	↔	p
	Feldhase	p	↓	p	u	↓	u
	Laufk./ Spinnen	m	↓	m	m	↓	m
	Schwebfliegen	u	↓	u	u	↓	u
	Mittelwert	p	↓	p	p	↓	u
Körnermais	Segetalflora	u	↓↓	u	u	↓↓	u
	Feldvögel	u	↔	u	u	↓	u
	Feldmaus	p	↔	p	p	↔	p
	Feldhase	u	↔	u	u	↓↓	u
	Laufk./ Spinnen	u	↔	u	u	↓↓	u
	Schwebfliegen	u	↔	u	u	↓↓	s
	Mittelwert	u	↓	u	u	↓↓	u
Legende: NGVO/GVO: Anbau nicht-/ genetisch veränderte Organismen, d.h. Kulturpflanzensorten Tendenz: Tendenz und Grad der Veränderung bei Nutzung von NGVO statt GVO ↔ ... keine zahlenmäßige Änderung; ↓/↓↓ .geringe/starke Verschlechterung; ↑/↑↑... geringe/starke Verbesserung Stufen der Biotopeignung: sg ... sehr gut; g ... gut, m ... mäßig; p ... problematisch; u... ungeeignet Fett: Paare, bei denen sich bedeutsame Veränderungen der Biotopqualität ergeben							

Herbizidtolerante Sorten werden bei Zuckerrüben, Winterraps, Silo- und Körnermais erwartet, die in integriert und konventionell wirtschaftenden Betrieben angebaut werden. Im Biologischen Landbau ist die Anwendung von Herbiziden verboten und damit der Anbau von herbizidtoleranten Sorten uninteressant. Die Veränderungen der Anbauverfahren von nicht-herbizidtoleranten zu resistenten Sorten beschränken sich allgemein auf Veränderungen bei den Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung. Bei herbizidtoleranten Kulturarten kann die Herbizidapplikation zeitlich flexibler, vor allem in Abhängigkeit von der aktuellen Verunkrautung, in das jeweilige Verfahren integriert werden. Diese Flexibilität und der Totalherbizidcharakter der Mittel führen, so wird im Rahmen dieser Studie unterstellt, zu einem mindestens ebenso guten, i. d. R. jedoch besseren Bekämpfungserfolg von Unkräutern und Ungräsern. Ein Vergleich der mittleren Biotopwerte bei herbizidtoleranten und nicht herbizidtoleranten Sorten für die Bewirtschaftungsweisen "intensiv" und "integriert" ist in Tab. 2 dargestellt.

2.3.1.1 Zuckerrüben

Für alle Indikatoren – bis auf Feldmäuse -, gehören Bestände nicht-herbizidtoleranter Zuckerrüben (NGVO) zu denen mit der geringsten Lebensraumqualität von allen

Kulturpflanzenarten. Dies gilt sowohl für die konventionellen Produktionsverfahren als auch für die integrierten. Die Lebensraumqualität wird mit „ungeeignet“ charakterisiert. Veränderungstendenzen bei Anbau von herbizidtoleranten Sorten sind im konventionellen Anbau für keinen Indikator nachweisbar. Im integrierten Verfahren ist demgegenüber in der Tendenz eine Verschlechterung der Biotopwerte der herbizidtoleranten Zuckerrüben im Vergleich zu herkömmlichen Sorten zu verzeichnen. Für Segetalarten sowie die Tierarten(-gruppen), die von der Unkrautflora auf den Äckern abhängig sind, (Feldvögel, Feldhasen und Schwebfliegen) wird eine Verschlechterung ihrer Lebensbedingungen indiziert.

Verursacht wird dieses Ergebnis beider Verfahren vor allem durch die sehr intensive Unkrautbekämpfung, die aus einer Reihe von chemischen und zum Teil mechanischen Einzelmaßnahmen besteht. Bei der Bewertung des veränderten Herbizideinsatzes wird unterstellt, dass der Bekämpfungserfolg einer dreimaligen Herbizidapplikation im konventionellen Verfahren dem des reduzierten Aufwandes im herbizidtolerant-konventionellen Verfahren entspricht. Demzufolge wurde die biotische Wirkung des Einsatzes von herbizidtoleranten Zuckerrüben im konventionellen Verfahren als gleichwertig beurteilt. Integriert produzierte Zuckerrüben ohne Herbizidtoleranz werden aufgrund der weniger intensiven Herbizidapplikationen geringfügig besser bewertet als bei konventioneller Produktion. Dieser Vorteil wird bei Einsatz von herbizidtoleranten Zuckerrüben im integrierten Verfahren wieder aufgehoben.

2.3.1.2 Winterraps

Auch konventionell angebaute Winterrapsbestände sind für die meisten der Indikatoren „ungeeignete“ Lebensräume. Der Anbau von herbizidtolerantem Winterraps führt hier im Vergleich zum Verfahren ohne Resistenz zu einer Reduzierung der Applikationshäufigkeit von Herbiziden von durchschnittlich 2,0 auf 1,3. Es wird, wie bei Zuckerrüben, davon ausgegangen, dass trotz der Reduzierung der Anwendungshäufigkeit durch den besseren Bekämpfungserfolg mindestens vergleichbare biotische Effekte zu verzeichnen sind. Konventionell erzeugtem Raps wird deshalb einheitlich die Stufe „ungeeignet“ zugeordnet, unabhängig davon, ob herbizidtolerante Sorten verwendet werden oder nicht. Im integrierten Winterrapsanbau ohne herbizidrestistente Sorten erfolgt nur eine Herbizidapplikation. Zu herbizidtolerantem Winterraps wird 1,3 mal ein Totalherbizid angewendet. Neben dieser Erhöhung der Anzahl an Applikationen wird demnach ein bekämpfungssichereres Herbizid eingesetzt. Der Biotopwert von integriert erzeugtem Winterraps verschlechtert sich deshalb. Dies betrifft besonders die Bedingungen für die Segetalflora, aber auch für einige damit im Zusammenhang stehende Faunenelemente, wie z.B. den Feldhasen. Ähnlich wie bei Zuckerrüben hat auch Winterraps im konventionellen Anbau bereits eine geringe Biotopeignung, die durch die Nutzung herbizidtoleranter Kulturpflanzen nicht oder nur geringfügig verschlechtert wird. Die Biotopeignung des konventionell erzeugten Raps verbleibt auf dem Schwellenwert zwischen „ungeeignet“ und „problematisch“. Der integriert erzeugte Winterraps wird weiterhin als „problematisch“ eingestuft.

2.3.1.3 Silomais

Sowohl im konventionellen als auch im integrierten Anbau von transgenem herbizidtolerantem Silomais wird eine zusätzliche Applikation von Totalherbiziden in einem von drei Jahren gegeben. Hinsichtlich der biotischen Effekte der modifizierten Bewirtschaftungsmaßnahme „Unkrautbekämpfung“ muß deshalb davon ausgegangen werden, dass dies negative biotische Effekte hat. Da zusätzlich die Wirksamkeit des Totalherbizids gegenüber dem Selektivherbizid erhöht ist, werden in beiden Verfahren die

Biotopwerte tendenziell verschlechtert, insbesondere für Feldhasen, Laufkäfer und Spinnen sowie Schwebfliegen. Im konventionellen Verfahren wird sowohl der unmodifizierte als auch der herbizidtolerante Mais der Biotopeignungsstufe „problematisch“ zugeordnet. Die Einstufungen der einzelnen Indikatoren ändern sich ebenfalls nicht. Das integrierte Verfahren wird nach Einführung transgener herbizidtoleranter Maissorten im Vergleich zum konventionellen als qualitativ schlechter bewertet. Die Einstufung verändert sich von „problematisch“ zu „ungeeignet“. Neben der Applikation von Totalherbiziden wird hier eine die Biozönose zusätzlich störende, mechanische Unkrautbekämpfung durchgeführt.

2.3.1.4 Körnermais

Körnermaisbestände, die mit den gegenwärtig üblichen, bereits hoch intensiven Verfahren angebaut werden, werden mit der Biotopeignungsstufe „ungeeignet“ bewertet. Die Einführung herbizidtoleranter Sorten ändert an dieser Einstufung nichts. Zur Unkrautbekämpfung im konventionellen Normalverfahren werden zwei Herbizidapplikationen durchgeführt. Im integrierten Verfahren wird durchschnittlich 0,8 mal Herbizid mit zweimal Hacken kombiniert. Bei herbizidtolerantem Körnermais werden dagegen sowohl im integrierten als auch im konventionellen Verfahren 2,3 Applikationen von Totalherbiziden durchgeführt. Für die Biotopeignung bedeutet dies in beiden Fällen eine stärkere Verschlechterung der aktuellen Biotopwerte. Vor allem im integrierten Verfahren verschlechtern sich die Bedingungen.

Der bei Herbizidtoleranz auftretende hohe Bekämpfungserfolg von Unkräutern verursacht in Kombination mit den üblichen Insektizidbehandlungen und der im integrierten Verfahren durchgeführten mechanischen Unkrautbekämpfung eine fehlende Biotopeignung vor allem bei Schwebfliegen, Laufkäfern, Feldhasen und Feldvögeln.

2.3.1.5 Zusammenfassung zu herbizidtoleranten Sorten

Es ist festzustellen, dass zwar die Anzahl an Herbizidapplikationen bei toleranten Sorten im Vergleich zum Normalverfahren z.T. verringert ist. Dies bewirkt jedoch im besten Fall ein Gleichbleiben, in der Regel aber eine tendenzielle Verschlechterung der Biotopeignung der Kulturpflanzenbestände. Wenn es zu einer erhöhten Applikationshäufigkeit von Totalherbiziden kommt (z. B. im Winterraps integriert), so ist dies eindeutig als Verschlechterung zu bewerten. Der bessere Bekämpfungserfolg bei Herbizidtoleranz bei GVO verursacht bei den zuvor etwas günstiger bewerteten integrierten Bewirtschaftungsweisen im Vergleich zu konventionellen Verfahren eine stärkere Verschlechterungswirkung. Da im integrierten Anbau neben der effizienten chemischen Unkrautbekämpfung zusätzliche mechanische Störungen erfolgen, z.B. Hacken, verschlechtert sich der Biotopwert des integrierten Verfahrens stärker als der des Verfahrens von GVO-konventionell. Die Nutzung transgen induzierter Herbizidtoleranz ist demzufolge vor allem in integrierten Verfahren besonders nachteilig. Aufgrund des bewirtschaftungsintensiven Körnermais und Zuckerrübenanbaus wird jedoch auch deutlich, dass diese Verschlechterungswirkungen ein relativ geringes Ausmaß annehmen. Tatsächlich qualitative Veränderungen der Biotopeignung sind kaum nachweisbar, da die betrachteten Kulturen in den Biotopeignungsgruppen „ungeeignet“ oder auch „problematisch“ verbleiben. Lediglich für Silomais (integriert) wurde eine deutliche Verschlechterung von „problematisch“ zu „ungeeignet“ ermittelt.

2.3.2 Insektenresistenz

Genetisch induzierte Insektenresistenz bei Silo- und Körnermais sowie bei Kartoffeln können in den drei Bewirtschaftungsweisen intensiv, integriert und biologisch genutzt werden. Generell gilt, dass bei Anbau dieser Sorten weniger Insektizide eingesetzt werden als im Anbau traditioneller Sorten. Die biotische Wirkung der Anbauverfahren von

insektenresistentem Silo- und Körnermais sowie von Kartoffeln sind in Abhängigkeit von den Bewirtschaftungsweisen den Produktionsverfahren von nicht genetisch veränderten Sorten in Tabelle 3 gegenübergestellt.

Tab. 3: Biotopqualität von Beständen nicht transgener Kulturpflanzensorten (NGVO) für biotische Indikatoren und ihre Veränderungstendenz bei Anbau von Sorten mit transgener Insektenresistenz (GVO)

Fruchtart	Indikator	Bewirtschaftungsweise								
		konventionell			integriert			biologisch		
		NGVO	Ten- denz	GVO	NGV O	Ten- denz	GVO	NGV O	Ten- denz	GV O
Silomais	Segetalflora	u	↔	u	u	↔	u	m	↔	m
	Feldvögel	u	↔	u	u	↔	u	u	↔	u
	Feldmaus	p	↔	p	p	↔	p	p	↔	p
	Feldhase	p	↔	p	u	↔	u	u	↔	u
	Laufkäfer/ Spinnen	m	↔	m	p	↔	p	g	↔	g
	Schwebfliegen	u	↔	u	u	↔	u	m	↔	m
	Mittelwert	p	↔	p	p	↔	p	p	↔	p
Körnerma is	Segetalflora	u	↑	u	u	↔	u	m	↔	m
	Feldvögel	u	↑↑	u	u	↔	u	u	↔	u
	Feldmaus	p	↔	p	p	↔	p	p	↔	p
	Feldhase	u	↑	p	u	↔	u	u	↔	u
	Laufkäfer/ Spinnen	u	↑↑	m	u	↑↑	m	g	↔	g
	Schwebfliegen	u	↑↑	u	u	↔	u	m	↔	m
	Mittelwert	u	↑↑	p	u	↑↑	u	p	↔	p
Kartoffeln	Segetalflora	u	↑↑	u	u	↔	u	m	↔	m
	Feldvögel	u	↑	u	u	↑↑	u	u	↔	u
	Feldmaus	p	↔	p	p	↔	p	p	↔	p
	Feldhase	u	↔	u	u	↑	u	u	↔	u
	Laufkäfer/ Spinnen	u	↑↑	m	u	↑↑	m	m	↔	m
	Schwebfliegen	u	↑↑	u	u	↑↑	u	m	↔	m
	Mittelwert	u	↑↑	p	u	↑↑	u	p	↔	p

Legende:
 NGVO/GVO: Anbau nicht-/ genetisch veränderte Organismen, d.h. Kulturpflanzensorten
 Tendenz: Tendenz und Grad der Veränderung bei Nutzung von NGVO statt GVO
 ↔ ... keine zahlenmäßige Änderung; ↓/↓↓ .geringe/starke Verschlechterung;
 ↑/↑↑... geringe/starke Verbesserung Stufen der Biotopeignung:
 sg ... sehr gut; g ... gut, m ... mäßig; p ... problematisch; u... ungeeignet
Fett: Paare, bei denen sich bedeutsame Veränderungen der Biotopqualität ergeben

2.3.2.1 Silomais

Da bereits in allen Verfahren des Silomaisanbaus mit nicht insektenresistenten Sorten auf Insektizidapplikationen verzichtet wird, und die Nutzung von insektenresistentem Silomais auch nicht zu weiteren Veränderungen der Bewirtschaftungsmaßnahmen führt, verändert sich die Biotopqualität nach Einführung resistenter Sorten nicht. Die Zuordnung zur Stufe "problematisch" als Zusammenfassung für die Indikatoren bleibt erhalten.

2.3.2.2 Körnermais

Sowohl im konventionellen als auch im integrierten Anbauverfahren mit nicht insektenresistenten Maissorten werden Zünslerbekämpfungen mittels synthetischer

Insektizide durchgeführt. Der Körnermaisbau im biologischen Anbau setzt dagegen Schlupfwespen zur Bekämpfung ein. Während im integrierten Verfahren lediglich einmal ein Insektizid appliziert wird, erfolgen im konventionellen Anbau in der Regel zwei Applikationen pro Jahr. Im biologischen Anbau wird in der Regel einmal das biologische Bekämpfungsverfahren mit dem Parasit *Trichogramma* (Schlupfwespen) angewendet.

Beim Anbau von insektenrestenten Körnermaissorten wird auf die Applikation von Insektiziden bzw. von Schlupfwespen verzichtet. Dadurch sind vergleichsweise starke Effekte der Veränderung der biotischen Situation zu verzeichnen. Die stärksten biotischen Wirkungen treten im konventionellen Verfahren auf. Hier wird eine Verbesserung der mittleren Biotopeignung von „ungeeignet“ zu „problematisch“ erreicht. Auch bei integriert erzeugtem Körnermais verbessert sich der Biotopwert tendenziell, die Einstufung „ungeeignet“ bleibt jedoch dabei erhalten. Aufgrund der selektiven Bekämpfungswirkung von *Trichogramma* verändert sich im biologischen Anbau der aktuelle Biotopwert von zünslerresistentem zu nicht resistentem Körnermais nicht. Der Biotopwert verbleibt auf dem Niveau „problematisch“.

2.3.2.3 Kartoffeln

Im konventionellen sowie im integrierten Anbau werden zu nicht resistenten Kartoffeln drei bzw. zwei Insektizidapplikationen durchgeführt. Im biologischen Anbau erfolgt in der Regel eine ein- oder mehrfache Applikation von *Bacillus thuringiensis* (Bt) ssp. *tenebrionis*-Präparaten zur Bekämpfung der Kartoffelkäferlarven. Beim Anbau von insektenresistenten Kartoffeln wird in allen drei Bewirtschaftungsweisen vollständig auf Insektizide bzw. auf Bt-Präparate verzichtet.

Sowohl im konventionellen als auch im integrierten Anbauverfahren führt der Anbau von insektenresistenten Kartoffelsorten zu verbesserten Biotopwerten. Im konventionellen Anbau wird durch den Verzicht auf die Anwendung von Insektiziden die Biotopeignungsstufe von „ungeeignet“ auf „problematisch“ verbessert. Den integrierten Verfahren wird demgegenüber jeweils die Stufe „ungeeignet“ zugeordnet.

Der Anbau von Kartoffeln im Biologischen Landbau wird sowohl im transgenen als auch im nicht genetisch veränderten Verfahren aus Sicht der Biotopeignung als „problematisch“ betrachtet. Aufgrund der sehr spezifischen Wirkung von *Bt* ssp. *tenebrionis* kann bezüglich der verwendeten Indikatoren von keiner qualitativen Verbesserung auf die Lebensgemeinschaften des Ackers, nach Weglassen des Bt-Präparates ausgegangen werden.

2.3.2.4 Zusammenfassung zu insektenresistenten Sorten

Aus Sicht der Lebensraumeignung von Kulturpflanzenbeständen für typische Vertreter der Agrarbiozöten ist der Verzicht auf Insektizidanwendungen von größerer Bedeutung. Bei konventionell erzeugtem Körnermais und Kartoffeln verbessert die Nichtanwendung von Insektiziden die Biotopwerte dieser Pflanzenbestände deutlich. Dies gilt insbesondere für Laufkäfer und Spinnen sowie für Feldvögel. Der Anbau insektenresistenter Sorten besitzt demnach ein gewisses Potenzial zur Verbesserung der Lebensraumeignung einzelner Ackerkulturen.

Im Zusammenhang mit der allgemein hohen Bewirtschaftungsintensität der in Frage kommenden Kulturarten (Mais, Kartoffeln) relativiert sich allerdings die positive Wirkung der Insektenresistenz stark. Dies findet Ausdruck in der Zuordnung der Fruchtarten zu den mittleren Biotopeignungsklassen (vgl. Tab. 3). Dabei wird deutlich, dass durch die Nutzung insektenresistenter Kulturpflanzen lediglich in den konventionellen Verfahren von Körnermais und Kartoffeln eine qualitative Verbesserung (von „schlecht“ zu

„problematisch“) möglich ist. Bei Laufkäfern und Spinnen wird dagegen eine Biotoppeignung von „mäßig“ und damit eine bedeutsame Verbesserung erreicht.

Die integrierten Verfahren von Körnermais und Kartoffeln werden trotz Verbesserung der Biotopwerte weiterhin als „schlecht“ eingestuft. Dies verursacht das geringere Einsparpotenzial bei Insektiziden sowie zusätzliche Störungen, z.B. durch mechanische Bestandespflege. Es wird demzufolge deutlich, dass eine aus Sicht der betrachteten Indikatoren potenziell sinnvolle Insektenresistenz nur dann die Lebensraumqualität in Agrarlandschaft erhöhen kann, wenn das allgemeine Niveau der Bewirtschaftungsinstentität und die damit im Zusammenhang stehenden Negativ-Effekte auf die Biozönosen der Ackerflächen reduziert würden.

2.3.3 Pilzresistenz

Resistente (transgene) Sorten gegen wichtige Schadpilze werden zukünftig bei Winterweizen (gegen Braunrost) und Kartoffeln (gegen Phytophthora) erwartet. Diese Pilzresistenzen bewirken allgemein eine Reduzierung der Häufigkeit von Fungizidanwendungen, ohne dass vollständig auf die Applikation dieses Pflanzenschutzmittels verzichtet wird. Daran gekoppelte Insektizidapplikationen werden zum Teil ebenfalls reduziert.

Die aufgrund der geänderten Bewirtschaftungsmaßnahmen in den drei Bewirtschaftungsweisen ermittelten Biotopwerte werden in Tabelle 4 einander gegenübergestellt.

Die Effekte von Fungiziden in den betrachteten Produktionssystemen auf die Indikatoren sind nur unzureichend geklärt. Wir gehen hier davon aus, dass es keine relevanten Negativwirkungen von Fungiziden auf die betrachteten Indikatoren der Agrarbiozönose gibt. Verbesserungen des Biotopwertes braunrostresistenter Winterweizen- bzw. phytophthoraresistenter Kartoffelsorten beim Weglassen dieser Maßnahmen können daher nicht erwartet werden. Diese Aussagen sind mit größerer Unsicherheit behaftet. Wir berücksichtigen jedoch, dass der Spritzbelag durch einzelne herbivore Arten aufgenommen wird und evtl. in Abhängigkeit von der Dosis zu Beeinträchtigungen führen kann. Im Fall von sieben Fungizidapplikationen in einem Produktionsverfahren von Kartoffeln (Höchstwert) wurde eine Wirkung in Form einer „Populationsschwächung“ angenommen. Die Anwendung von Kupferpräparaten im biologischen Anbau wird hinsichtlich der Toxizität dem Gebrauch von synthetischen Fungiziden als gleichwertig bis stärker beurteilt.

Tab. 4: Biotopqualität von Beständen nicht transgener Kulturpflanzensorten (NGVO) für biotische Indikatoren und ihre Veränderungstendenz bei Anbau von Sorten mit transgener Resistenz gegen Pilzkrankheiten(GVO)

Fruchtart	Indikator	Bewirtschaftungsweise								
		konventionell			Integriert			biologisch		
		NGV O	Ten- denz	GVO	NGV O	Ten- denz	GVO	NGVO	Ten- denz	GV O
Winterweizen	Segetalflora	u	↔	u	u	↔	U	g	↔	g
	Feldvögel	p	↔	p	p	↔	P	m	↔	m
	Feldmaus	m	↔	m	m	↔	M	m	↔	m
	Feldhase	m	↔	m	g	↔	G	g	↔	g
	Laufkäfer/ Spinnen	g	↔	g	g	↔	G	sg	↔	Sg
	Schwebfliegen	u	↔	u	u	↔	U	g	↔	g
	Mittelwert	p	↔	p	m	↔	M	g	↔	g
Kartoffeln	Segetalflora	u	↔	u	u	↔	U	m	↔	m
	Feldvögel	u	↔	u	u	↑↑	U	u	↔	u
	Feldmaus	p	↔	p	p	↔	p	p	↔	p
	Feldhase	u	↔	u	u	↔	u	p	↔	p
	Laufkäfer/ Spinnen	u	↑↑	u	u	↑↑	u	m	↔	m
	Schwebfliegen	u	↑↑	u	u	↑↑	u	m	↔	m
	Mittelwert	u	↑	u	u	↑↑	u	p	↔	p

Legende:
 NGVO/GVO: Anbau nicht-/ genetisch veränderte Organismen, d.h. Kulturpflanzensorten
 Tendenz: Tendenz und Grad der Veränderung bei Nutzung von NGVO statt GVO
 ↔ ... keine zahlenmäßige Änderung; ↓/↓↓ .geringe/starke Verschlechterung;
 ↑/↑↑... geringe/starke Verbesserung Stufen der Biotopeignung;
 sg ... sehr gut; g ... gut, m ... mäßig; p ... problematisch; u... ungeeignet
Fett: Paare, bei denen sich bedeutsame Veränderungen der Biotopqualität ergeben

2.3.3.1 Winterweizen

Braunrostresistenter Winterweizen bewirkt im intensiven Anbauverfahren eine Reduzierung der Anzahl an jährlichen Fungizidapplikationen (von zwei auf eins). Die mittlere Biotopeignung von „problematisch“ ändert sich dadurch nicht. Auch für die einzelnen Indikatoren bleibt jeweils das Niveau der Biotopqualität bestehen, wenn auch in unterschiedlicher Höhe.

Sowohl im integrierten als auch im biologischen Verfahren wird bereits bei nicht resistenten Winterweizensorten auf Fundgizidapplikationen verzichtet. Daher bleibt dort die ermittelte Biotopeignungsstufe mit „mäßig“ und „gut“ erhalten.

2.3.3.2 Kartoffeln

Phytophthora-Resistenz bei Kartoffeln führt zu einer deutlichen Reduzierung der Aufwendungen an Fungiziden. Im konventionellen Verfahren wird die Behandlungen von sieben auf eine Fungizidapplikation reduziert, im integrierten Verfahren von fünf auf zwei. Reduzierungen der Anzahl an Insektizidapplikationen, die mit Fungizidanwendungen verbunden sind, treten dabei ebenfalls auf. Im biologischen Anbau werden bei Nutzung nicht resistenter Sorten drei, bei resistenten Sorten zwei Fungizidapplikationen mit Kupferoxychlorid durchgeführt.

Die Phytophthora-Resistenz führt sowohl unter konventionellen als auch unter integrierten Anbaubedingungen trotz tendenzieller Verbesserung weiterhin zur Einstufung der Kulturpflanzenbestände als „ungeeignet“. Den biologischen Verfahren wurde jeweils die Stufe „problematisch“ zugeordnet. Die in Tab. 4 dargestellten Tendenzen zur Verbesserung des Biotopwertes bei Kartoffeln (konventionell und integriert) sind in den betrachteten Anbauverfahren darin begründet, dass mit der Einsparung an Fungiziden oft auch eine Verringerung an Insektizidanwendungen einhergeht.

Die Veränderungen der Biotopqualität durch Anbau von Sorten mit Pilzresistenzen sind offensichtlich nicht bedeutsam. Der Grund dafür ist in der insgesamt hohen Störungsintensität des Kartoffelanbaus auf die Lebensgemeinschaften zu sehen, in der eine Verringerung von Fungizidapplikationen keine Verbesserung der biotischen Situation bewirkt.

2.3.3.3 Zusammenfassung zu pilzresistenten Sorten

Bei Anbau pilzresistenter Winterweizen- und Kartoffelsorten sind durch die Reduktion von Fungizidanwendung geringe positive biozönotische Effekte auf die Indikatoren zu verzeichnen (Tab. 4). Im Mittel werden Biotopwerte erreicht, die in den Bewirtschaftungsweisen konventionell und integriert eine Einstufung von „ungeeignet“ zu „problematisch“ ermöglichen. In den betrachteten Fruchtarten Winterweizen und Kartoffeln tritt allerdings eine große Streuung bei den einzelnen Indikatoren um diese mittlere Einstufung auf. Die konventionellen wie auch die integrierten Verfahren ohne und mit pilzresistenten Sorten werden hinsichtlich ihrer Biotopwirkung jeweils als qualitativ gleich bewertet. Die biologischen Verfahren sind davon deutlich unterschieden. Sie verbleiben einheitlich in der Gruppe „befriedigend“, wobei auch hier die Qualität für die einzelnen Indikatoren sehr unterschiedlich ist.

2.3.4 Zusammenfassung der allgemeinen Tendenzen

In Tab. 5 sind die Biotopeignungsstufen (BES) für die mittlere Lebensraumqualität (d.h. Mittelwert von allen Indikatoren) für die verschiedenen Formen der transgenen Sorteneigenschaften Herbizidtoleranz, Insektenresistenz und Pilzresistenz (Mittel aus allen Kulturpflanzenarten) dargestellt. Für einzelne Indikatoren und Anbauverfahren kann sich dies differenzierter darstellen, ebenso muß weiter zwischen verschiedenen Aspekten (kurzfristige, langfristige Wirkungen für die Populationen der Indikatoren und solche auf den Artenschutz) unterschieden werden.

Besonders herbizidtolerante und insektenresistente Sorten führen zu veränderten Biotopqualitäten der Kulturpflanzenbestände. Verstärkter Herbizideinsatz bei toleranten Sorten senkt die Biotopqualität, während Insektenresistenz im Mittel der Kulturen sowohl in den integrierten, vor allem aber in den konventionellen Verfahren eine Verbesserung ihrer Biotopeignung bewirkt. Die deutlichsten Effekte sind in konventionellen und integrierten Verfahren zu erwarten, innerhalb der biologischen Verfahren werden bei Nutzung von GVO für die betrachteten Indikatoren vergleichsweise geringe Biozönoseeffekte angenommen. Allerdings verbleiben die Produktionsverfahren in den gleichen Biotopeignungsstufen.

Tab. 5: Mittlerer Einfluß des Anbaus von transgenen Sorten (GVO) im Vergleich zu herkömmlichen Sorten auf die Lebensraumeignung von Ackerflächen in unterschiedlichen Bewirtschaftungsweisen

Resistenzform (GVO)	Bewirtschaftungsweise		
	konventionell	integriert	biologisch
Herbizidtoleranz (Mittelwert von Zuckerrüben, Winterraps, Silo- und Körnermais)	Geringe Verschlechterung innerhalb BES „ungeeignet“	stärkere Verschlechterung innerhalb BES „ungeeignet“ auf das Niveau von konventionell	(nicht eingesetzt)
Insektenresistenz (Mittelwert von Kartoffeln, Silo- und Körnermais)	Stärkere Verbesserung von BES „ungeeignet“ zu BES „problematisch“	geringe Verbesserung innerhalb BES „ungeeignet“	keine Veränderung innerhalb BES „problematisch“
Pilzresistenz (Mittelwert von Winterweizen und Kartoffeln)	Geringe Verbesserung von BES „ungeeignet“ zu BES „problematisch“	geringe Verbesserung innerhalb BES „problematisch“	keine Veränderung innerhalb BES „mäßig“
BES: Biotopeignungsstufe			

2.4 Betriebsvergleiche

Im folgenden Kapitel werden nunmehr ganze Betriebe ohne und mit dem Anbau resistenter (transgener) Sorten verglichen. Hier wird sowohl der Aspekt des Artenschutzes besonders berücksichtigt, als auch eine zusammenfassende Bewertung durchgeführt.

Die Darstellung der Lebensraumqualität für die biotischen Indikatoren in landwirtschaftlichen Betriebsszenarien beruht auf der Beschreibung von 132 vordefinierten Betrieben. Diese unterschieden sich in vier Merkmalen: Größe (10 - 60 ha Ackerfläche), Bewirtschaftungsweise (biologisch, integriert, konventionell) und Marktbedingungen (Situationen der Jahre 1998, 2003). Für jede dieser möglichen 66 Kombinationen wurde weiterhin der Anbau transgener Sorten variiert, so dass 66 Betrieben ohne transgene Sorten den 66 Betrieben gegenüberstehen, die diese Sorten verwenden. Dabei verwenden Betriebe allerdings transgene Sorten nur in dem Umfang und Ausmaß, wie es aus betriebswirtschaftlicher Sicht sinnvoll erscheint, kein Betrieb hat daher ausschließlich transgene Sorten im Anbau. Aus diesem Grund schwächen sich mögliche Unterschiede der Wirkungen auf die Indikatoren von einzelnen Produktionssystemen ab.

Aus der Sicht der Abschätzung der Biotopqualität unterscheiden sich die Produktionssysteme in den Spektren der angebauten Kulturpflanzen, in den Anbauverhältnissen und in den Produktionsverfahren. Die Produktionssysteme wurden im Hinblick auf die biotischen Indikatoren vergleichend untersucht. Dabei wurden auf Betriebsebene für jeden Indikator sowohl die Eignung als Mittelwert aller Flächen des Betriebes dargestellt, als auch die Werte der geeignetsten 20% der Flächen des Betriebes. Diese Unterscheidung erschien für eine Charakterisierung der Lebensraumqualität von Betrieben wichtig, da einerseits ein Maß für den gesamten Betrieb angegeben wird, andererseits die Variabilität der Qualität der einzelnen Flächen berücksichtigt wird. Weiterhin wird unterschieden sowohl zwischen kurz- und langfristigen Wirkungen auf die

Indikatoren als auch von Wirkungen hinsichtlich besonders empfindlicher Arten (Aspekt Artenschutz). Im folgenden werden Vergleiche dargestellt zwischen Gruppen von Betrieben, die sich hinsichtlich der oben angegebenen Merkmale unterscheiden.

2.4.1 Betriebe ohne transgene Kulturarten vs. Betriebe mit transgenen Kulturarten

Von den 132 Betrieben verwendet eine Hälfte keine transgene Arten, während die andere Hälfte solche anbaut. Wenn man diese Gruppen einander gegenüberstellt, so ergeben sich im Mittel nur wenige und geringe Unterschiede hinsichtlich der biotischen Indikatoren. Eine ‚Gesamtbewertung‘ als Zusammenfassung der Einzelwertungen ergibt in keinem Fall Unterschiede. Der Anbau transgener Sorten führt also im Mittel aller Betriebe zu keiner Veränderung der Lebensraumqualität der Ackerflächen. Wenn in den Szenarien jeweils nur die geeignetsten 20% der Betriebsflächen für die Indikatoren berücksichtigt werden, so ist hier der Anbau transgener Sorten in drei Fällen (von 20) besser, in vier Fällen werden die Szenarien ohne transgene Sorten besser bewertet. Hinsichtlich des Artenschutzes sind hier die deutlichsten Unterschiede zu erkennen: die Segetalflora hat in Betrieben mit transgenen Sorten bessere Bedingungen, die Schwebfliegen in Betrieben mit traditionellen Sorten.

Ein etwas anderes Bild ergibt sich, wenn die durchschnittliche Qualität aller Kulturen zugrunde gelegt wird. Wenn überhaupt Unterschiede zu bemerken sind, dann fallen sie zumeist (fünf von sechs Fällen) zugunsten der Betriebe mit transgenen Sorten aus. Insbesondere die Laufkäfer haben dort durchweg etwas bessere Bedingungen.

Von den Indikatoren sind es insbesondere die Segetalflora, die Laufkäfer und die Schwebfliegen, die bei dieser Betrachtung auf den Anbau transgener Kulturen reagieren. Für Feldvögel und den Feldhasen dagegen ist keine Veränderung der Lebensraumqualitäten zu erkennen.

2.4.2 Auswirkungen der Einführung transgener Kulturarten in den Bewirtschaftungsweisen „biologisch“, „integriert“ und „konventionell“

In der Tab. 6 sind die Einstufungen der Lebensraumqualität der Indikatoren für Betriebsszenarien zusammengefaßt. Dabei werden die verschiedenen Produktionstypen ‚konventionell‘, ‚integriert‘ und ‚biologisch‘, jeweils ohne bzw. mit Anbau transgener Kulturpflanzen gegenübergestellt (in jeder dieser sechs Gruppen sind 22 Betriebe zusammengefaßt). Die Lebensraumqualität wird nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgedrückt: *Durchschnittliche Qualität aller Flächen der Betriebe bzw. Berücksichtigung nur der jeweils 20% besten Flächen, dies jeweils bewertet nach Kombination von kurz- und langfristigen Wirkungen und solchen auf den Artenschutz bzw. nur nach Aspekten des Artenschutzes.*

Die Lebensraumqualität der Kulturen für die Indikatoren ändert sich in den Bewirtschaftungsweisen ‚biologisch‘, ‚integriert‘ und ‚konventionell‘ durch die Einführung transgener Kulturarten uneinheitlich, insgesamt nur gering. Die mittlere Lebensraumqualität unterscheidet sich nur wenig innerhalb einer Bewirtschaftungsweise zwischen Betrieben ohne bzw. mit transgenen Kulturpflanzen. In den biologisch wirtschaftenden Betrieben ändert sich dabei fast gar nichts. Die sehr geringfügigen Veränderungen fallen dabei zugunsten der Betriebe mit transgenen Sorten aus. In Betrieben mit integrierter Produktion führt der Anbau transgener Sorten ebenfalls zu nur geringen Veränderungen der Lebensraumqualität der Indikatoren.

Tab. 6: Einstufungen der Lebensraumqualität der Indikatoren für Betriebsszenarien

Qualitäts-		konventionell	integriert	biologisch
------------	--	---------------	------------	------------

kriterium, Bezogen auf die Betriebsfläche	Indikator	NGV O	Ten- denz	GVO	NGV O	Ten- denz	GVO	NGV O	Ten- denz	GV O
Durchschnittliche Lebensraum- qualität aller Flächen: Gesamtwertun- g	Segetalflora	u	↔	u	u	↓	u	m	↑	m
	Feldvögel	u	↔	u	u	↔	u	p	↑	p
	Feldmaus	m	↔	m	m	↔	m	m	↑	m
	Feldhase	p	↔	p	u	↔	u	m	↔	m
	Laufkäfer/ Spinnen	p	↑↑	p	p	↑	p	g	↑	g
	Schwebfliegen	u	↔	u	u	↓	u	m	↔	m
	Mittelwert	u	↑	u	u	↔	u	m	↑	m
Geeignetste 20% der Flächen: Gesamtwertun- g	Segetalflora	u	↔	u	p	↓	p	m	↔	m
	Feldvögel	p	↑	p	p	↔	p	m	↔	m
	Feldmaus	g	↔	g	g	↓	g	g	↔	g
	Feldhase	m	↑	m	g	↓	g	sg	↔	sg
	Laufkäfer/ Spinnen	g	↑	g	sg	↓	sg	sg	↔	sg
	Schwebfliegen	u	↔	u	p	↓	p	g	↔	g
	Mittelwert	p	↔	p	m	↓	m	g	↔	g
Durchschnittliche Lebensraumqu- alität der Flächen: Aspekt <i>Artenschutz</i>	Segetalflora	u	↔	u	u	↑	u	m	↔	m
	Feldvögel	u	↑	u	u	↔	u	p	↔	p
	Feldhase	u	↔	u	u	↓	u	m	↑	m
	Laufkäfer/ Spinnen	u	↑	u	u	↑	u	sg	↑	sg
	Schwebfliegen	u	↓	u	u	↔	u	g	↔	g
	Mittelwert	u	↔	u	u	↔	u	m	↑	m
Geeignetste 20% der Flächen: Aspekt <i>Artenschutz</i>	Segetalflora	u	↔	u	p	↑↑	g	g	↔	g
	Feldvögel	u	↔	u	u	↔	u	g	↔	g
	Feldhase	u	↔	u	g	↔	g	sg	↔	sg
	Laufkäfer/ Spinnen	m	↔	m	m	↓	m	sg	↔	sg
	Schwebfliegen	p	↓↓	u	m	↔	m	g	↔	g
	Mittelwert	p	↔	p	m	↑	m	g	↔	g
Legende: NGVO/GVO: Anbau nicht-/ genetisch veränderte Organismen, d.h. Kulturpflanzensorten Tendenz: Tendenz und Grad der Veränderung bei Nutzung von NGVO statt GVO ↔ ... keine zahlenmäßige Änderung; ↓/↓↓ .geringe/starke Verschlechterung; ↑/↑↑... geringe/starke Verbesserung Stufen der Biotopeignung; sg ... sehr gut; g ... gut, m ... mäßig; p ... problematisch; u... ungeeignet Fett: Paare, bei denen sich bedeutsame Veränderungen der Biotopqualität ergeben Aspekt 'Artenschutz': Erläuterungen s. Text (Kap. 2.4.1)										

Auch in konventionell wirtschaftenden Betrieben verändert sich die mittlere Lebensraumqualität der Ackerflächen für die Indikatoren nur wenig durch Einführung transgener Sorten. Hier ergibt sich in der Tendenz eine Verbesserung besonders für Laufkäfer und Spinnen. Diese Indikatoren reagieren gegenüber der Einführung transgener Sorten am stärksten, die durchschnittliche Lebensraumqualität verbessert sich dabei für diese Gruppen sowohl hinsichtlich der langfristigen Wirkungen als auch des Artenschutzes. Die anderen Indikatoren reagieren wesentlich weniger deutlich. Am geringsten verändert sich die mittlere Lebensraumqualität für den Feldhasen, die Feldmäuse und die Segetalflora. Hinsichtlich der jeweils geeignetsten Flächen in den Betrieben gilt dasselbe wie für die Mittelwerte gesagte.

Die grundsätzliche Aussage, dass im biologischen Anbau die Lebensraumqualitäten höher bewertet werden als im integrierten und konventionellen Anbau, verändert sich nicht durch die Einführung transgener Sorten. Obwohl es dadurch im integrierten und konventionellen Anbau tendenziell zu Lebensraumverbesserungen kommen kann, werden in keinem Fall ähnliche Werte erreicht wie in biologisch wirtschaftenden Betrieben, unabhängig davon, ob dort transgene Sorten verwendet werden oder nicht. Die wesentlichen Unterschiede für die Indikatoren werden durch die Produktionsrichtung der Betriebe bestimmt, die durch die Einführung transgener Sorten nur noch wenig modifiziert werden.

2.4.3 Produktionsweise, Anbau transgener Sorten und Rahmenbedingungen 1998 vs. 2003

Die Lebensraumqualitäten für die Indikatoren in der Produktionsrichtungen „biologisch“, „integriert“ und „konventionell“, jeweils mit und ohne Verwendung transgener Sorten wurden für die Rahmenbedingungen der Jahre 1998 und 2003 verglichen. Als zusammengefaßtes, vereinfachtes Ergebnis führen die Rahmenbedingungen des Jahres 2003 zu keinen besseren mittleren Lebensraumqualitäten als im Referenzjahr 1998. Geringfügig bessere Bedingungen im biologischen Anbau (z.B. für Feldmäuse), geringfügig schlechtere Bedingungen im integrierten Anbau und die sehr geringen Änderungen im konventionellen Landbau sind erkennbar. Die Betriebe mit transgenen Sorten werden dabei bei der biologischen und integrierten Produktion im Szenario 2003 sehr ähnlich bewertet wie für das Jahr 1998, für Betriebe ohne transgene Sorten zeichnet sich dabei eine geringfügige Verbesserung der Lebensraumbedingungen ab. Für konventionell wirtschaftende Betriebe ist die geschätzte Situation in 2003 eher mit einer - wiederum sehr geringfügigen – Verschlechterung zu rechnen.

Für die günstigsten 20% der Ackerfläche kann zusammenfassend gesagt werden, dass der Biologische Landbau im Jahr 2003 die biologische Qualität dieser Flächen erhöht sein wird, dabei in den Betrieben ohne transgene Sorten mehr als mit transgenen Sorten. Im integrierten Landbau ist in der Situation des Jahres 2003 eine wesentlich geringere Verbesserung zu erwarten, und dies nur in den Betrieben ohne transgene Kulturen. Im Konventionellen Landbau dagegen ist im Jahr 2003 mit einer Verschlechterung auf diesen Flächen zu rechnen, dabei auf den Betrieben ohne transgene Sorten mehr als auf Betrieben mit transgenen Sorten. Feldmäuse, Feldhasen, Laufkäfer werden in der Situation des Jahres 2003 in biologisch wirtschaftenden Betrieben bessere Bedingungen vorfinden, besonders auf den günstigsten 20% der Fläche. Im integrierten Anbau ändert sich wenig für die Indikatoren, nennenswerte Veränderungen (Verbesserungen) ergeben sich nur für Laufkäfer und Spinnen. Im konventionellen Anbau 2003 verschlechtern sich Lebensraumqualitäten besonders für den Feldhasen, die Laufkäfer und Schwebfliegen gegenüber dem Szenario für das Jahr 1998.

2.4.4 Größe der Betriebe

In die Berechnungen gingen 11 Betriebsgrößenklassen von 10 bis 60 ha ein. Insgesamt ist nur ein geringer Effekt der Betriebsgröße auf die Qualität der geeignetsten 20% der Flächen festzustellen und dabei bei der mittleren Qualität der Ackerflächen fast gar kein Effekt. Bei den geeignetsten Flächen gibt es bei den Feldmäusen, den Laufkäfern und Spinnen und den Schwebfliegen eine Tendenz zu besseren Bedingungen in größeren Betrieben, für Feldvögel besonders geeignete Flächen finden sich eher auf kleinen Betrieben. Die deutlichsten Reaktionen auf die Betriebsgröße zeigen die Wirkungen auf gefährdete Arten, hier ist mit besseren Bedingungen eher in größeren Betrieben zu rechnen als in kleinen.

2.5 Zusammenfassende Betrachtungen zur Lebensraumqualität

2.5.1 Verhalten der Indikatoren

Beim Aspekt ‚Artenschutz‘ werden insbesondere solche Maßnahmen negativ beurteilt, die zu einer Nivellierung und Eutrophierung der bodenseitigen Standortbedingungen führen (Düngung) bzw. durch wenig selektive Pflanzenschutzmittel (besonders Herbizide und Insektizide) große Teile der Ackerbiozönose beeinträchtigen, die dann als Folgewirkung, z.B. als Nahrungsgrundlage für andere Glieder der Biozönose, nicht mehr zur Verfügung stehen. Bei Feldvögeln sind darüber hinaus mechanische Bodenbearbeitungsmaßnahmen während der Brutperiode als negativer Faktor wesentlich.

Deutlich ist die größere Bedeutung der Bewirtschaftungsweise gegenüber der Wirkung des Anbaus transgener Sorten für die Indikatoren zu erkennen (Tab. 6). Die ‚Artenschutz‘-Mittelwerte lassen im zusammenfassenden Indikator und den meisten einzelnen Indikatoren keinen Unterschied zwischen Betrieben mit und ohne transgene Sorten erkennen. Lediglich für den Indikator ‚Laufkäfer und Spinnen‘ deuten sich in Betrieben mit transgenen Sorten etwas bessere Bedingungen an. Hinsichtlich der günstigsten Flächen für den zusammenfassenden Indikator kommen ungeeignete Betriebe nur mit transgenen Sorten vor.

Die Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsweisen wirken auf die Indikatoren unterschiedlich, aber in der Tendenz werden die biologisch wirtschaftenden Betriebe wesentlich besser bewertet als die anderen beiden Formen. Besonders deutlich ist dies bei den Schwebfliegen, den Laufkäfern/Spinnen und der Segetalflora. Die Feldvögel dagegen werden weniger unterschiedlich bewertet, alle Betriebe sind dabei von geringer Qualität.

Alle biologisch wirtschaftenden Betriebe sind in Hinsicht auf den Artenschutz sehr ähnlich. Sie erreichen bei allen Indikatoren mit wenigen Ausnahmen immer gleiche Wertklassen und sind hinsichtlich der Mittelwerte gegenüber der ‚Segetalflora‘ und dem ‚Feldhasen‘ als ‚mäßig‘, hinsichtlich der ‚Feldvögel‘ als ‚problematisch‘ und für ‚Laufkäfer und Spinnen‘ und ‚Schwebfliegen‘ als ‚gut‘ bis ‚sehr gut‘ bewertet worden. Die integrierte Produktionsweise ist differenzierter zu betrachten, da für die meisten Indikatoren Werte erzielt werden können, die denen der biologischen gleichkommen. Lediglich Feldvögel und auch Schwebfliegen finden durchweg schlechter geeignete Flächen vor. Auch die konventionellen Betriebe sind sich hinsichtlich der Lebensraumqualität gegenüber allen Indikatoren sehr ähnlich. Durchweg werden dabei nur sehr geringe Werte erreicht. Selbst die besten 20% der Betriebe sind nicht besser als ‚problematisch‘, die Betriebsmittelwerte fallen sogar immer in die Klasse ‚ungeeignet‘, mit der Ausnahme von einigen als ‚problematisch‘ eingestuften Betrieben für Laufkäfer/Spinnen.

2.5.2 Langfristige Wirkungen auf die Artengruppen

Bei der Betrachtung langfristiger Wirkungen kommt es, im Gegensatz zum ‚Artenschutz‘, weniger auf den Erhalt besonderer Standortbedingungen an, sondern auf die Häufigkeit von Störungen und Schädigungen durch Pflanzenschutzmittel. Bodenbearbeitungsmaßnahmen wurden dabei z.T. nicht als gravierende Störung angesehen, wenn angenommen werden konnte, dass dadurch der Erhalt der Populationen nicht gefährdet wird. Auch Düngungsmaßnahmen werden hier, im Gegensatz beim Aspekt ‚Artenschutz‘, nicht als negativ angesehen.

Gegenüber dem Aspekt ‚Artenschutz‘ ist bei den ‚langfristigen Wirkungen‘ eine durchgehend günstigere Bewertung der Szenarien zu erkennen, wenn auch die Verteilung ähnlich ist. Die biologisch wirtschaftenden Betriebe werden in allen Fällen wiederum gleichen Klassen zugeordnet (Ausnahme ist wiederum die Gesamtwertung bei der

geeignetsten Fläche), während die integriert und konventionell wirtschaftenden Betriebe zu unterschiedlichen Klassen gehören. Die biologisch wirtschaftenden Betriebe werden in den Mittelwerten immer besser beurteilt als die anderen beiden Produktionsweisen, lediglich bei den Feldvögeln gibt es einige Betriebe in der gleichen Wertklasse. Die integriert wirtschaftenden Betriebe werden hinsichtlich der Laufkäfer und Spinnen und in der zusammenfassenden Wertung etwas besser beurteilt als die konventionell wirtschaftenden. Hinsichtlich der Segetalflora, der Feldvögel und der Schwebfliegen sind sie gleich ungeeignet. Dagegen entsteht bei der Betrachtung der jeweils geeignetsten Ackerfläche ein weiter differenziertes Bild. Alle Indikatoren finden in biologisch wirtschaftenden Betrieben sehr viel geeignetere Flächen in den anderen Produktionsformen. Eine Ausnahme stellen die Feldmäuse dar; hier ist der Unterschied zwischen den Produktionsformen nicht deutlich. Feldvögel finden auch bei biologischer Bewirtschaftung bestenfalls ‚problematische‘ Flächen vor.

2.6 Abschlußbemerkungen zur biotischen Bewertung

Mit Hilfe des dargestellten Bewertungsansatzes wurde versucht, die Wirkungen modifizierter Anbauverfahren beim Einsatz verbesserter resistenter (transgener) Kulturpflanzen auf die Ackerbiozönose abzubilden. Damit wurde eine Abschätzung zu erwartender biotischer Wirkungen durch die Einführung neuer Produktionsverfahren, hier in Form vom Anbau transgener Sorten, als Prognose vorgenommen. Die Grenzen der Aussagefähigkeit dieser Ergebnisse liegen auf der Hand, eine ausführlichere Diskussion ist in Werner et al. 2000 (s. Fußnote 2) dargestellt. Hier soll lediglich darauf hingewiesen werden, dass die in der Studie verwendeten Indikatoren nur einen Teil der Biozönose repräsentieren, die Einschätzung von Qualitätsstufen ein Vorschlag ist, der auf Experteneinschätzungen beruht, und dass wichtige mögliche Wechselwirkungen, z.B. insektizide Wirkungen von Fungiziden, nicht berücksichtigt worden sind. Dennoch können in den Grenzen, die durch die Methode vorgegeben sind, Schlußfolgerungen in dem Detail gezogen werden, wie sie für das Projekt erwartet werden.

Die vorgestellten Ergebnisse lassen den Schluß zu, dass aus Sicht des Schutzes der Lebensraumfunktion von Ackerbaulandschaften die Einführung der ausgewählten resistenten (transgenen) Sorten keine generelle Vorteile gibt, wenn auch die Reduzierung von Pflanzenschutzmittelanwendungen in einzelnen Anbausystemen zu Verbesserungen führen kann. Es ist jedoch anzunehmen, dass die zunächst günstige erscheinenden Einsparungen z.B. an Insektizidapplikationen tatsächlich nur sehr wenig zu einer Verbesserung der biotischen Situation auf Ackerflächen beitragen. Insbesondere innerhalb der integrierten und insbesondere in biologischen Verfahren sind im Mittel lediglich geringfügige Verbesserungen anzunehmen. Tatsächlich qualitative Verbesserungen sind am ehesten durch die Nutzung von Insektenresistenzen innerhalb konventioneller Produktionsverfahren möglich. Die dargestellten vergleichsweise geringen Effekte der Biozönosebeeinflussung von zum Teil erheblichen Aufwandsreduzierungen an Insektiziden werden ausschließlich durch die allgemein vorherrschende, hohe Bewirtschaftungsintensität der gegenwärtig üblichen Anbauverfahren verursacht. Im Rahmen einer Senkung dieser Intensität der Bewirtschaftung, die dann jedoch alle Maßnahmen des Anbauverfahrens betreffen müßte, könnte die Wirkung einer Insektenresistenz deutlich vorteilhafter ausfallen.

Toleranz bei Kulturpflanzen gegenüber Totalherbiziden führen durch geänderte Herbizideinsätze zu einer mindestens tendenziell stärkeren Beeinträchtigung der Lebensraumqualität für Komponenten der Agrarbiozönosen. Die mit derartigen Sorten

mögliche, hoch flexible und effiziente Unkrautbekämpfung ist für die Produktionsorganisation sicherlich sehr effektiv. Aus Sicht des Biotopschutzes ist die Einführung von derartig genetisch veränderten Kulturpflanzen eher ungünstig zu bewerten. Werden Sorten mit verbesserten Resistenzen in den Produktionsprozess eines Betriebes integriert, so schwächen sich die für den Betrieb auszuweisenden Unterschiede zwischen einem Anbau von Sorten mit bzw. ohne die eingeführten Eigenschaften ab. Dies entsteht, da die neuen Kulturpflanzen aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus oft nur einen Teil der Anbaufläche einnehmen und Verschiebungen in den Fruchtfolgen dies nicht kompensieren. Wird eine Gesamtbewertung für die gewählten Indikatoren der Agrarbiozöten vorgenommen, kommt es durch die Einführung neuer Kulturpflanzenarten bei keiner der Bewirtschaftungsweisen, weder in der konventionellen, noch in der integrierten oder in der biologischen, zu bedeutsamen Veränderungen. Die Unterschiede in der Wirkung auf die Qualität der biologischen Umwelt bleiben somit zwischen den Bewirtschaftungsweisen erhalten. Während die biologischen Betriebe – mit und ohne Anbau transgener Arten- durchweg die günstigeren sind, läßt sich für den konventionellen und integrierten Betriebstyp feststellen, dass je nach Indikator und Bewertungsaspekt z.T. die Betriebe ohne transgene Arten, z.T. Betriebe mit transgenen Arten besseren Lebensraumqualitäten anzeigen. Eine Schlussfolgerung hieraus kann sein, dass innerhalb dieser Produktionsrichtungen eine hohe Variabilität der Bewirtschaftungsprinzipien in Agrarlandschaften die größten Vorteile bietet.

Ausblick

Als Schlußfolgerung aus diesen Ergebnissen läßt sich ableiten, dass moderne Zuchtziele durchaus verstärkt Aspekte des Naturschutzes beinhalten sollten. Im Bereich der Konkurrenz durch andere Pflanzen im Kulturpflanzenbestand (Unkräuter) ist einer verbesserten Konkurrenzfähigkeit der Ackerkulturpflanzen selber anzustreben. Eine effizientere Nährstoff- und dabei vor allem Stickstoffausnutzung, würde es ermöglichen, durch verringerte direkte Nährstoffzufuhr das Trophieniveau in der Landschaft zu senken.

Biotisch bedeutsame Bestandesparameter, wie Lichtdurchlässigkeit und ertragsrelevante Bestandesdichte, letztlich auch die Schaffung eines günstigen Mikroklimas im Kulturpflanzenbestand, sollten zukünftig ebenso Inhalte moderner Züchtungsstrategien sein.

Zum Schutz der tierischen Organismen in den Ackerbiozöten ist entscheidend, dass das allgemeine Niveau der Bewirtschaftungsintensität bzw. die damit im Zusammenhang stehenden Negativ-Effekte auf die Biozöten der Ackerflächen reduziert werden. Das heißt z. B. das die Ackerkultur eine Ackerbegleitflora zuläßt, die aufgrund ihres charakteristischen Auftretens, ihrer Vielfalt, ihres Blütenreichtums eine umfangreiche Schutz- und Nahrungsfunktion für die tierischen Zielarten oder deren Nahrungsgrundlage erreicht.

Wenn eine sichere Gentechnik, zu den aufgeführten Aspekten umfassende Beiträge leisten könnte, wäre das eine wesentliche Maßnahme für die Verbesserung der Lebensraumbedingungen für Flora und Fauna auf Ackerflächen und letztlich in Agrarlandschaften insgesamt.

Die für die hier dargestellten Abschätzungen entwickelte Methode weist sicherlich einige Probleme hinsichtlich der Genauigkeit in der Zuordnung bei den unterstellten Effekten bzw. deren Erklärung auf. Ursache sind erhebliche Defizite im Wissen um die exakten Auswirkungen pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die einzelne Art bzw. die Lebensräume

auf dem Acker. Deshalb sollen die hier vorgestellten Ergebnisse auch dazu dienen, gezielte Forschungsarbeiten zur Ermittlung der kausalen Beziehungen zwischen Landnutzung und Biotik aber auch für die Weiterentwicklung der vorgestellten Methode anzuregen.

3 Beurteilung von landwirtschaftlichen Produktionsverfahren auf die Qualität der unbelebten Umwelt

Die Einschätzung, wie wirken die neue Anbautechnologien auf die Arten und Lebensgemeinschaften des Ackers, ist nur ein Teil in der insgesamt erforderlichen Abschätzung von ökologischen Effekten des Anbaus nichttransgener und transgener Sorten. Es müssen zudem auch die Auswirkungen auf unbelebte (stofflich- / energetische) Komponenten der Umwelt untersucht werden.

Üblicherweise werden hierzu die ökologisch bedeutenden Nährstoffflüsse sowie auch die Aspekte der Bodenveränderung (Schadverdichtung, Erosion etc.) untersucht. Als Grundlage der vorliegenden Untersuchung dienten vordefinierte Anbauverfahren einzelner Fruchtarten bzw. Anbausysteme ganzer landwirtschaftlicher Betriebe. Die dabei zugrundgelegten Anbauverfahren waren entsprechend den Anbauvorschriften zum Integrierten bzw. Biologischen Landbau der Schweiz definiert. Folge sind statische und schon weitgehend 'optimale' Verhältnissen im Bereich Nährstoffflüsse und Bodenschutz. Dies, sowie die zur Verfügung stehende Datengrundlage erlaubten deshalb keine klassische Analyse der abiotischen Auswirkungen bei den zu untersuchenden Produktionstechnologien.

Als integrierende Grösse in der Bewertung von Wirkungen unterschiedlicher Produktionstechnologien auf die unbelebte Umwelt kann aber die Energieeffizienz der pflanzlichen Produktion herangezogen werden. Hier wird das Verhältnis der über den Naturalertrag (Ganzpflanze) in Form von Biomasse erzeugten Energie in Beziehung zu der für die Produktion und ihrer Vorbereiche (Maschinen-, Düngemittel- und Pflanzenschutzmittelherstellung etc.) insgesamt eingesetzten Energie gesetzt. Hohe Werte deuten hier auf einen schonenden Umgang mit abiotischen Ressourcen und oft auch auf geringe stoffliche Wirkungen der Produktionsverfahren auf die Umwelt. Die Verwendung der ausgewählten Sorten mit verbesserten (transgenen) Resistenzeigenschaften führt – im Vergleich zum Anbau der entsprechend konventionell gezüchteten Sorten ohne die relevanten Resistenzeigenschaften in der Ausgangssituation des Jahres 1998 bei allen Bewirtschaftungsweisen zu einer Steigerung der Energieeffizienz (Abb. 1).

Ursache hierfür sind die geringeren energetischen Aufwendungen im Bereich des Pflanzenschutzes, insbesondere durch Einsparung der energetisch bedeutsamen Überfahrten zur Ausbringung der Pflanzenschutzmittel bzw. Durchführung von mechanischen Unkrautregulationsmaßnahmen. Der Energiebedarf für die Herstellung der Pflanzenschutzmittel je Einheit Pflanzenschutzmittel und damit je Flächeneinheit Acker ist dagegen vergleichbar gering.

Die dargestellte Situation der besseren Verwertung der eingesetzten Energie beim Anbau transgener Sorten verringert sich gegenüber dem Anbau konventioneller Sorten, wenn im Zukunftsszenario 'Jahr 2003' sich - aus ökonomischen Gründen - die Anbauverhältnisse in den konventionell und integriert wirtschaftenden landwirtschaftlichen Betrieben ändern.

Anders dagegen bei biologischer Bewirtschaftungsweise. Dort ist die Energieeffizienz im Zukunftsszenario (Jahr 2003) in allen Fällen geringer als in der Ausgangssituation im Jahr 1998 (Abb. 1). Für die biologische Bewirtschaftungsweise wird diese Verschlechterung der



Energieeffizienz besonders erheblich, wenn ausschließlich Anbauverfahren ohne transgene Sorten eingesetzt werden

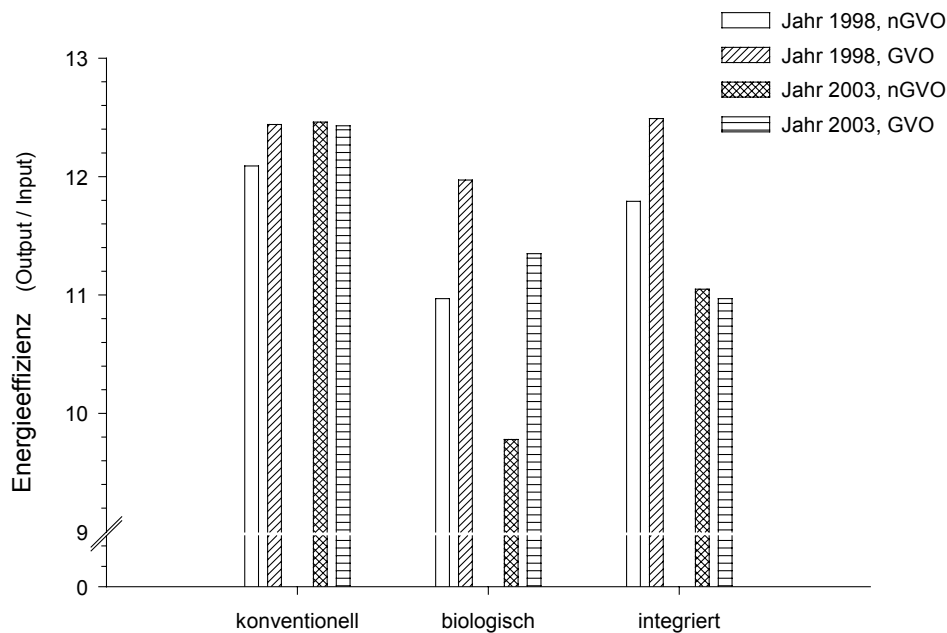


Abb. 1: Einfluss der Bewirtschaftungsweise und des Anbauverfahrens [mit (= GVO) bzw. ohne (=nGVO) transgenen Sorten] auf das Verhältnis der in Form von Biomasse erzeugten Energie zum Energieeinsatz in der Produktion (Energieeffizienz) [Mittelwerte über 11 Betriebsgrößenstufen]

4 Fazit

Die Einführung neuer Techniken der landwirtschaftlichen Produktion kann Auswirkungen auf ökologische Zustände oder Funktionen in den Agrarlandschaften haben. Eine vorausschauende Folgenabschätzung ist somit vor einer breiten Anwendung solcher neuen Techniken erforderlich. Dies auch und besonders, um die Bedeutung neuer Produktionstechnologien oder Anbausysteme für das Konzept der 'Nachhaltigen Entwicklung' einordnen zu können.

In einer theoretischen Studie wurden für ausgewählte Umweltqualitätsziele die Auswirkungen der Einführung von transgen gezüchteten Kulturpflanzen in die Ackerproduktion untersucht. Als Gegenstand der Untersuchung galten neue Sorteneigenschaften mit Toleranz der Kulturpflanze gegen spezielle Totalherbizide (bei Mais, Raps, Zuckerrüben) sowie Resistenz der Kulturpflanze gegen Schadinsekten (bei Kartoffeln, Mais) bzw. Resistenz gegen Schadpilze (Braunrost bei Weizen, Phytophthora bei Kartoffeln).

Für einzelne Arten von Ackerbiozönosen und für deren Lebensräume sowie für die Effizienz der Energienutzung in der Pflanzenproduktion wurde auf der Ebene von Kulturpflanzenarten sowie auf der Ebene ganzer Betriebe abgeschätzt, welche Unterschiede zwischen einer Ackerproduktion mit (GVO) bzw. einer ohne (nGVO) transgenen Sorten bestehen. Grundlage sind betriebswirtschaftlich definierte

Anbausysteme bzw. ganze Betriebe der Bewirtschaftungsweisen 'Biologischer Landbau', 'Integrierter Landbau' und 'Konventioneller Landbau' der Schweiz. Verglichen wurden dabei als Ausgangsszenario die Marktbedingungen im Jahr 1998 sowie Bedingungen, die für das Jahr 2003 unterstellt wurden.

Abiotik

Als integratives Beurteilungskriterium für die Nutzung abiotischer Ressourcen wurde die Energieeffizienz der Pflanzenproduktion herangezogen (in Biomasse erzeugte Energie / insgesamt eingesetzte Energie).

- Die Verwendung der ausgewählten Sorten mit verbesserten (transgenen) Resistenzeigenschaften führt – im Vergleich zum Anbau der entsprechend konventionell gezüchteten Sorten ohne die relevanten Resistenzeigenschaften - in der Ausgangssituation des Jahres 1998 bei allen Bewirtschaftungsweisen zu einer Steigerung der Energieeffizienz.
- Die bessere Verwertung der eingesetzten Energie beim Anbau transgener Sorten verringert sich gegenüber dem Anbau konventioneller Sorten, wenn im *Zukunftsszenario 'Jahr 2003'* sich die Anbauverhältnisse in den landwirtschaftlichen Betrieben ändern. Die schlechte Energieeffizienz der Betriebe des Biologischen Landbaus verringert sich zudem.

Biotik

Mit einer neu entwickelten Abschätzungsmethode konnten die Wirkungen des Anbaus mit und ohne transgene Sorten auf ausgewählte tierische Organismen bzw. den Lebensraum Acker ermittelt werden.

Aus Sicht des Schutzes der Lebensraumfunktion von Ackerbaulandschaften bewirkt die Einführung der ausgewählten Sorten mit verbesserten (transgenen) Resistenzeigenschaften keine generellen Vorteile, wenn auch die Reduzierung von Pflanzenschutzmittelanwendungen in einzelnen Anbausystemen zu Verbesserungen führen kann.

- Toleranz bei Kulturpflanzen gegenüber Totalherbiziden führen durch geänderte Herbizideinsätze zu einer mindestens tendenziell stärkeren Beeinträchtigung der Lebensraumqualität für Komponenten der Agrarbiozöosen.
- Innerhalb der integrierten und insbesondere in biologischen Verfahren sind bei insektenresistenten Sorten im Durchschnitt lediglich geringfügige Verbesserungen anzunehmen. Tatsächlich qualitative Verbesserungen sind am ehesten durch die Nutzung von Insektenresistenzen innerhalb konventioneller Produktionsverfahren möglich.
- Der Anbau von pilzresistenten Sorten verändert die – ohnehin ungünstige - biotische Qualitätssituation für die Agrarbiozöosen in den Äckern nicht.
- Bei keiner der Bewirtschaftungsweise, weder in der konventionellen, noch in der integrierten oder in der biologischen, führt die Anwendung der hier geprüften transgenen Sorten zu bedeutsamen Veränderungen für die Biotik. Die Unterschiede in der Wirkung auf die Qualität der biologischen Umwelt bleiben somit zwischen den Bewirtschaftungsweisen erhalten.

Konzept und praktische Lösungsansätze zur ökologischen Begleit- forschung³⁰

K. AMMANN, P. RUFENER, Y. JACOT

Botanischer Garten

3013 Bern

Zusammenfassung

1 Ökologische Begleitforschung und Monitoring - Definition und Ziel

2 Phasen der ökologischen Begleitforschung und des Anbaubegleitenden Monitorings

3 Flexibilität der ökologischen Begleitforschung und des Monitorings

4 Ziel der ökologischen Begleitforschung und des Monitorings

5 Vernetzung ökologischer Grundlagenforschung mit dem Monitoring

6 Differenzierung und Reduktion des Monitoring-Programmes

7 Biodiversitäts-Monitoring

8 Ökologie-Monitoring

9 Gebietsabgrenzung des Ökologie- und Biodiversitäts - Monitorings

10 Bezug des Monitorings auf Null - Vergleichsflächen (-Proben)

11 Finanzierungsmodus

12 Literatur

³⁰ Ammann et al. (1999), BATS Report 6/6, 25 S. (siehe Kap. 8)

Zusammenfassung

In den vorliegenden Ausführungen werden Vorschläge zur „Freisetzungsbegleitenden Forschung“ und zum „Anbaubegleitenden Monitoring“ vorgestellt. Fragestellungen eine nachhaltige Landwirtschaft betreffend sollen Bestandteil der jeweiligen Beobachtungsprogramme werden. Das Monitoring soll in ein intensives Dreijahresmonitoring und ein extensives Folge-Monitoring unterteilt werden. Die zu prüfenden Wirkungen gentechnisch veränderter Sorten und der entsprechenden Anbauverfahren werden einerseits einem Biodiversitäts-Monitoring naturnahe benachbarte Räume betreffend zugeordnet und andererseits einem Ökologie-Monitoring, das mögliche Veränderungen in Ackerbausystemen beobachten soll. Zur Verbesserung der Praktikabilität des Monitorings wird vorgeschlagen, ein System der kalibrierten Bioindikatoren auf der Basis einiger weniger Leitorganismen zu entwickeln. Auf diese Weise könnten Zustandsveränderungen in wichtigen Untersuchungsbereichen, beispielsweise im Zusammenhang mit der Bodenfruchtbarkeit oder dem Artenreichtum der ackerbegleitenden Naturräume, erfasst werden.

1 Ökologische Begleitforschung und Monitoring - Definition und Ziel

1.1 Allgemeine Einführung

Die Notwendigkeit eines langfristigen Monitorings bei der Freisetzung transgener Nutzpflanzen wird kaum mehr bestritten. Auch das Symposium Ende Januar 1998 in Bern kam zum Schluss, dass ein gut organisiertes Monitoring zu den ersten Prioritäten gehört, wenn es um die Verbesserung der Sicherheitsforschung geht (Ammann et al. 1999).

Beim Konzipieren eines Monitoring-Systems ist es wichtig, im Auge zu behalten, dass Ackerbausysteme keine natürlichen Systeme sind, dass sie mehr oder weniger intensiv unter menschlichem Einfluss stehen. Im Randbereich zwischen Acker und Natur gab es schon immer zahlreiche Störungen, hier seien nur jene des unerwünschten Einflusses von Düngung und Pestiziden genannt (Primack p. 173). Wenn es uns gelingen soll, auch in den nächsten Jahrzehnten die dramatisch zunehmende Weltbevölkerung zu ernähren, müssen wir den Ackerbau in verschiedener Hinsicht revolutionieren: Auf immer kleinerer Fläche müssen immer höhere Erträge resultieren, dies in nachhaltiger Weise und unter stetiger Reduktion des Energieaufwandes. Es ist deshalb wichtig, in wissenschaftlicher Abwägung der Vor- und Nachteile, neue Ackerbau- und Pflanzenzüchtungsmethoden zu testen.

Der potentielle Beitrag zur Lösung des Welternährungsproblems muss einerseits im Lernen von traditionellen Methoden, andererseits im unvoreingenommener Weise auch im Testen absolut neuer Ansätze gesucht werden. Insbesondere ist darauf zu achten, im Suchen nach neuen Lösungsansätzen nicht nur vom neuen Risiko, sondern auch von neuen Vorteilen auszugehen. Dies muss sich auch in der ökologischen Begleitforschung und in den gewählten Parametern des Monitorings niederschlagen. Es ist dem Trend entgegenzutreten, in reduktionistischen Studien allein nach negativen Wirkungen Ausschau zu halten, wir sollten diese Wirkungen zwar nicht übersehen und schon gar nicht verniedlichen, aber die ökologische Begleitforschung und auch das Monitoring muss immer den gesamten Kontext im Auge behalten: Es ist deshalb von grosser Wichtigkeit, einen fairen Vergleich zwischen den verschiedenen Anbauarten einzuplanen (Losey et al. 1999, Shelton et al. 1999).

1.2 Begriffsklärungen: Freisetzungsbegleitende Forschung und Anbaubegleitendes Monitoring

Die *Freisetzungsbegleitende Forschung* (= ökologische Grundlagenforschung) soll Grössen der möglichen Risiken umfassen, die einer Grundlagen-Abklärung bedürfen, sei es, weil die bisherigen Abklärungen in nicht vergleichbaren Räumen stattfanden oder weil es spezifische Abklärungen bedarf bezüglich der Eigenheiten der Schweizerischen Gentech-Gesetzgebung. Auch EU-weit wird diese Forschung als Freisetzungsbegleitende Forschung (zu nationalen Part-B-Genehmigungen) bezeichnet.

Diese Freisetzungsbegleitende Forschung soll vor allem an den Hochschulen und den zuständigen Bundes-Forschungsanstalten erfolgen, um weitere wichtige Fragen zu beantworten, die in der Regulationsphase nicht oder ohne genügenden Nachdruck gestellt wurden und von denen man nach der Literatur auch Grund hat anzunehmen, dass dadurch kurzfristig auch Risiken aufgedeckt werden könnten. Anzustreben ist eine Mischfinanzierung durch Staat und Industrie, sowie die Sicherstellung unabhängiger Publikation.

Das *Anbaubegleitende Monitoring* soll Grössen der möglichen Risiken umfassen, deren mittel- bis langfristige Erfassung und Vermeidung im Interesse der Schweizerischen Landwirtschaft liegen. Gründe dafür sind der Schutz der speziellen Verhältnisse der Schweizerischen alpennahen und kleinräumigen Landwirtschaft, die Beschaffung von Daten für die Weiterentwicklung der Schweizerischen Landwirtschaft hinsichtlich der Verbesserung ihrer Nachhaltigkeit, wie auch die Beschaffung von Daten nach der kommerziellen, grösserflächigen Freisetzung (mittel- und langfristig).

1.3 Nachhaltigkeit als Zielvorgabe für die Freisetzungsbegleitende Forschung und das Monitoring

Die allgemeinen Bemerkungen zur Nachhaltigkeit, wie sie Käppeli und Schulte (1998) machen, müssen hier nicht wiederholt werden. Die Freisetzungsbegleitende Forschung und das Anbaubegleitende Monitoring müssen so gestaltet werden, dass sie konkrete Hinweise für die Weiterentwicklung einer nachhaltigen Landwirtschaft liefern. Als Leitlinie sollten die Kriterien der Nachhaltigkeit gelten, cf. die FAO-Kriterien unter:

[gopher://gopher.un.org:70/00/esc/cn17/1996-97/indicators/LAND.IND](http://gopher.un.org:70/00/esc/cn17/1996-97/indicators/LAND.IND)

Im Kapitel 14 dieser im Internet plazierten Studie wird eine Übersicht zur Problematik des Ackerbaus hinsichtlich der Umweltschäden gegeben. Neben vielen sozio-ökonomischen Indikatoren für die Nachhaltigkeit interessieren uns für die Freisetzungsbegleitende Forschung vor allem die folgenden Indikatoren (Kapitel 1.3.1 bis 1.3.5). Sie sind für die vorliegende Arbeit deswegen relevant, weil sie auch indirekte Auswirkungen auf die umgebenden Naturräume haben.

1.3.1 Pestizidmengen

Ein wichtiges Mass für die Nachhaltigkeit ist die Pestizidmenge, die für die Kulturen verwendet werden muss. Das Mass: t pro 10 km², es sollte nach Möglichkeit differenziert werden nach verschiedenen Pestiziden und ihrer unterschiedlichen Toxizität. Persistente organische Chemikalien sind Massstab für die Nachhaltigkeit der Bewirtschaftung, einerseits wegen des Energieaufwandes, andererseits wegen der potentiellen Schäden, die in Boden und Wasser auftreten können und auch die Nützlinge aller Art betreffen.

1.3.2 Pestizid-Rückstände

Pestizid-Rückstände sind ein besonders heikles Problem, da viele der Abbau-Produkte organischer Pestizide schwierig rückverfolgbar sind und auch langfristig noch negative Wirkungen haben können. Der Weg in die menschliche Nahrungskette wäre zu verfolgen, was selbstverständlich auch für die Bt-Sprühungen der Biobauern und für die immer noch,

auch im Biolandbau verwendeten Kupfer-Präparate gelten muss (vgl. die homepage: www.copper.org/compounds/ukcomp.htm).

1.3.3 Düngermengen

Oft werden zu grosse Düngermengen abgegeben. Es wäre zu unterscheiden zwischen Stalldünger und chemisch hergestelltem Dünger. Beim Stalldünger, an sich wegen dem positiv wirkenden Recycling zu begrüssen, sind auch die Zusätze mitzubedenken (Schwermetalle, antibiotika-resistente Bakterien). Die drei üblicherweise gemessenen Komponenten sind Stickstoff (N), Phosphor (P_2O_5), und Kalium (K_2O).

1.3.4 Düngerverfrachtungen

Verfrachtungen durch Staub und Wasser wären eigentlich direkt zu messen, die FAO hat eine normierte Evaluationsmethode festgelegt: Prozent der bewässerten Flächen verglichen mit der gesamten Ackerbaufläche eines Gebietes ergeben gute Richtwerte.

1.3.5 Energie-Input

Der Energie-Input ist eine wichtige Bezugsgrösse, denn zuwenig davon lässt auch die Erträge unzulässig sinken. Deshalb muss ein gutes Mittelmass gefunden werden. Die wichtigsten Bezugsgrössen sind Urbarmachung, Mechanisierung, Düngung, Bewässerung, Ernteaufwand, Transport, Ernte-Aufbereitung und Lagerhaltung.

2 Phasen der ökologischen Begleitforschung und des Anbau-begleitenden Monitorings

2.1 Phase vor der ersten Freisetzung: Ökologische Entwicklungsforschung

Die Antragsteller für die ersten Freisetzungen müssen vorweisen können, dass alle notwendigen Voruntersuchungen gemäss einem durch das BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) empfohlenen Katalog in geschlossenen Systemen vorgenommen wurden. Beim ersten Freisetzungsversuch (für ein bestimmtes Produkt) in der Schweiz sind im Gesuch an das federführende BUWAL auch die bisherigen spezifischen Freisetzungs-Erfahrungen in anderen Ländern zu dokumentieren. Für Eigenentwicklungen Schweizerischer Institutionen muss auch der Fall einbezogen werden können, bei dem noch keine grossen Erfahrungen vorliegen. In diesem Falle muss stufenweise vorgegangen werden über geschlossene Systeme zu kontrollierten Kleinstfeldversuchen bis zu den eigentlichen Feldversuchen. In dieser ersten Phase der ökologischen Entwicklungs-Forschung geht es um das Abklären von regionsbezogenen Fragen, die in einem international angelegten und verallgemeinerbaren Regulationsprozess nicht gestellt werden können: Es betrifft vor allem Fragen des vertikalen Genflusses in den verschiedenen Naturräumen der Schweiz. Die Definition dieser Naturräume ist gemäss Biodiversitäts-Monitoring Schweiz zu übernehmen, ebenso die holländisch-schweizerische Methode des "Biogeographical assays" im Sinne des verfassungsmässig geforderten Vorsorge-Prinzips (vgl. Kapitel 7).

2.2 Im Zeitpunkt der ersten Freisetzungsversuche

Begleit- (oder koordinierte ökologische Parallel-) Forschung der Hochschulen, um weitere wichtige Fragen zu beantworten, die in der Regulationsphase nicht gestellt wurden und von denen man nach der Literatur auch Grund hat anzunehmen, dass dadurch kurzfristig auch Risiken aufgedeckt werden können. Es wird eine Mischfinanzierung durch Staat und Industrie und die Sicherstellung unabhängiger Publikation vorgeschlagen.

2.3 Während der ersten kommerziellen Auspflanzung

2.3.1 Intensives Dreijahresmonitoring

Im Rahmen des intensiven Dreijahresmonitorings wird ein Vollprogramm des Monitorings durchgeführt. Siehe dazu die beiden Kapitel 7 und 8 (Biodiversitäts- und Ökologie-Anbaubegleitendes Monitoring).

2.3.2 Extensives Folge-Monitoring

Dieses extensive Folge-Monitoring sollte ohne Zeitlimite mit reduziertem Programm durchgeführt werden: Je nach Resultaten des Biodiversitäts-Monitorings und des Ökologie-Monitorings kann ein Reduzieren auf das Erfassen von Gründer-Populationen und mit verminderter Untersuchungsfrequenz erwogen werden. Als Vorschlag sei die Bioindikation der Bodenfruchtbarkeit mit einem kalibrierten Kollembolen-System genannt. Auch könnten bei den Nutzinsekten einzelne Arten als Indikatoren einer möglichst artenreichen Insektenpopulation im Monitoring mitgezogen werden. Es gilt allerdings auch zu beachten, dass die neuen gentechnisch veränderten Sorten nicht mehr als ca. 5 bis höchstens 10 Jahre auf dem Acker bleiben werden, man sollte, will man wirklich über längere Zeit beobachten, auch an "Schutzgebiete" denken, die eine solche Langzeit-Beobachtungs-strategie überhaupt ermöglichen. Im Übrigen sei verwiesen auf Leigh et al. 1994, in diesem Band sind die Ergebnisse des Rothamsted-Langzeitexperimentes in den internationalen Kontext gestellt.

3 Flexibilität der ökologischen Begleitforschung und des Monitorings

Die Freisetzungsbegleitende Forschung und das Monitoring müssen insgesamt zeitlich flexibel organisiert sein in dem Sinne, dass sie als *Frühwarnsystem* funktioniert sollten und entsprechend *rechtzeitig* intensivierete Untersuchungen umgehend initiiert werden können. Speziell für das Frühwarnsystem wäre es hilfreich, ein Netzwerk unter Anwendern (Bauern) und Betroffenen (Naturschützern) zu gestalten (vgl. Zusammenarbeit unter Kapitel 5, Vernetzung).

Deshalb ist zu fordern, dass den jährlichen Berichten der Begleitforschungs-projekte und des Monitorings grosse Bedeutung zuzumessen ist, allerdings sollte die Zeit für die statistische Absicherung nicht unter dem Druck von Unheilsvermutungen abgekürzt werden müssen. Begleitforschung und Monitoring sollen als Frühwarnsystem auch die zukünftige Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der transgenen Nutzpflanzen beeinflussen können. Vgl. dazu auch Kapitel „Von der Technikbeurteilung zur Technikgestaltung“ in Käppeli und Schulte 1998.

4 Ziel der ökologischen Begleitforschung und des Monitorings

Ziel der ökologischen Begleitforschung und des Monitorings muss es sein, eventuelle positive, neutrale oder negative Wirkungen auf Acker- und Naturraumsysteme mit wissenschaftlicher Genauigkeit zu belegen. Ackerränder und benachbarte Flächen, die mit Wildpflanzen besetzt sind, können vielfachen und verschiedenartigen positiven und/oder negativen oder auch keinen Einwirkungen unterliegen. Die Untersuchungsmethodik sollte weder proaktiv noch kontraaktiv strukturiert sein; Sie muss mit wissenschaftlicher Genauigkeit die eigentlichen Wirkungen belegen. Sie soll in jedem Falle einen fairen Vergleich zwischen verschiedenen Anbaumethoden ermöglichen.

Es kann nicht der Sinn eines Langzeitmonitorings sein, ihm ideelle Zielsetzungen zugrunde legen, die sich nicht wissenschaftlich begründen lassen (vgl. Ammann D. 1999) – vielmehr

ist in jedem Falle sicherzustellen, dass alle Monitoringaktivitäten, ob lang- oder kurzfristig, auf wissenschaftlichen Risikoüberlegungen aufbauen. Ideelle Gesichtspunkte sind zwar zu respektieren, sie gehören aber in den Bereich der Ökonomie und der Marktregulierung. (Beispiel unerwünschte Einkreuzung von Transgenen in Felder der Biobauern: Dies stellt nicht an sich eine Sicherheitsfrage dar, muss aber über gesetzliche Bestimmungen kontrolliert werden, woran die Autoren keinen Zweifel lassen wollen).

Insbesondere sollte sichergestellt werden, dass die Wirkung auf transgene *und* nicht-transgene Organismen vergleichend studiert wird. Es kann nicht angehen, bei den bereits mit hunderten von Vorversuchen geprüften transgenen Kulturpflanzen einen wesentlich höheren Sicherheitsstandard zu fordern, als dies bei den klassisch gezüchteten Sorten der Fall ist. Denn es ist ein entscheidender Irrtum, davon auszugehen, dass die gentechnisch veränderten Kulturpflanzen bezüglich ihrer Wirkung auf die Ökosysteme a priori wesentlich naturferner sind als die klassisch gezüchteten Sorten: Gerade unsere erfolgreichsten Kulturpflanzensorten sind durch künstlich induzierte Mutation des Erbgutes entstanden, wobei auch Methoden eingesetzt wurden, die ein gewisses Risiko beinhalten (Mutationen induziert durch Chemikalien und durch Strahlung). Dennoch bleibt für transgene Sorten die Forderung bestehen, dass entsprechend der Novität der eingefügten Transgene vorzugehen ist. Denn es gilt, den Vorteil der klaren Verhältnisse, die durch neue Transgene geschaffen werden, auch für vertiefte Umweltstudien auszunutzen. Nur kann man dann mit Fug nicht mehr behaupten, dies sei eine absolut notwendige Sicherheitsforschung, bei der unrealistisch grosse Parametermengen und ebenso unrealistisch lange Zeiträume der Untersuchungen zugrunde zu legen seien.

Ferner ist darauf zu achten, dass die Jahresschwankungen der Anbaubedingungen und insbesondere auch die jährlich stark schwankenden Schad-Insekten-Populationen mit berücksichtigt werden. Die diesbezügliche Kontroverse um die bisherigen vergleichenden Ertragsstudien ist gegenwärtig in vollem Gange. Details sind in der Originalarbeit von Gianessi und Carpenter (1999) zu finden. Sie zeigen eindrücklich, dass man sich nicht von den Resultaten einzelner Jahre leiten lassen kann.

4.1 Positive Wirkungen von transgenen Nutzpflanzen

Transgene Nutzpflanzen können gegenüber solchen aus traditioneller Züchtung u.a. in folgenden Bereichen positiven ökologischen Auswirkungen haben:

No tillage: Bei korrekter Anwendung von neuen Herbizidstrategien mit herbizidtoleranten Kulturpflanzen kann oft das Pflügen vermieden werden. Somit wird die Bodenfauna erheblich geschont.

Vermeidung von Pestizidsprühungen: Bei der Datenerhebung sollte neben den Spritzmittelmengen auch der Arbeitsaufwand berücksichtigt werden (Gianessi und Carpenter 1999). Es ist aus den bisherigen Felderfahrungen heraus zu erwarten, dass die Vermeidung von Pestizidsprühungen positive Wirkung auf die Populationen vieler Nutzinsekten zeigen wird.

Höhere oder niedrigere Erträge: Nach Ernteabschluss und Verkauf der Ernte sollten Zahlen vorliegen, die einen Vergleich mit konventionellen Kulturen ermöglichen (Gianessi und Carpenter 1999).

4.2 Neutrale Wirkungen von transgenen Nutzpflanzen

Neutrale Wirkungen sollten ebenso genau belegt werden wie positive und negative Wirkungen. Es wäre wichtig, dass eventuelle neutrale Resultate auch in den

Schlussberichten ausdrücklich erwähnt würden. Leider werden solche "Resultate" in internationalen Publikationen kaum berücksichtigt, da sie wissenschaftlich "uninteressant" sind.

4.3 Negative Wirkungen von transgenen Nutzpflanzen

Das Monitoring muss risikoorientiert sein, konsequenterweise muss ein Kriterienkatalog entwickelt werden, der zur Einstufung von effektiv auftretenden Schäden dienen könnte (Nöh 1996). Solche Schäden sind von den heutigen angebauten transgenen Nutzpflanzen bisher keine ausgegangen, dennoch soll hier eine Skalierung zugrunde gelegt werden:

Schwere Schäden: Wesentliche Veränderungen in Populationsdichten oder in der Populations-Zusammensetzung (Artenverdrängung); Funktionsverluste in Ökosystemen

Mittlere Schäden: Wesentliche Veränderungen von Populationsdichten und von Populations-Zusammensetzungen (funktionelle Veränderungen)

Geringe Schäden: Populationsveränderungen, die keine Funktionsverluste hervorrufen

Vernachlässigbare Schäden: Beeinträchtigung lediglich von Individuen; kurzfristig und in ihrer Wirkung reversibel

Zur Klarstellung: Das Abklären eventueller Gefahren, die dann eventuell zu Schäden führen könnten, sollten wie immer als Risiko = Wahrscheinlichkeit x Schadensausmass definiert werden. Die Abklärung solcher Gefahren sollte im Entwicklungsmonitoring geschehen, d.h. innerhalb der Entwicklungsfirmen: Sie müssen für eine Gesuchstellung für die erste Freisetzung nachweisen, dass die Sicherheit gewährleistet ist. Für eine objektive Beurteilung stellt sich trotzdem bereits hier die Frage, ob es nicht von Vorteil wäre, wenn die Entwicklungsfirmen auch in Europa externe wissenschaftliche Gruppierungen mit Teilen der Entwicklungsforschung beauftragen, so wie dies in den USA routinemässig geschieht.

5 Vernetzung ökologischer Grundlagenforschung mit dem Monitoring

Projekte müssen in Zusammenarbeit mit der Grundlagen-Forschung, der angewandten Forschung, der Ressortforschung und auch den Regulatoren und den Produzenten realisiert werden. Die Studien sollten alle Aktivitäts-Sektoren der Herstellung, Freisetzung und kommerziellen Auswertung transgener Nutzpflanzen umfassen. Entsprechend kann auch nur eine gute Zusammenarbeit die relevanten Resultate erbringen. Es ist auch wichtig, dass ein gerechter finanzieller Ausgleich unter jenen herrscht, die die Studien unterstützen. Finanzierung darf in keinem Falle heissen, dass damit Einfluss auf die Interpretation genommen werden darf, ganz abgesehen von den resultierenden Fakten.

5.1 Vorschlag für eine Zusammenarbeit in der ökologischen Begleitforschung

Die hier gegebenen Vorschläge haben vor allem illustrativen Charakter und sind vor allem auch bei den Namens-Nennungen nicht auf konkreten Rückfragen beruhend. Sie sollen lediglich aufzeigen, in welcher Richtung eine solche Vernetzung zu gestalten ist, damit sie dann auch eine fruchtbare Zusammenarbeit ermöglicht.

Koordination mit Schwerpunktprogrammen, mit Nationalfonds-Projekten und mit Projekten in den Nachbarländern:

Deutschland: Förderschwerpunkt BioMonitor, Ökologie und Monitoring transgener Nutzpflanzen im Freiland des BMBF (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Bonn. 1), 2)

Österreich: Hochschule für Bodenkultur in Wien 3)

Frankreich: CNRS, Aubière, Landes 4)

Italien: Noch offen

Grossbritannien: John Innes Centre, Norwich, University of Wales, Bangor, Gwynedd 5)

Dänemark: Risø National Laboratory, Roskilde 6)

Zusammenarbeit mit der Ressortforschung und der angewandten Forschung:

Schweiz: Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) Reckenholz, Zürich, 7)

Deutschland: Bundesforschungsanstalt für Biologie, Braunschweig, Umweltbundesamt, Berlin, 8)

Österreich: Bundesministerium für Frauenangelegenheiten und Verbraucherschutz, Austrian Research Centers, Seibersdorf 9)

Frankreich: INRA, Rennes 10)

Italien: Noch offen

Grossbritannien: Noch offen

Dänemark: NERI, Ministry of Environment, Silkeborg

5.2 Zusammenarbeit mit Regulatoren

Schweizer Ansprechpartner:

Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), 11)

Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) 12)

Internationale Ansprechpartner:

OECD: Paris

European Union, DG XII, Bruxelles

USDA Biotechnology Evaluations, Plant Protection and Quarantine, Riverdale, Washington

5.3 Zusammenarbeit mit den Life Science Companies

Mögliche Partnerfirmen, die im Bereich Grüne Gentechnik in Europa tätig sind:

Novartis 13)

Monsanto 14)

(Nestlé) 15)

Hoechst, AgrEvo

DuPont, Pioneer

Rhone-Poulenc

5.4 Zusammenarbeit mit den Bauernverbänden

Schweizerischer Bauernverband 16)

Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL), Frick 17)

5.5 Zusammenarbeit mit NGOs

Pro Natura 18)

WWF 19)

Büro für Umweltchemie Zürich 20)

6 Differenzierung und Reduktion des Monitoring-Programmes

Es gilt, alle Chancen einer Reduktion des Aufwandes für das Monitoring wahrzunehmen. Eine enorme Schwierigkeit im Monitoring besteht ja darin, dass eigentlich hunderte von Parametern in kurz- und langfristige Untersuchungen einbezogen werden sollten, dies aber weder finanziell noch zeitlich verkraftbar ist. Es lässt sich auch wissenschaftlich nicht rechtfertigen, denn genau dies wäre eigentlich auch für alle in den letzten Jahren forcierten Mutantenzuchten zu fordern.

6.1 Untersuchungsplanung von Fall zu Fall, Region für Region

Das Monitoring muss mindestens in der Einführungsphase für jedes Genkonstrukt und jede Nutzpflanze durchgeführt werden. Weiter sollte Rücksicht genommen werden auf die grossen biogeographisch und ökologisch definierten Naturräume. Das bedeutet, dass u. U. Untersuchungen aus anderen Naturräumen nicht direkt auf die Naturräume der Schweiz übertragbar sind. Vorsicht ist geboten beispielsweise bei der Verschiedenartigkeit der Floren- und Faunen-Zusammensetzung und der Bodencharakteristika, die sich regional entscheidend ändern können.

6.2 Reduktion dank weltweit verbreiteten Untersuchungsorganismen

Reduktionsmöglichkeiten sind dort gegeben, wo die Biodiversität grösserer Organismen wenig Einfluss hat: Je kleiner die Organismen, desto allgemeiner ist ihre Verbreitung, desto weniger regional ist ihre Biogeographie geprägt.

6.3 Reduktion der Parameter dank Kalibrierung zusammenfassender Biomonitorien

Kalibrierte Bioindikations-Systeme müssen mit Leitorganismen entwickelt werden. Ziel des Biodiversitäts-Monitorings ist es, gültige Parameter für die Lebensgemeinschaften und die Bodenfruchtbarkeit zu entwickeln. Der grössere Aufwand für eine solche Entwicklung lohnt sich durchaus, denn die Methodik kann dann vergleichend und überregional angewandt werden, und die Leitorganismen können auf wenige Arten reduziert werden. Das Reduktionspotential liegt vor allem auch dort, wo mittels kalibrierter Bioindikation ein allgemeiner Gütezustand der untersuchten Flächen erhoben werden kann, der normalerweise nur mit zahlreichen und langfristigen physiko-chemischen Messungen zu erfassen wäre. So lassen sich letztlich Biodiversitäts-Indizes entwickeln, durch die rein quantitativ der Artenreichtum der ackerbegleitenden Naturräume und deren Bodenfruchtbarkeit erfasst werden kann (Liebendörfer et al. 1988).

6.4 Reduktion der Parameter mittels Modellrechnungen

Es muss gelingen, die grosse Zahl der Parameter auf die wichtigsten zu reduzieren. Hierbei können Modellvorstellungen helfen. Modellierungsmethoden können, so begrenzt ihre

Aussagekraft auch ist, das Denken in komplexen Zusammenhängen disziplinieren. Sie können anhand von ausgewählten Parametern auch Abschätzungen von zukünftigen Ausbreitungstrends von Fremdgenen ermöglichen, so dass wenigstens in groben Zügen ein Beurteilen der grossen Linien realisiert werden kann. Die Suche nach Datensätzen, welche das Modellierungsverfahren unterstützen können, sollte systematisch aufgrund von Literaturstudien unternommen werden. Die bisherigen Modellierungsverfahren leiden vor allem unter dem Fehlen von wichtigen und in sich vollständigen Datensätzen (Giddings 1999).

6.5 Evaluation der Parameter durch internationale Harmonisierung der Methodik

Eine internationale Harmonisierung der verwendeten Parameter muss angestrebt werden. Darin wird ein enormes Rationalisierungspotential liegen. Es wird darauf zu achten sein, dass sorgfältig unterschieden wird zwischen harmonisierbaren Erfassungs-Methoden und ihren Resultaten, und jenen Methoden und Resultaten, die nur bei regionaler Betrachtung relevant werden.

6.6 Evaluation der Parameter durch Bestimmen der Familiarität und / oder durch Einhaltung des Vorsorgeprinzips nach gegebenen Umständen

Das Prinzip der Familiarität muss obige Differenzierungsgrundsätze beachten. Es wird nach einigen Jahren der kommerzialisierten Freisetzungen (auch ausserhalb der Schweiz) zu berücksichtigen sein. Als komplementärer Gegenbegriff kann das Vorsorge-Prinzip gelten, das es dort einzusetzen gilt, wo keine Felderfahrungen (auch ausserhalb der Schweiz) vorliegen. Das Monitoringprogramm sollte dort frühzeitig reduziert werden können, wo anderwärts direkt vergleichbare wissenschaftliche Resultate vorliegen. (Bsp. ökotoxikologische Untersuchungen zu Bt-Proteinen in vergleichbaren Bodentypen oder in vergleichbaren Insektenpopulationen).

7 Biodiversitäts-Monitoring

Das Biodiversitäts-Monitoring sollte die folgenden Inhalte umfassen:

7.1 Die Überlebens- und Ausbreitungsfähigkeit von transgenen Nutzpflanzen in der Umwelt

Dazu gehören (je nach Kulturpflanzen und ihren wilden Verwandten):

- Ausbreitungsstudien von Kultursorten
- Ausbreitungsstudien eventueller wilder Verwandter
- Ausbreitungsstudien der Hybriden zwischen Kultur- und Wildarten
- Vereinfachte Studien, um das Problem des Durchwuchses im und neben dem Acker zu verfolgen

Weiter sind gründlichere Untersuchungen zur Samenbank der Nutzpflanze nötig, um u. U. das Problem des Durchwuchses (Nutzpflanze taucht als Unkraut in nachfolgenden Kulturen auf) und der Fruchtfolgen zu klären. Hier ist die Zusammenarbeit mit Instituten zu suchen, die Grundlagenforschung in der Populationsgenetik betreiben. Es muss auch das Problem der Gründerpopulationen im Auge behalten werden; oder wird die Etablierung jeder Pflanze immer wieder durch neue Samenverbreitung der Kulturen verursacht? Hier öffnet sich ein spannendes Grundlagenforschungs -Thema, dem aber nur

mit geduldigen und langwierigen Beobachtungen wirklich beizukommen ist. Gerade die zwei letzten Punkte gehören eher in die Grundlagenforschung, man sollte tunlichst das Langzeit-Monitoring damit nicht belasten.

7.2 Eigenschaft der GVO, mit Ziel- und Nichtzielorganismen in Wechselwirkung zu treten

Wechselwirkungen zwischen einer transgenen Nutzpflanze und einem Zielorganismus kann zu Resistenz des Schädlings führen. Wirkung auf Nützlinge (Nichtzielorganismen) sind ebenfalls sorgfältig abzuklären. Voraussetzung ist das Erarbeiten des Basis-Resistenz-Niveaus, wobei wohl fast überall eine regionale Differenzierung notwendig ist: Wie wichtig ist dieser Aspekt in einer bestimmten Gegend? Ausgewählte Schädlings- und Nützlingspopulationen werden in den gleichen unten erwähnten Flächen untersucht. Dabei wird die Wirkung und der Weg der Transgene bei ausgewählten Herbivoren und carnivoren Nützlingen analysiert. Es muss immer ein fairer Vergleich zu den nicht-transgenen Kulturpflanzen und den dabei noch notwendigen Pestizid- oder Herbizidsprühungen durchgeführt werden.

7.3 Das Biodiversitäts-Monitoring des BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft)

Aus der Erhebung für das Biodiversitäts-Monitoring müssen ausgewählte Parameter für das GVO-Monitoring übernommen werden. Das Monitoring transgener Pflanzen sollte unbedingt mit dem Biodiversitäts-Monitoring koordiniert werden, um Kosten zu sparen. Folgende Indikatoren des Biodiversitäts-Monitorings aus dem Konzept von Hintermann et al. (1999) sind für ein GVO-Monitoring geeignet.

Will man die Wirkung von GVO-Pflanzen, ihrer eventuellen Hybriden mit Wildpflanzen auf die Biodiversität untersuchen, muss vom Konzept der Indikatorpflanzen ausgegangen werden, denn wenn man die gesamte Biodiversität einbeziehen wollte, würde der Aufwand astronomisch gross. Auch im Artenschutz geht man von einer solchen Strategie aus, gilt es doch, möglichst flächendeckend und doch mit konkreten Angaben und *innert nützlicher Frist* zu Beurteilungen zu kommen. Es werden im Folgenden einige wenige Parameter vorgeschlagen, die in diesem Zusammenhang von Wichtigkeit sein werden:

Es wird dabei vor allem von den gefährdeten Wildpflanzen ausgegangen, die am ehesten sensibel auf eventuelle Störungen reagieren könnten. Allerdings muss dabei der Nachweis erbracht werden, dass die Störungen im effektiven Zusammenhang mit dem Anbau von GVO-Pflanzen steht. Wiederum drängt sich ein fairer Vergleich von GVO – und Nicht - GVO – Pflanzen auf. Eine Übernahme der Biodiversitäts-Monitoring-Methodik des Artenschutzes drängt sich auch deshalb auf, weil so gesicherte Vergleiche zu Situationen ermöglicht werden, die weitab vom Einsatz von GVO-Pflanzen zu liegen kommen.

7.3.1 Bilanz der Gefährdungsveränderungen

(Indikator Z5 in Hintermann et al. 1999)

Definition: Zahl der Arten, deren Gefährdung in der Schweiz um eine Stufe abgenommen hat, minus Zahl der Arten, deren Gefährdung um eine Stufe zugenommen hat.

Arten, deren Gefährdungsstufe um zwei (drei) Einheiten verändert ist, werden doppelt (dreifach) gezählt. Damit wird der wohl wichtigste Parameter erfasst, denn es geht beim Biodiversitätsmonitoring bezüglich GVO-Pflanzen genau um diese eventuellen Veränderungen der Wildflora.

7.3.2 Bestandstrends ausgewählter bedrohter Arten

(Indikator Z6 in Hintermann et al. 1999)

Definition: Steigerung der Regression eines Indikators der Bestandesgrösse jeder ausgewählter Art in der betrachteten Region für die zurückliegenden 10 Jahre.

Der Bezugszeitraum entspricht jenem für die neuen Kriterien der roten Liste des IUCN World Conservation Union. Nur wenn sich Arten sehr stetig verhalten, kann die Aufnahmeperiode auf 10 Jahren belassen werden, empfehlenswert sind Perioden von 1-2 Jahren. Empfohlene Bezugsgrösse: Individuen pro Hektare.

Priorität der Artenwahl aus den entsprechenden Roten Listen:

1. weltweit gefährdete Arten
2. europaweit gefährdete Arten
3. schweizweit gefährdete Arten

7.3.3 Bestandstrends ausgewählter weitverbreiteter oder häufiger Arten

(Indikator Z8 in Hintermann et al. 1999)

Erfassen von wilden Verwandten der in der Schweiz angebauten Kulturpflanzen, in Zusammenarbeit mit dem Centre du Réseau Suisse de Floristique in Genf (Beat Bäumler).

Besonders berücksichtigt sollten auch ausgewählte invasive Arten werden, die in starker Ausbreitung begriffen sind. Das Ziel einer solchen, *nicht* im Zusammenhang mit transgenen Kulturpflanzen stehenden Dynamik-Erfassung wäre es, die Prozesse von Pflanzen-Invasionen besser zu verstehen und dabei jene Nischen ausfindig zu machen, die künftigen Invasionen besonders ausgeliefert sind (Haber 1997) Hier handelt es sich klar um eine grundlegende Begleitforschung, deren Resultate nicht alleine von einem Biodiversitäts-Monitoring erfasst werden können und die auch in verschiedenen anderen Zusammenhängen des Artenschutzes und der Vegetationsökologie von grossem Interesse sind. Wir schlagen deshalb vor, hier die konkrete Zusammenarbeit zu suchen mit dem eigentlichen Biodiversitäts-Monitoring-Programm, initiiert durch die Schweizerischen Behörden im Zusammenhang mit der Biodiversitäts-Konvention.

7.3.4 Erfassen des potentiellen Genflusses mittels der holländisch-schweizerischen Methode der Risikocodes

Der Kürze halber sei hier auf die Arbeit von Ammann et al. (1996) hingewiesen. Es geht dabei prinzipiell um eine Methodik, die für eine bestimmte transgene Kulturpflanze und eine bestimmte Gegend aus drei Risiko-Codes (Auskreuzung, Samenausbreitung, Häufigkeit) den potentiellen Genfluss erfasst. Es lässt sich aus Herbar- und Verbreitungsdaten, kombiniert mit der morphometrischen und molekularbiologischen Analyse der Hybriden in Feld-Transekten und Kreuzungsexperimenten die Dynamik des vertikalen Genflusses bestimmen. Die Arbeit kann auch direkt im Internet gelesen werden: <http://www.bats.ch/data/english/k3titel.htm>.

Sie ist ganz im Sinne des gesetzlich vorgeschriebenen Vorsorgeprinzips anwendbar, lange bevor die ersten Freisetzungen erfolgen.

8 Ökologie-Monitoring

Das Ökologie-Monitoring soll im Schwerpunkt Ackerbausysteme betreffen und sollte die folgenden Inhalte umfassen:

- Bodenfruchtbarkeit aufgrund von ausgewählten Bioindikatoren (Kollembolen, eventuell auch Mykoflora).

- Abbau und Anreicherung von GVO – Produkten oder Ersatzprodukten wie Pestizide und Herbizide im Boden.
- Grundwasseruntersuchungen innerhalb und ausserhalb der Verdriftungszone.
- Veränderung der Bodenstrukturen und der Erosionsverhältnisse.

Das Thema Ökologie-Monitoring wurde in einer weiteren Studie umfassend, aber noch nicht auf das anwendbare Mass reduziert, dargestellt (Raps et al. 1998). Es gibt ähnliche solche Studien aus den deutschen Bundesämtern. Viele der in solchen Studien beschriebenen Parameter sollten unbedingt auch auf die Risikostudien bezüglich der Mutantenzuchten angewendet werden. Daraus ergibt sich aber auch die Notwendigkeit, entlang dieser Unterscheidungskriterien den Parametersatz zu reduzieren.

9 Gebietsabgrenzung des Ökologie- und Biodiversitäts - Monitorings

Das Gebiet des Monitorings muss die Ackerflächen und deren mögliche physiko-chemischen und biologischen Einflusszonen in der Natur umfassen. In der Regel genügen jene Zonen, die durch möglichen vertikalen Genfluss gegeben sind. Für diese Zonengrösse kann als Orientierungshilfe jene Distanz herangezogen werden, die bei der Saatgutproduktion zur Erhaltung der reinen Sorten eingehalten wird. Das Biodiversitäts-Monitoring sollte im Wesentlichen in naturnahen benachbarten Räumen von höchstens einigen wenigen Kilometern stattfinden.

10 Bezug des Monitorings auf Null - Vergleichsflächen (-Proben)

Das Monitoring muss sich immer auch auf Nullproben beziehen, d.h. auch auf nicht-transgene Nutzpflanzen unter realen Verhältnissen der integrierten Produktion. Ideal wäre auch eine mindestens teilweise realisierbare Vergleichsmöglichkeit mit dem Biolandbau. Es würde wissenschaftlich eine enorme Chance vertan, wenn der Grundsatz des Nullproben-Vergleichs nicht beachtet wird. In der ökologischen Begleitforschung (und übrigens auch in den Umfragen zu Gentechnik) gibt es leider zu viele Studien, die diesen einfachen Grundsatz der Wissenschaftlichkeit vernachlässigen.

11 Finanzierungsmodus

Die Finanzierung muss so gestaltet werden, dass sich zwar alle Mitverantwortlichen beteiligen, dass aber die Resultate des Monitorings unabhängig publiziert werden können. Wir schlagen deshalb eine Stiftung vor, die von Industrie, Staat und dem Schweizerischen Nationalfonds (für Projekte mit Grundlagenforschungs-Charakter) gemeinsam getragen wird. Eine eventuelle Trägerschaft und Koordination durch die Schweizerische Akademie der technischen Wissenschaften wäre zu diskutieren.

12 Literatur

AMMANN K., JACOT Y., RUFENER AL MAZYAD P. 1996. Field release of transgenic crops in Switzerland: An ecological assessment of vertical gene flow. In: Schulte E. und Käppeli O. (Hrsg.) Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Schwerpunktprogramm Biotechnologie, BATS, Basel, p.101-157

<http://www.bats.ch/data/english/k3titel.htm>

- AMMANN K., JACOT Y., SIMONSEN V., G. KJELLSON 1999 (Hrsg.). Methods for Risk Assessment of Transgenic Plants III. Ecological risks and prospects of transgenic plants, where do we go from here ? A dialogue between biotech industry and science. Proceedings of the Bern International Conference, 28.-31. January 1998, Berne, Switzerland. Birkhäuser, Basel. 272 pages: Final summary of the conference.
- BARTSCH D., HAAG C. 1996. Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen. Arbeitstagung am 5.-6. Oktober in Berlin. Texte 58/96, ISSN 0722-186X. Umweltbundesamt, 204 Seiten.
- BARTSCH D., SCHUPHAN I. 1998. Zu Umweltproblemen der Freisetzung und des Inverkehrbringens gentechnisch veränderter Pflanzen: Bewertung und Einschätzung möglicher Probleme für Mensch und Umwelt aus ökologischer und pflanzenphysiologischer Sicht. Metzler-Poeschel, Stuttgart ISBN 3-8246-0564-3, 51-128.
- BURRIS R. ET AL. 1989. Field testing genetically modified organisms, framework for decisions. National Research Council. National Academy Press, Washington, 170 p.
- BUTLER D., REICHHARDT T., ABBOTT A., DICKSON D., ASAKO S. 1999. Long-term effect of GM crops serves up food for thought. Nature Vol. 398, 22. April 1999, p. 651-658.
- GIANESSI L.P., CARPENTER J. E. 1999 (JULY). Agricultural Biotechnology: Insect Control Benefits. Preparation of this report was supported financially by the Biotechnology Industry Organization (BIO) National Center for Food and Agricultural Policy 1616 P Street, NW, First Floor Washington, DC 20036 Tel: 202-328-5048 Fax: 202-328-5133
- GIDDINGS G. 1999. The role of modelling in risk assessment for the release of genetically engineered plants. In: Ammann K., Jacot Y., Simonsen V. und Kjellson G. (eds). Methods for risk assessment of transgenic plants III. Ecological risks and prospects of transgenic plants, where do we go from here ? A dialogue between biotech industry and science. Proceedings of the Bern International Conference, 28.-31. January 1998, Berne, Switzerland. Birkhäuser, Basel
- HABER E. 1997. Guide to Monitoring Exotic and Invasive Plants. Ecological Monitoring and Assessment Network Environment Canada (EMAN). EMAN Homepage, <http://www.cciw.ca/eman-temp/research/protocols/exotic/intro.html>
- HINTERMANN & WEBER AG, LOCHER, BRAUCHBAR & PARTNER 1999. Biodiversitäts-Monitoring Schweiz, Bericht über den Stand des Projekts Ende 1998. Ein Projekt des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), email: reinach@hintermannweber.ch
- KÄPPELI O., SCHULTE E. 1998. Bio- und Gentechnologie II, Technikbeurteilung offener Systeme. vdf, Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 71 Seiten.
- LEIGH R.A., JOHNSTON A.E. 1994. Long-term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences. Proceedings of a conference to celebrate the 150th Anniversary of Rothamstead Experimental Station, held at Rothamsted 14 – 17 July 1993. CAB International, ISBN 0 851 198 933 0
- LIEBENDÖRFER L., HERZIG R., URECH M., AMMANN K. 1988. Evaluation und Kalibrierung der Schweizer Flechten-Indikationsmethode mit wichtigen Luftschadstoffen. Staub-Reinhalung der Luft 48, S. 233-238.
- LOSEY J., RAYNOR L., CARTER, M. 1999. Negative impact of transgenic pollen on monarch butterflies. Nature 399, 214

- MIEHE A. (HRSG.) 1998. Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen. Dokumentation eines Fachgesprächs des Umweltbundesamtes am 4. und 5. Juni 1998. Umweltbundesamt, Texte 77/98, 183 Seiten.
- MILLER HENRY I. 1996. Policy Controversy in Biotechnology: An Insiders View. Landes Bioscience. ISBN 0-12-496725-6, 221 pp.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL 1989. Field Testing Genetically Modified Organisms. Framework for Decisions. National Research Council, National Academy Press, Washington. ISBN 0-309-0476-0, 170 pp.
- NÖH I. 1996. Risikoabschätzung bei Freisetzungen transgener Pflanzen: Erfahrungen des Umweltbundesamtes beim Vollzug des Gentechnik-Gesetzes (GenTG). In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen, UBA-Texte 58: 9-26.
- OECD 1993. Traditional crop breeding: A historical review to serve as a baseline for assessing the role of modern biotechnology. OECD, Paris, Head of Publication Service OECD, 2, rue André Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France, ISBN 92-64-14047-6, 235 pp.
- PRIMACK R. 1996. Naturschutzbiologie, Spektrum Heidelberg, Berlin, Oxford, 713 S; Seite 173.
- PÜHLER A. 1998. Zu Umweltproblemen der Freisetzung und des Inverkehrbringens gentechnisch veränderter Pflanzen: Einfluss von freigesetzten und inverkehrgebrachten gentechnisch veränderten Organismen auf Mensch und Umwelt. Metzler-Poeschel Stuttgart, ISBN 3-8246-0564-3, S. 1-50.
- RAPS A., HILBECK, A., BIGLER F., FRIED P. M., MESSMER, M. 1998. Konzept und praktische Lösungsansätze zur anbaubegleitenden Forschung beim Einsatz transgener Kulturarten, 96 Seiten. Fachstudie zum TA-Projekt Nachhaltige Landwirtschaft 1997-1999. BATS Basel
- RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN 1998. Umweltgutachten 1998, Umweltschutz, Erreichtes Sichern – Neue Wege gehen. Metzler Poeschel Stuttgart, 2. 1998, ISBN 3-8246-0561-9. Darin Kapitel 3.2: Umweltprobleme der Freisetzung und des Inverkehrbringens gentechnisch veränderter Pflanzen, gestützt auf die beiden externen Gutachten Pühler und Schuphan et al. 1998.
- RUFENER AL MAZYAD P., AMMANN K. 1998. Monitoring in der Kommerzialisierungsphase transgener Nutzpflanzen – Ein Bericht zur internationalen Konferenz in Bern vom Januar 1998. In: Umweltbundesamt (Hrsg.) Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen. Dokumentation eines Fachgesprächs des Umweltbundesamtes am 4. und 5. Juni 1998. Umweltbundesamt, Texte 77/98, S. 18–25.
- SCHIEMANN J. 1998. Biologische Sicherheit. Proceedings zum BMBF-Workshop 25. – 26. Mai 1998 in Braunschweig. bmb+f Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. BEO, Projektträger Biologie, Energie, Umwelt des BMBF, Forschungszentrum Jülich GmbH, ISBN 3-89336-234-7
- SHELTON A., ROUSH R. 1999. False reports and the ears of men. Commentary, Nature Biotechnology Vol. 17, No.9, p. 832
- SUKOPP U., SUKOPP H. 1997. Ökologische Dauerbeobachtung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Sonderheft 3/1997: 53-70.

TRAYNOR PATRICIA L., WESTWOOD JAMES H. 1999. Ecological Effects of Pest Resistance Genes in Managed Ecosystems. January 31 – February 3, 1999. Information Systems for Biotechnology. Blacksburg VA 24061, USA., www.isb.vt.edu.

UMWELTBUNDESAMT (HRSG.) 1995. Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen. Arbeitstagung 5.-6. Oktober 1995 in Berlin. 204 Seiten. Siehe Bartsch und Haag.

UMWELTBUNDESAMT (HRSG.) 1998. Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen, UBA-Texte 58/98

VAN DOMMELEN A., 1999. Hazard identification of agricultural biotechnology. Finding relevant questions. International Books 1999 ISBN 90-5727-034-X. 238 pp.

VIRGIN IVAR, FREDERICK ROBERT J. Biosafety Capacity Building: Evaluation Criteria Development. SEI, Stockholm Environment Institute, Biotechnology Advisory Commission, ISBN 91 88714 29 2, <http://nn.apc.org/sei/bac.html>

Vorgeschlagene Kontaktadressen (siehe Kapitel 5)

1. Dr. Detlef Bartsch Rheinisch-Westfälische TH Aachen Lehrstuhl für Biologie V Ökologie, Ökotoxikologie, Ökochemie Worringerweg 1 D 52056 AACHEN, Deutschland Tel. +49 241 80 66 76 priv. +31 43 306 52 25 Fax +49 241 888 81 82 email bartsch@rwth-aachen.de
2. Herrn Prof. Dr. Heinz Saedler Max Planck Institut für Züchtungsforschung, Carl-von-Linné Weg 10, D-50829 KÖLN, Deutschland Tel. +49 221 506 21 00, priv. Fax +49 221 506 21 13 email saedler@mpiz-koeln.mpg.de
3. Frau Dr. Margit Laimer da Camara Machado Hochschule für Bodenkultur Nussdorfer Laendle 11 A 1990 WIEN, Österreich Tel. +43 1 360 066 560 priv. Fax +43 1 369 76 15
4. Dr. Marc Deragon Université Blaise Pascal UMR6547 GEEM Biomove CNRS 24, Avenue des Landais Cédex F 63177 AUBIERE, Frankreich Tel. +33 4 73 40 77 52 priv. Fax +33 4 73 40 77 77 email deragon@cicsun.univ-bpclermont.fr
5. Dr. Philip Dale John Innes Centre Institute of Plant Science Transformation & Biosafety Colney Lane GB NR4 7UH NORWICH, Grossbritannien Tel. +44 1603 452 571 priv. Fax +44 1603 456 844 email phil.dale@bbsrc.ac.uk
6. Frau Dr. Marina Johannessen Risø National Laboratory Plant Biology and Biogeochemistry Dept. DK 4000 ROSKILDE, Dänemark Tel. +45 46 77 41 24, Fax +45 46 77 41 22 email marina.johannessen@risoe.dk
7. Herrn Dr. Franz Bigler Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau Reckenholzstr. 191/211 Reckenholz CH 8046 ZÜRICH, email Franz.Bigler@fal.admin.ch
8. Herrn Dr. Joachim Schiemann Federal Biology Resources Center Messeweg 11-12 D 38104 BRAUNSCHWEIG, Deutschland Tel. +49 531 299 38 00 Fax +49 531 299 30 13 email: j.schiemann@bba.de
Frau Dip. biol. Ingrid Nöh Umwelt-Bundesamt Fachgebietsleiterin Vollzug GenTG Seeckstr. 6-10, Postfach 33 00 22 D 14191 BERLIN, Deutschland Tel. +49 30 89 03 32 50 priv. Fax +49 30 89 03 32 52 email ingrid.noeh@uba.de
9. Herrn Dipl. Ing. Josef Schmidt Austrian Research Centers Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf Ges. m.b.H. A 2444 SEIBERSDORF, Österreich Tel. +43 2254 780 35 19 priv. Fax +43 2254 780 36 53 email josef.schmidt@arcs.ac.at

10. Dr. Anne-Marie Chèvre I.N.R.A. Station d'Amélioration des Plantes B.P. 29 F 35650 LE RHEU, Frankreich Tel. +33 299 28 51 31 priv. Fax +33 299 28 51 20 email chevre@rennes.inra.fr
11. Herrn Dr. sc. nat. Paul Steffen Bundesamt für Landwirtschaft Mattenhofstr. 5 CH 3003 BERN, Tel. +41 (0)31 322 25 74 priv. +41 (0)62 823 21 20 Fax +41 (0)31 322 26 34 email paul.steffen@blw.admin.ch
12. Herrn Dr. François Pythoud OFEFP BUWAL CH 3003 BERN, Tel. +41 (0)31 322 93 95 priv. Fax +41 (0)31 322 99 81 email francois.pythoud@buwal.admin.ch
13. Frau Dr. Patricia Ahl Goy Novartis Rosenthal, Gbd. 1004.827 CH 4002 BASEL, Tel. +41 (0)61 697 51 64 priv. Fax email patricia.ahlgoy@seeds.novartis.com
14. Dr. Thomas Nickson Monsanto Company 700 Chesterfield Parkway North Missouri USA 63198 ST. LOUIS, U.S.A. Tel. +1 314 694 21 79 priv. +1 314 453 93 47 Fax +1 314 737 61 89 email thomas.nickson@monsanto.com
15. Herrn Dr. Dirk Toet NESTEC AG Avenue Nestlé 55 CH 1800 VEVEY, Tel. +41 (0)21 924 42 55 priv. Fax +41 (0)21 92428 26 email dirk-arie.toet@nestle.com
16. Herrn Josef Wüest Vizedirektor Schweizerischer Bauernverband Laurstrasse 10 CH 5201 BRUGG, Tel. +41 (0)56 462 51 11 priv. Fax +41 (0)56 441 53 48 email
17. Herrn Dr. Urs Niggli Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Fachgruppe Nützlingsförder- ung und Pflanzenschutz Ackerstr. Postfach CH 5070 FRICK, Tel. +41 (0)62 865 72 72 priv. Fax +41 (0)62 865 72 73 email niggli@fibl.ch
18. Herrn dipl.nat.ETH Beat Jahn Zentralsekretariat Pro Natura Schweiz Wartenbergstr. 22 CH 4020 BASEL, Tel. +41 (0)61 317 91 91 priv. Fax +41 (0)61 317 91 66 email mailbox@pronatura.ch
19. Frau Bernadette Oehen World Wildlife Fund Schweiz Hohlstrasse 110, Postfach CH 8010 ZÜRICH, Tel. +41 (0)1 297 22 38 priv. Fax +41 (0)1 297 21 00 email bernadette.oehen@wwf.ch
20. Herrn PD Dr. Daniel Ammann Büro für Umweltchemie Rindermarkt 8 CH 8001 ZÜRICH, Tel. +41 (0)31 priv. +41 (0)1 262 76 83 Fax email bfuzh@access.ch

Konzept und praktische Lösungsansätze zur anbaubegleitenden Forschung beim Einsatz transgener Kulturarten³¹

A. RAPS, A. HILBECK, F. BIGLER, P.M. FRIED, M. MESSMER

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL)
8046 Zürich

Zusammenfassung

1 Einleitung

2 Zulassungsverfahren

3 Zielmerkmale für Transformationen

4 Anbaubegleitende Forschung und Monitoring

4.1 Forschung nach der Zulassung – Warum?

4.2 Begleitforschung nach der Zulassung und Monitoring

4.3 Auswahl der Parameter im Hinblick auf eine nachhaltige Landwirtschaft

4.4 Anbaubegleitende Forschung und Monitoring – was muss beobachtet werden?

4.4.1 Kulturpflanze

4.4.2 Gene und Genprodukte

4.4.3 Umweltauswirkungen

4.4.4 Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit

5 Fallbeispiel Mais (*Zea mays* L.) mit Insektenresistenz

6 Fallbeispiel Weizen mit Pilzresistenz (Überexpression von Chitinase)

7 Fazit und Empfehlungen

8 Literatur

³¹ Zusammenfassung der Fachstudie von Raps et al. (1999), BATS Report 2/6, 96 S. (siehe Kapitel 8)

Zusammenfassung

Aufgrund der Neuartigkeit der möglichen Merkmalskombinationen und aufgrund mangelnder Erfahrung im Umgang mit transgenen Pflanzensorten sind bei einem grossräumigen Anbau von transgenen Pflanzen mögliche Langzeitfolgen für Mensch und Umwelt schwer vorhersehbar. Um Verantwortung für die neue Technologie zu übernehmen, sollte deshalb der Anbau transgener Sorten nach der Zulassung durch Begleitforschung bzw. Monitoring überwacht werden. Obwohl die Notwendigkeit der anbaubegleitenden Forschung allgemein anerkannt wird und dieses in einigen Ländern bereits gesetzlich verlangt wird, ist es bis jetzt jedoch nicht geklärt, wie ein Monitoring konkret aussehen könnte bzw. welche Parameter untersucht werden sollten. In unserer Teilstudie wird ein Konzept für ein agrarökologisches Monitoring unter besonderer Berücksichtigung einer nachhaltigen Landwirtschaft vorgestellt. Es werden Parameter aufgelistet, welche dazu beitragen, das Potential von transgenen Pflanzen für eine umweltverträgliche und nachhaltige Landwirtschaft zu evaluieren und ökologische Auswirkungen so früh wie möglich zu erkennen. Darüber hinaus werden die verschiedenen Zulassungsverfahren für Freisetzungsexperimente und das Inverkehrbringen von transgenen Pflanzen in den USA, der EU und der Schweiz dargestellt. Die vorgeschlagenen Parameter für anbaubegleitende Forschung und Monitoring beziehen sich auf das Agrarökosystem und umfassen Aspekte der Kulturpflanze, der eingebrachten Gene und Genprodukte, Umweltauswirkungen und agronomische Aspekte. Anhand der Fallbeispiele insektenresistenter Bt-Mais und pilzresistenter Weizen wird dargestellt, wie diese Begleitforschung in der Praxis aussehen könnte.

1 Einleitung

Die Biotechnologie ist dabei, eine der bedeutendsten Technologien dieses Jahrhunderts zu werden. So wurden dank bio- und gentechnischer Methoden gerade in den letzten Jahren beträchtliche Fortschritte, v.a. in der Medizin und Pharmazie erreicht. Auch in der Landwirtschaft werden in der modernen Pflanzenzüchtung vermehrt biotechnologische Methoden angewandt und die Entwicklung neuer, transgener Pflanzensorten ist während der letzten 25 Jahren rasant fortgeschritten: Im Jahr 1983 gelang zum ersten Mal die Übertragung von Genkonstrukten fremder Herkunft in Pflanzenzellen und bereits drei Jahre später, 1986, erfolgte in Belgien, 1987 in den USA die erste Freisetzung einer transgenen Pflanze. Seitdem wurden bis letztes Jahr weltweit ca. 25'000 Freisetzungsexperimente durchgeführt und im Jahre 1990 wurde in China, 1994 in den USA die erste transgene Pflanzensorte für den Anbau zugelassen. Von den weltweit wichtigen Kulturarten sind es heute 8 Arten, von denen gentechnisch veränderte Varietäten für den Markt zugelassen sind: Baumwolle, Kartoffel, Mais, Raps, Sojabohne, Tabak, Tomate und Zuckerrübe. In der Schweiz ist noch keine transgene Pflanzensorte für den Anbau freigegeben. Es fanden bis jetzt lediglich zwei Freisetzungsexperimente mit virusresistenten Kartoffeln in den Jahren 1991 und 1992 statt.

Weltweit wird den neuen, transgenen Pflanzensorten ein enormes Potential zur Ernährungssicherung und zur Durchsetzung einer umweltverträglichen, nachhaltigen Landwirtschaft zugesprochen. Darüber hinaus steckt auch ein starkes Interesse von Seiten der Industrie in neuen Pflanzensorten, die in ferner Zukunft transgene Pflanzen als günstige Produktionsstätten von industriellen Produkten (Öle, Bioplastik) oder Pharmazeutika ansehen. Es ist jedoch gerade diese Neuartigkeit und Vielfalt von Merkmalskombinationen und Stoffen, ermöglicht durch die Übertragung von Genen über

Art-, Klassen- ja sogar Reichsgrenzen hinweg, die auch unerwünschte ökologische Nebeneffekte verursachen können und damit unter Umständen eine nachhaltige Produktion eher gefährden können. Um derartige unerwünschte Nebenwirkungen auf die Umwelt und auch die menschliche Gesundheit möglichst vor der Zulassung umfassend abzuklären, sind in den einzelnen Ländern der EU und in der Schweiz für diese neuen Pflanzensorten spezielle Zulassungsverfahren entwickelt worden.

Bei den Untersuchungen, die über die Inverkehrbringung einer transgenen Pflanzensorte entscheiden, handelt es sich um Labor- und Freisetzungsversuche, die zeitlich und räumlich begrenzt sind und nur mit der Auflage von Sicherheitsmassnahmen zur Minimierung der Ausbreitung und Persistenz der Pflanzen, der Gene und der Genprodukte durchgeführt werden dürfen. Sind die Pflanzen jedoch einmal für den Markt zugelassen, entfallen alle räumlichen und zeitlichen Beschränkungen, die Pflanzen werden Teil des Ökosystems und interagieren weiträumig und langfristig mit der Artengemeinschaft im Agrarraum. Aus räumlich und zeitlich begrenzten Experimenten lässt sich nur schwer auf langfristige Umweltwirkungen schliessen. Darüber hinaus erschweren unzureichende Kenntnisse über ökologische und evolutive Prozesse im Agrarökosystem aufgrund der komplexen Zusammenhänge und mangelnde Erfahrung im Umgang mit den neuen Pflanzensorten die Abschätzung von langfristigen Auswirkungen. Aus der Sicht der Umweltvorsorge ergibt sich dadurch zwangsläufig die Forderung, das Verhalten dieser Pflanzen auch nach der Zulassung anbaubegleitend zu beobachten und zu untersuchen. Diese Forderung wird in vielen Ländern akzeptiert und man ist darum bemüht, ihr nachzukommen und Konzepte für eine anbaubegleitende Forschung zu entwickeln.

Dieses Kapitel ist eine Zusammenfassung der Teilstudie 2/6 des TA-Projekts *Nachhaltige Landwirtschaft* „Konzept zur agrarökologischen Begleitforschung beim Anbau transgener Pflanzen in der Schweiz“, in der alle hier angesprochenen Aspekte ausführlicher dargestellt und die Hintergründe und der aktuelle Stand der Forschung mit Referenzen belegt sind. Mit diesem ersten Schritt sollten die Untersuchungsparameter ausgewählt werden, die es erlauben, sowohl den Nutzen als auch den Schaden neuer Pflanzensorten im Rahmen der Integrierten Produktion (IP) für die Landwirtschaft zu dokumentieren. Die Vergleichsbasis stellt dabei die Integrierte Produktion (IP) ohne transgene Pflanzen dar. Bei der Auswahl der zu untersuchenden Parameter wurde das Leitbild der Nachhaltigkeit berücksichtigt (vgl. Maeschli (1998), BATS Report 1/6) und in das vorgeschlagene Konzept integriert. Darüber hinaus wurde die Auswahl der Parameter in Anlehnung an die Zulassung für Pflanzenschutzmittel getroffen, da bei der Ausarbeitung des Konzeptes oftmals Parallelen zu diesem Bereich aufgetreten sind. Häufig wird der Einwand erhoben, warum nur für transgene Sorten ein Monitoring und anbaubegleitende Forschung gefordert wird, bei konventionell gezüchteten Sorten dagegen darauf verzichtet wird. Doch statt mit diesem Argument ein Wegfallen von Begleitforschung an transgenen Pflanzen zu rechtfertigen, sollte sie vielmehr als ein Anstoss und Auslöser für allgemeine agrarökologische Forschung angesehen werden, die zum Teil ebenso bei konventionell gezüchteten Sorten gerechtfertigt wäre. In diesem Sinne stellen transgene Pflanzen gewissermassen ‘Markerpflanzen’ für die Untersuchung ökologischer und evolutiver Prozesse im Agrarraum dar.

In der dieser Zusammenfassung zugrunde liegenden Fachstudie von Raps et al. (1998) (BATS Report 2/6, siehe Hauptkapitel 8) wird auf die landwirtschaftliche Situation in der Schweiz sowie auf die Zulassungsverfahren in den USA, in der EU und in der Schweiz eingegangen. Anschliessend werden die Pflanzen, die v.a. in den USA und in der EU zur Zeit für den Anbau zugelassen sind, bzw. die sich im Zulassungsverfahren befinden, aufgelistet und die Freisetzungen weltweit beschrieben. Im Hauptteil werden die

Untersuchungsparameter beschrieben, die auf lange Sicht als relevant angesehen werden, das Potential transgener Sorten für eine nachhaltige Landwirtschaft zu charakterisieren. Auswirkungen des Anbaus transgener Sorten auf Naturräume wurden in dieser Studie bewusst ausgeklammert, da sie Gegenstand der Fachstudie von Ammann et al. (1999) (BATS Report 6/6, siehe Hauptkapitel 5) sind. Das Konzept für die agrarökologische Begleitforschung beim Anbau von transgenen Pflanzen wird an zwei Beispielen, dem Bt-Mais und pilzresistentem Weizen, veranschaulicht.

2 Zulassungsverfahren

In den USA werden gentechnisch veränderte Organismen (GVO), in diesem Fall speziell Pflanzen, nicht grundsätzlich verschieden von herkömmlich gezüchteten oder natürlich vorkommenden Pflanzen angesehen. Aus diesem Grunde wurde keine spezielle Gesetzgebung entwickelt, sondern die Freisetzung und das Inverkehrbringen transgener Organismen werden durch bereits bestehende Gesetze, die an die neuen Techniken angepasst wurden, geregelt. Die drei wichtigsten Behörden, die mit den Belangen der Biotechnologie zu tun haben, sind: das „U.S. Departement of Agriculture“ (USDA), die „Environmental Protection Agency“ (EPA) und die „Food and Drug Administration“ (FDA). Das USDA ist hauptsächlich verantwortlich für Auswirkungen auf die Landwirtschaft, die EPA für Auswirkungen auf die Umwelt und, was Pestizidrückstände in Kulturpflanzen betrifft, für die menschliche Gesundheit. Die FDA schliesslich ist verantwortlich für Gesundheitsaspekte von Nahrungspflanzen.

Bestimmend für die Freisetzung und das Inverkehrbringen von GVOs in den EU-Ländern ist die Richtlinie des Europäischen Rates vom 23.4.1990 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt (90/220/EWG). Diese Richtlinie wurde am 15.4.1994 an den technischen Fortschritt angepasst (Richtlinie 94/15/EG) und deren Anhang II, in dem Informationsanforderungen im Hinblick auf die Anmeldung einer absichtlichen Freisetzung enthalten sind, geteilt. Seitdem sind die Anforderungen für genetisch veränderte höhere Pflanzen separat aufgelistet. Die Angaben, die in diesem Teil enthalten sein müssen, stimmen überein mit den geforderten Daten in der Schweiz. Zur Zeit befindet sich die Richtlinie 90/220/EWG in der Revision. Die Europäische Kommission hat kürzlich einen Vorschlag zur Änderung der Richtlinie veröffentlicht, der die Pflicht zur Beobachtung (Monitoring) von GVO nach der Lancierung auf dem Markt vorsieht.

Grundlage für die geltende Gesetzgebung in der Schweiz zur Gentechnik im ausserhumanen Bereich ist der Artikel 24^{novies} Absätze 1 und 3 der Bundesverfassung vom 17. Mai 1992, der lautet:

¹ *Der Mensch und seine Umwelt sind gegen Missbräuche der Fortpflanzungs- und Gentechnologie geschützt.*

³ *Der Bund erlässt Vorschriften über den Umgang mit Keim- und Erbgut von Tieren, Pflanzen und anderen Organismen. Er trägt dabei der Würde der Kreatur sowie der Sicherheit von Mensch, Tier und Umwelt Rechnung und schützt die genetische Vielfalt der Tier- und Pflanzenarten.*

Mit der sogenannten Gen-Lex-Motion werden - neben dem Tierschutzgesetz, dem Natur- und Heimatschutzgesetz, dem Lebensmittelgesetz und dem Landwirtschaftsgesetz - vor allen Dingen das Umweltschutzgesetz USG (seit 1.7.1997 in Kraft) und das Epidemiengesetz EpG (ebenfalls seit 1.7.1997 in Kraft) revidiert. Die ausserhumane Gentechnologie ist heute vor allem durch das Umweltschutzgesetz geregelt, welches durch

den Einbezug der Würde der Kreatur und der biologischen Vielfalt sowie deren nachhaltigen Nutzung ergänzt wurde. Das schweizerische Recht wird, was die Verordnungen betrifft, den Grundzügen und den Standards des EG-Rechts entsprechen. Es geht darüber hinaus, wo es die Wahrung der biologischen Vielfalt und die Würde der Kreatur in der Bundesverfassung und den Grundsatz der Nachhaltigkeit gesetzlich festschreibt und dass es neben gentechnisch veränderten Organismen auch alle pathogenen Organismen berücksichtigt.

Zum Schutz des Menschen und seiner Umwelt vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen hat der Bundesrat Entwürfe für drei Verordnungen (Einschliessungsverordnung ESV, Freisetzungsverordnung FSV und Verordnung über den Schutz der Arbeitnehmerinnen und -nehmer gegen Gefährdung durch Mikroorganismen) zur Vernehmlassung freigegeben. In diesen Verordnungen werden die Gesetzesartikel des Umweltschutzgesetzes und des Epidemiengesetzes konkretisiert. Die Vernehmlassungsfrist ist am 31.3.1998 abgelaufen.

Ziel der Freisetzungsverordnung (FSV) ist der Schutz des Menschen und seiner Umwelt vor lästigen oder schädlichen Einwirkungen, die sich beim Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen in der Umwelt, das heisst ausserhalb von Anlagen und Laboratorien, die als geschlossenen Systeme gelten, ergeben könnten. Sie regelt sowohl die Freisetzungsversuche (Freisetzung zu experimentellen Zwecken) als auch das Inverkehrbringen gentechnisch veränderter oder pathogener Organismen. Die Einfuhr von Organismen ist dabei dem Inverkehrbringen gleichgestellt. Der Schutz umfasst nicht alleine die Verhinderung von Verunreinigungen oder Schäden an der unbelebten Umwelt (Boden, Wasser und Luft), sondern auch die Erhaltung der biologischen Vielfalt von Tieren und Pflanzen sowie die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Bei einem Inverkehrbringen von Organismen wird vom Abgeber eine Selbstkontrolle verlangt. Dies heisst, er muss vorher abklären, welche Auswirkungen diese Organismen auf Mensch und Umwelt haben könnten. Für den Vollzug ist vorgesehen, bestehende Bewilligungsverfahren des Bundes zu nutzen und die neue Bewilligungskompetenz in diese bestehenden Verfahren zu integrieren. Für Freisetzungsversuche zu experimentellen Zwecken ist das BUWAL federführendes Amt.

3 Zielmerkmale für Transformationen

Die wichtigsten Merkmale, die durch Transformation auf Kulturpflanzen übertragen wurden sind Herbizidtoleranz gegenüber den herbiziden Wirkstoffen Bromoxynil, Phosphinothricin (Glufosinate) (Handelsname 'Basta') oder Glyphosat (Handelsname 'Round-up'), Schadinsektenresistenzen verursacht durch Expression von δ -Endotoxinen des Bakteriums *Bacillus thuringiensis*, von Lectinen und Protease-Inhibitoren, sowie Virusresistenzen hervorgerufen durch die Expression von Hüllproteinen (Anhang der Teilstudie 2/6). Bis jetzt ist keine transgene Pflanzensorte mit erhöhter Pilzresistenz für den Anbau zugelassen, es werden aber bereits erste Freisetzungsversuche durchgeführt. Generell kommen für Transformationen in Frage: antifungale Proteine, v.a. Hydrolasen wie Chitinasen, Glucanasen und Proteinasen; fungitoxische Proteine wie Lectine, PR-Proteine und Phenole, und Phytoalexine wie Lignin und Stilben. Daneben werden auch monogene Resistenzen, die nicht nach ihrem Genprodukt, sondern nach ihrer Wirkungsweise (hypersensitive Reaktion) charakterisiert werden, für die Züchtung resistenter Sorten gentechnologisch erforscht. Metabolismusveränderungen betreffen sowohl die Produktequalität als auch agronomische Eigenschaften. Männliche Sterilität bei transgenem Mais und Raps werden durch ein Enzym (Barnase) hervorgerufen, das die Pollenbildung verhindert. Ausserdem wird versucht Nematoden- und Bakterienresistenzen

zu verbessern und die Expression pharmazeutischer Produkte zu entwickeln. Diese spielen zur Zeit noch eine untergeordnete Rolle.

In der Schweiz ist noch keine transgene Pflanzensorte für den Anbau zugelassen. Als Nahrungs- und Futtermittel sind Round-up - tolerante Sojabohnen der Firma Monsanto (seit Dezember 1996) und zwei insektentolerante Maissorten der Firma Novartis (seit Januar bzw. Oktober 1998) freigegeben.

4 Anbaubegleitende Forschung und Monitoring

4.1 Forschung nach der Zulassung - Warum?

Mit anbaubegleitender Forschung nach der Zulassung soll die Verantwortung für eine neue Technologie übernommen werden, deren Langzeitfolgen nicht immer vorhersehbar sind. Auch bei Pflanzenschutzmitteln, deren Einsatz in der Landwirtschaft vergleichbar mit transgenen Pflanzen sehr ähnliche Ziele verfolgt und viele unerwünschte Effekte auf die Umwelt mit sich bringen können, hat es sich bewährt, zuerst provisorische Bewilligungen mit der Auflage eines Monitorings für Spezialfälle auszusprechen, bevor eine unbeschränkte Markteinführung erfolgt.

Oberstes Ziel der Untersuchungen, die im Rahmen des Zulassungsverfahrens durchgeführt werden, ist, dass transgene Pflanzen keine Gefährdung für Mensch und Umwelt darstellen dürfen. Deshalb werden vor dem Inverkehrbringen Toxizität und Allergenität der Genprodukte untersucht (siehe Raps et al. 1998, BATS Report 2/6) und wird die Quantität kritischer Sekundärmetaboliten (zum Beispiel Solanacin in Kartoffeln) im Rahmen von Sortenprüfungen bei neuen Sorten überprüft. Weiterhin werden Informationen zu Wachstum und Fortpflanzung der Pflanze, Wechselwirkungen mit Nicht-Zielorganismen, Transfer von genetischem Material auf andere Organismen oder die Möglichkeit des Auskreuzens verlangt. Basierend auf diesen begrenzten Kurzzeitversuchen sind jedoch aus wissenschaftlicher Sicht mögliche langfristige Auswirkungen aufgrund der Plastizität von Eigenschaften verbunden mit einer hohen Variabilität der Umweltbedingungen nicht vorherzusagen. Mangelnde Erfahrung im Umgang mit gentechnisch veränderten Pflanzen und mangelndes Wissen über ökologische Prozesse von nicht-transgenen Pflanzen im Agrarraum kommen erschwerend hinzu.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass potentiell alle Pflanzenarten, die neu in eine Umgebung eingebracht werden, ein Risiko darstellen können. So können mögliche negative Auswirkungen, z.B. Verwilderung, gleichermassen von transgenen und konventionell gezüchteten Pflanzensorten verursacht werden. Bei der Bewertung von potentiellen Auswirkungen ist es jedoch gerechtfertigt, konventionell gezüchtete und transgene Pflanzen differenziert zu betrachten. Denn die Übertragung und Verbreitung von Eigenschaften über Art- und Reichsgrenzen hinweg, wie sie die Gentechnik erlaubt, wird in ökologische und evolutive Prozesse anders eingreifen als es die züchterische Tätigkeit bis jetzt getan hat. Indem laut diesem Konzept die Begleitforschung an transgenen Pflanzen innerhalb der Integrierten Produktion (IP) im Vergleich zur IP ohne transgene Pflanzensorten durchgeführt werden soll, werden auch konventionell gezüchtete Pflanzen untersucht werden und damit wird allgemeine agrarökologische Forschung durchgeführt werden. Dies erlaubt es zudem, zu überprüfen, inwieweit die gentechnischen Ansätze mit den Zielen der IP verträglich sind. Mögliche negative Auswirkungen auf das Ökosystem, die allgemein thematisiert werden, beziehen sich auf:

- die Kulturpflanze selbst: dies umfasst eine gesteigerte Ausbreitungs- und Verwilderungstendenz der Kulturpflanzen, erhöhte Unkrautgefahr, ungewöhnliche

- Merkmalsausprägungen durch pleiotrope Effekte oder Positionseffekte, Produktion von Stoffwechselprodukten mit toxischem oder allergenem Potential.
- die Gene und Genprodukte: dies betrifft die Genexpression (Niveau, Stabilität, Spezifität und Induktion), die Abbaubarkeit sowohl der DNA als auch der Produkte im Pflanzengewebe und im Boden und den Transfer von DNA auf Bodenorganismen.
 - Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen: diese können vielfältig sein, zum Beispiel die Weitergabe der eingebrachten Eigenschaft(en) auf verwandte Pflanzenarten mit möglichen Konsequenzen (zum Beispiel verbesserte Konkurrenzfähigkeit), unerwartete Nebeneffekte auf Nützlinge und Bienen, aber auch auf Zersetzer wie Regenwürmer oder Springschwänze und Mikroorganismen im Boden und die Vermehrung und Verbreitung sekundärer Krankheitserreger und Schädlinge.
 - unerwünschte Effekte auf Zielorganismen: bei krankheits- und schädlingsresistenten Pflanzen ist zu erwarten, dass sich die Zielorganismen an die pflanzlichen Eigenschaften anpassen und damit die Resistenzmechanismen unwirksam werden. Die Beobachtung dieser Anpassung (Resistenzentwicklung) und deren Vermeidung durch spezielle Managementstrategien sind zur Zeit ein wichtiger, wenn nicht sogar der wichtigste, Gegenstand von Monitoring und Begleitforschung in den USA und in Europa.
 - Entstehen neuer Virusarten: Durch den Anbau von Sorten, die Virushüllproteine exprimieren, kann sich die Wahrscheinlichkeit der Entstehung neuer Virusarten, unter Umständen mit verändertem Wirtskreis, erhöhen.
 - Effekte auf Bodenfruchtbarkeit.

4.2 Begleitforschung nach der Zulassung und Monitoring – Begriffsbestimmung, Ziele, Inhalte

Doch wie soll die anbaubegleitende Forschung aussehen? Es ist allgemein anerkannt, dass Laboruntersuchungen, Begleitforschung und langfristiges Beobachten (Monitoring) zu kombinieren sind, wenn man ökologische Effekte abschätzen will. Begleitforschung wird dadurch charakterisiert, dass die Projekte zeitlich begrenzt und darauf angelegt sind, Kausalzusammenhänge zu belegen. Im Gegensatz dazu zeichnet sich Monitoring dadurch aus, dass die einzelnen Vorhaben zeitlich nicht begrenzt sind und es nicht zwingenderweise Kausalzusammenhänge aufdecken soll. Es handelt sich also um ein reines Beobachten, das im Sinne eines Früherkennungs- oder Warnsystems Veränderungen im Agrarsystem möglichst frühzeitig aufdecken soll. Da Veränderungen oft an nicht vorhersehbaren Orten und/oder Organismen auftreten, sollte das Monitoring grossräumig durchgeführt werden. Da sich voraussichtlich ein stufenweises Vorgehen einbürgern wird und sich ein langfristiges Monitoring in den meisten Fällen erst etablieren wird, wenn die Ergebnisse aus der Begleitforschung Anlass dazu geben, wird in dem von uns vorgeschlagenen Konzept nicht mehr zwischen den beiden Formen unterschieden. Es wird statt dessen allgemein aufgezeigt, welche Prozesse und Auswirkungen nach der Zulassung weiter beobachtet werden sollten.

Es ist grundsätzlich zu bedenken, dass sowohl Begleitforschung als auch ein Monitoring nur sinnvoll sind, wenn über die Bewertung gefundener Effekte ein gesellschaftlicher Konsens herrscht - denn eine ökologische Veränderung wird erst zum Schaden durch die gesellschaftliche Bewertung im Abgleich mit deren Wertevorstellung (Kowarik, 1996) – und wenn geeignete Massnahmen zur Verfügung stehen, die die Auswirkung abschwächen oder ganz beenden, z.B. durch ein Verbot eines weiteren Anbaus.

4.3 Auswahl der Parameter im Hinblick auf eine nachhaltige Landwirtschaft

Bei der Auswahl der Parameter, die im Falle eines Anbaus transgener Pflanzen in der Schweiz zu untersuchen und beobachten sind, haben wir uns einerseits nach den Leitbildern der Nachhaltigkeit und der ökologischen Verträglichkeit gerichtet, andererseits die Erfahrungen aus der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln berücksichtigt. Das Prinzip des 'case-by-case', bei dem jede neue Pflanzensorte nach den Eigenschaften der Pflanze selbst, der eingebrachten Eigenschaft und nach den Bedingungen des Gebietes, in dem sie angebaut werden soll, beurteilt wird, ist abgeändert worden. So wurde eine Liste an Parametern erarbeitet, die für alle Pflanzensorten gültig ist, aus der jedoch einzelne Punkte bei bestimmten Pflanzensorten weggelassen werden können.

Der Aspekt der Nachhaltigkeit war ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl der Untersuchungsparameter, welches sich in der Verwendung von anerkannten Nachhaltigkeits-Indikatoren aus den Bereichen der Ökologie und der Landwirtschaft, wie sie z.B. von der CIAT-UNEP und der UN gelistet werden, widerspiegelt. In Tabelle 1 sind diese Indikatoren dargestellt, wobei die kursiv gesetzten Indikatoren direkt in das Konzept übernommen wurden. In der letzten Spalte der Tabelle sind ausserdem bereits laufende Beobachtungsprogramme der Schweiz aufgelistet. Unseres Erachtens wäre es sinnvoll, Monitoring- Programme von transgenen Pflanzen in diese einzubinden, bzw. mit diesen zu koordinieren.

Tab. 1: Ausgewählte Indikatoren aus dem Bereich „Ökologie“ zur Evaluation der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Massnahmen, die für die schweizerischen geographischen und klimatischen Bedingungen relevant sind. Für jeden Indikator ist die Quelle angegeben sowie bereits in der Schweiz laufende Programme.

	Quelle	Bereits laufende Programme:
BODEN		
Bodenphysik		
Bodentextur, -mächtigkeit	UN, BBW	Es liegen Messdaten über physikalische Bodenbelastungen (Verdichtung, Erosion) auf regionaler und lokaler Ebene vor
<i>Erosion</i>	CIAT-UNEP, BBW	Der Bund ist gesetzlich zur Ermittlung des Bodenabtrags auf Ackerflächen verpflichtet
Bodenchemie		
<i>Schadstoffgehalt</i>	BBW	„Nabo“: seit 1985 nationales Beobachtungsnetz Boden
<i>Nährstoffgehalt</i>	BBW, BDM-CH	
<i>Nährstoffbilanzen</i>	BBW	
<i>Humusgehalt (C_{org})</i>	BBW	
Bodenbiologie	BBW	hier besteht Forschungsbedarf

Fortsetzung – Tab. 1

WASSER		
Grund- u. Quellwasser		
Pro-Kopf Verbrauch	UN, CIAT-UNEP,	
Grundwasserreserven	UN, CIAT-UNEP, BBW	
O ₂ -Verbrauch d. biol. Organismen	UN	
Gehalt an mikrobiellen Erregern (Coliforme)	UN, CIAT-UNEP, BBW	
Eintrag von Chemie (Nitrate, Phosphor, Pestizide)	BBW	Kantonale und kommunale Grundwasseruntersuchungen; „Naqua“ (BUWAL) Aufbau einer systematischen Beobachtung der Grundwasservorkommens
Oberflächen-gewässer/Seen		
Eintrag von Chemie (N, P, Pestizide)	UN, BBW	„Naduf“: seit 1977 laufendes nationales Beobachtungsprogramm, das jährlich chemisch-physikal. Parameter der Fliessgewässer bestimmt; dazu erfolgt regelmässige Überprüfung der Gewässer durch kantonale Stellen des Gewässerschutzes
Algen-Index/Zeigerorganismen für Überdüngung	UN, BBW	
ATMOSPHERE		
Emission von Treibhausgasen	UN, CIAT-UNEP	Werden aus der Energiestatistik ermittelt
Schadstoffgehalt (urbaner Bereich)	UN, CIAT-UNEP	„Nabel“: seit 1979 laufendes nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe, v.a. Schadstoffe
BIODIVERSITÄT		
Fläche Naturräume (%)	UN, CIAT-UNEP, BDM-CH	
Anzahl gefährdeter Arten (%)	UN, CIAT-UNEP, BDM-CH	
Anzahl endemischer Arten (%)	CIAT-UNEP	s. auch spezieller Teil u. Teil Ammann;
Gefährdete Pflanzentaxone	CIAT-UNEP	BDM-CH (Biodiversitätsmonitoring Schweiz) wurde 1996 vom BUWAL initiiert und hat 1999 begonnen
Anzahl wildlebender Arten	BDM-CH	
Bestandstrends ausgewählter bedrohter Arten	BDM-CH	
Zahl der weit verbreiteten Arten einer taxonomischen Einheit	BDM-CH	
Bestandstrends ausgewählter weit verbreiteter oder häufiger Arten	BDM-CH	

Fortsetzung – Tab. 1

<i>Mittlerer Artenreichtum verschiedener Flächentypen</i>	BDM-CH	
LANDNUTZUNG		
Änderung der Landnutzung	UN, CIAT-UNEP	Arealstatistik des BFS innerhalb des Programmes „Raumbeobachtung Schweiz“ des Bundes erfasst Landnutzungs- und Strukturveränderungen
Änderung der Landschaftsstruktur, Charakter; „Fragmentation“	CIAT-UNEP, BBW	
Grösse der genutzten Fläche	CIAT-UNEP, BDM-CH	
LANDWIRTSCHAFT		
Pestizideinsatz	UN, CIAT-UNEP, BBW	
Düngemittelintrag	UN, CIAT-UNEP, BBW	Es ist zu überlegen, Ökobilanzierungen zu erstellen. Darin enthalten wären u.a. Energiebilanzen Pestizid-, Düngereinträge, Erträge etc.
Ertrag/ha	CIAT-UNEP, BDM-CH	
Energiebilanz	UN	
Fläche pro Kultur (ha)		Der Schweizerische Bauernverband, Abt. Statistik (SBV/AST) erfasst diese Angaben

Quellen: Indikatorenlisten der CIAT-UNEP, der UN und der Schweiz (Nachhaltige Landnutzung in der Schweiz/BBW und Biodiversitätsmonitoring Schweiz BDM - CH). Die Gliederung erfolgte in Anlehnung an die UN-Liste.

4.4 Anbaubegleitende Forschung und Monitoring - was muss beobachtet werden?

Die ausgewählten Parameter beziehen sich auf die Kulturpflanze selbst und auf die eingebrachten Gene bzw. die exprimierten Genprodukte. Weiterhin umfassen sie mögliche Umweltauswirkungen und agronomische Aspekte, die das Potential dieser Pflanze für eine umweltverträgliche und nachhaltige Landwirtschaft beschreiben. In der Teilstudie 2/6 sind, zusätzlich zu den Parametern und was bisher darüber bekannt ist, laufende Monitoring-Programme in den USA und Europa detailliert dargestellt. In der folgenden Tabelle sind die einzelnen Parameter zusammenfassend dargestellt.

Tab. 2: Parameter, die in der anbaubegleitenden Forschung und beim Monitoring innerhalb des Agrarraumes berücksichtigt werden sollten.

Bereich	Parameter
Kulturpflanze	<ul style="list-style-type: none"> • Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz • Auffälligkeiten im Feld • Inhaltsstoffe • Nektarbildung
Gene und Genprodukte	<ul style="list-style-type: none"> • Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft • Menge an Ernterückständen • Abbau des Genproduktes in Erntegut und Ernterückständen • Abbau des Genproduktes im Boden • Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer (HGT)
Umweltauswirkungen Zielorganismen	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassung von Krankheitserregern und Schädlingen (Resistenzentwicklung) • Entstehen neuer Virusarten, Erweiterung des Wirtskreises
Nicht-Zielorganismen	<ul style="list-style-type: none"> • Auswirkungen auf Nicht-Ziel-Krankheitserreger und Schädlinge • Auswirkungen auf Nützlinge und Gegenspieler • Auswirkungen auf Bienen und andere Bestäuber • Auswirkungen auf Zersetzer (zum Beispiel Regenwürmer, Springschwänze) • Auswirkungen auf die mikrobielle Diversität und den chemischen Zustand der Bodens • Auswirkungen auf spezifische Indikator-Organismen (zum Beispiel Mykorrhiza, Rhizobien)
Begleitflora und -fauna	<ul style="list-style-type: none"> • Auswirkungen auf bodenbürtige Pathogene • Auswirkungen auf verwandte Wildarten • Auswirkungen allgemein auf Begleitflora und -fauna
Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Standortbedingungen • Anbaupraxis • Pestizideinsätze, Düngemiteleinträge, Rückstände in der Umwelt • Ertrag • Erosion • Bodenfruchtbarkeit • Durchwuchs in Folgekultur • Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen • Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes

4.4.1 Kulturpflanze

Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz: Eine schädliche Auswirkung, die beim Anbau von transgenen Kultursorten befürchtet wird, ist ein gesteigertes Ausbreitungsverhalten der Pflanzen auf Ruderalstandorten und von dort ausgehend in Naturhabitate. Das Ausbreitungsverhalten einer Pflanzenart ist abhängig von dem Grad der Domestikation und der Art der eingebrachten Eigenschaft, d.h. inwieweit die Eigenschaft der betreffenden Pflanze einen selektiven Vorteil in Konkurrenzsituationen vermitteln kann. Wachstumsparameter wie Keimungsraten, Pollen- und Samenbildung und -verbreitung etc. werden im Zulassungsverfahren im Vergleich zur untransformierten Ausgangslinie untersucht. Dabei sollten Veränderungen, die einen Einfluss auf die Ausbreitungstendenz von Kulturpflanzen besitzen, auffallen und protokolliert werden. Je nach Ausbreitungstendenz der Pflanzenart und Ausmass der in Labor- und Freisetzungsversuchen beobachteten Wachstumsveränderungen ist beim Anbau transgener Pflanzen ein Monitoring auf Ausbreitungsverhalten einzurichten.

Auffälligkeiten im Feld: Bei keiner neuen Sorte ist es gänzlich auszuschliessen, dass es trotz der umfangreichen, mehrjährigen Sortenprüfungen aufgrund von Genotyp-Umwelt-Interaktionen im Anbau zu ungewöhnlichen Merkmalsausprägungen kommt. Da eine Risikoabschätzung solcher Effekte praktisch nicht möglich ist, wird vorgeschlagen, eine Art Meldepflicht von Seiten der Landwirte, Berater und/oder Firmen einzuführen. Es sollte eine 'Hotline' zu den zuständigen Monitorstellen eingerichtet werden, damit ungewöhnliche Effekte möglichst schnell bekannt, untersucht und deren Auswirkungen abgeklärt werden können.

Inhaltsstoffe: Die Toxizität und das allergene Potential gegenüber Mensch und Umwelt von Genprodukten, vor allem wenn sie in die Nahrungskette gelangen, werden im Zulassungsverfahren untersucht. So werden vor allem Pflanzen mit kritischen Sekundärmetaboliten (z.B. Alkaloide in Kartoffeln, Glucosinolate in Raps), deren Stoffwechsel verändert wurde, auf ihre Sicherheit für Menschen geprüft. Da jedoch Daten aus Labor- und Freisetzungsversuchen nicht die gesamte Variabilität in den Umweltbedingungen berücksichtigen und damit nicht unbedingt die Verhältnisse im Feld voraussagen können, wäre eine längerfristige Beobachtung kritischer Stoffwechselprodukte - zumindest stichprobenartig im Erntegut - bei bestimmten Pflanzen dennoch wünschenswert.

Nektarbildung: Bei insektiziden Pflanzen sollte möglichst im Rahmen des Zulassungsverfahrens geprüft werden, ob und wenn ja, in welchen Konzentrationen das Genprodukt im Nektar vorhanden ist. Je nach den Ergebnissen, sollten dann mögliche Wirkungen auf Nicht-Ziel-Insekten, die die Pflanzen als Nektarquelle benutzen, im weiteren Verfahren berücksichtigt werden. Wünschenswert sind in diesem Zusammenhang auch Untersuchungen zu indirekten Auswirkungen der Transformation auf die Nektarbildung und Nektarqualität, z.B. auf Zucker- und Aminosäuregehalt. Diese können verändert werden und spielen z.B. für Bienen bei der Auswahl der Nahrungspflanzen eine Rolle.

4.4.2 Gene und Genprodukte

Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft: Daten aus den Zulassungsverfahren sollten Aussagen über die Stabilität, das Niveau und die örtliche und zeitliche Spezifität der Genexpression bei verschiedenen Umweltbedingungen und über lange Zeiträume zulassen. Dabei sind die erforderlichen Angaben bei der Zulassung dem wissenschaftlichen Fortschritt anzupassen, z.B. sollten zukünftig mit der Entwicklung von verbesserten Transformationstechniken Daten über die Induktion und die Gewebespezifität

der Genexpression vom Antragsteller verlangt werden. Denn diese Daten sind nicht nur wichtig für die Qualität der neuen Sorte, sondern auch für Sicherheitsbeurteilungen, z.B. über Auskreuzungspotential einer Pflanze, Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen und Resistenzbildung bei Zielorganismen. Wie jedoch oben schon erwähnt können Daten aus Labor- und Freisetzungsversuchen nicht die gesamte Variabilität in den Umweltbedingungen berücksichtigen und spiegeln damit nicht unbedingt die Verhältnisse im Feld wider. Es ist daher zu überlegen, zumindest während der ersten Anbaujahre vor allem in klimatisch extremen Regionen die Genexpression auf ihr erwünschtes Niveau hin zu überprüfen.

Menge an Ernterückständen: Im Zusammenhang mit Angaben zum Abbau von Genprodukten in Pflanzengewebe und Ernterückständen liefert dieser Parameter Hinweise über die Menge an Genprodukten, die pro Jahr in den Boden gelangen können. Deshalb sollten Daten zu der Menge an Ernterückständen, wenn sie nicht während der Sortenprüfung erhoben werden, während des Anbaus erfasst werden. Letzteres könnte z.B. auf Betrieben analog zum IP-Pilotbetriebsnetz geschehen, auf denen auch andere agronomisch bedeutende Daten wie Ertrag, Pestizid- und Düngereinsätze etc. (s.u.) erhoben werden könnten.

Abbau des Genproduktes in Erntegut und Ernterückständen: Ebenso wie Daten zum Abbau von Pestiziden auf und in behandelten Pflanzen und im Boden im Rahmen von Pestizidzulassungen vom Antragsteller verlangt werden, werden auch bei neu exprimierten Produkten in Kulturpflanzen Daten zum Verbleib der Stoffe in den Pflanzen vom Antragsteller geliefert. Die Daten sollten dabei so erhoben sein, dass aus ihnen, in Verbindung mit der Menge an Ernterückständen, eine Mengeneinschätzung des Eintrags in den Boden erfolgen kann.

Abbau des Genproduktes im Boden: Ökotoxikologische Untersuchungen im Rahmen von Zulassungsverfahren von transgenen Pflanzen umfassen den Verbleib und die Degradation von Genprodukten im Boden. Dennoch sollten der Abbau und die Akkumulation von Stoffen, vor allem denjenigen mit pestiziden Eigenschaften wie Protease-Inhibitoren, Bt-Toxine oder Chitinasen, auch nach der Zulassung weiter beobachtet werden. Denn zum einen hängt der Abbau im Boden stark vom Bodentyp ab, um anderen kann aus Laboruntersuchungen und räumlich und zeitlich begrenzten Freilandversuchen nicht ohne weiteres auf Anreicherungen im Boden geschlossen werden, die bei einem weiträumigen Anbau über mehrere Jahre unter verschiedenen Klima-, Boden- und Anbaubedingungen auftreten werden. Angaben zur Anreicherung von Genprodukten und deren Wirkungsweise bilden die Grundlage, um das Gefährdungspotential für Bodenorganismen und Bodenfruchtbarkeit abschätzen zu können.

Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer (HGT): DNA besitzt im Boden eine hohe Persistenz, welches die Voraussetzung für einen horizontalen Gentransfer auf Bodenmikroorganismen schafft. Die Wahrscheinlichkeit eines horizontalen Transfers von Genen von der Pflanze auf Bodenmikroorganismen wird allgemein als ein sehr seltenes Ereignis eingeschätzt, kann jedoch nicht ganz ausgeschlossen werden. Die Häufigkeit eines Transfers von DNA kann jedoch erhöht sein, wenn z.B. Pflanzen vektorieell mit *Agrobacterium tumefaciens* transformiert wurden. Denn es können latente *A. tumefaciens* in den transgenen Pflanzen zurück bleiben, die beim Abbau des Pflanzengewebes in den Boden gelangen und dann DNA über Konjugation an andere Bakterien weitergeben können. Zukünftig sollte deshalb darauf gedrängt werden, dass mit Hilfe von *A. tumefaciens* transformierte Pflanzen von latenten Bakterien befreit werden, zum Beispiel

durch Regeneration von Sekundärsprossen, bevor sie grossflächig angebaut werden (vgl. Landsmann & Graser, 1998).

Die Konsequenzen eines horizontalen Gentransfers sind nicht einschätzbar. Je nachdem ob und in welchem Umfang Eigenschaften, die auf Bodenorganismen übergehen, die Fitness dieser Organismen beeinflussen, kann es zu Verschiebungen in der Artengemeinschaft und damit zu Veränderungen der Bodenfruchtbarkeit kommen. Bei bestimmten Genen oder Eigenschaften, z.B. bei Antibiotikaresistenzen, toxischen Stoffen oder Arzneimittel, ist die Ausbreitung im Bakterien- oder allgemein Mikroorganismenreich möglichst ganz zu vermeiden. Vor allem in diesen Fällen sollte die Weitergabe von genetischem Material von Pflanzen oder latenten *Agrobacterien* auf Bodenorganismen und die Auswirkungen eines solchen Transfers auch nach der Zulassung kontrolliert werden, um das tatsächliche Ausmass des Gentransfers zu bestimmen. Zusätzlich sollte zukünftig die Entwicklung in der Pflanzenzüchtung unbedingt in Richtung einer Antibiotikaresistenz-freien Transformation gefördert werden.

4.4.3 Umweltauswirkungen

Auswirkungen auf Zielorganismen: Zielorganismen sind diejenigen Krankheitserreger und Schädlinge, die wirtschaftlich einen relevanten Schaden anrichten und gegen welche resistente Pflanzensorten entwickelt werden. In Bezug auf die Zielorganismen befürchtet man vor allem, dass sie sich an die Resistenzmechanismen von Pflanzen anpassen und diese überwinden können. Daneben spielt die Entstehung neuer Virusarten bei virusresistenten Pflanzen in der Sicherheitsforschung eine grosse Rolle.

Anpassung von Krankheitserregern und Schädlingen (Resistenzentwicklung): Jeder Krankheitserreger und jeder Schädling ist potentiell in der Lage, gegen ihn gerichtete Abwehrmechanismen zu überwinden und sich daran anzupassen. Im Pflanzenschutz ist Resistenzentwicklung nichts Neues und als Begleiterscheinung beim Einsatz von Pestiziden lange bekannt. Die Entwicklung einer Resistenz gegenüber Pestiziden ist generell abhängig vom Genotyp der Krankheitserreger- und Schädlingspopulation und dem Selektionsdruck, der auf diese ausgeübt wird. Durch die Entwicklung von krankheits- und schädlingsresistenten Pflanzensorten, die Pestizide zeitlich und räumlich ausgedehnt exprimieren, bekommt die Frage der Resistenzbildung bei den Zielorganismen jedoch eine neue Dimension. Denn die Zielorganismen sind aufgrund der zeitlich und räumlich ausgedehnten Präsenz des Pestizids nicht nur einem langdauernden Selektionsdruck ausgesetzt. Darüber hinaus besitzen alle bislang marktfähigen transgenen Pflanzensorten monogene Schädlingsresistenzen, die eine Anpassung von Seiten der Zielorganismen begünstigen. Deshalb sollte bei pestizidexprimierenden Pflanzen in zukünftigen Monitoring-Programmen das Beobachten der Anfälligkeit der Zielorganismen eine zentrale Stellung einnehmen. Bei Bt-Pflanzen, für die marktbedingt erste Konzepte für ein Monitoring vorliegen, ist die Resistenzbildung dementsprechend ein wichtiger, wenn nicht sogar der wichtigste Punkt, auf den sich Firmen und Gesetzgeber derzeit konzentrieren. Da es abzusehen ist, dass sich Zielorganismen an krankheits- und schädlingsresistente Pflanzensorten anpassen werden, sind gleichzeitig vorbeugende Massnahmen im Rahmen von Resistenzmanagement-Strategien zu entwickeln. Resistenzmanagement-Strategien, oft in Verbindung mit Resistenzmonitoring, sind aus der Pflanzenzüchtung (Anbau von Sortenmischungen, Pyramidisierung von Resistenzgenen) und aus dem Pflanzenschutz lange bekannt, z.B. aus der Weizenzüchtung oder bei der Kraut- und Knollenfäule an Kartoffeln.

Bei einem Monitoring hat die untersuchte Ebene - geno- bzw. phänotypische Ausprägung der Resistenz –massgeblichen Einfluss auf die zu ergreifenden Massnahmen, denn je

früher eine Resistenzentwicklung in einer Population festgestellt wird, desto vielfältiger sind die Möglichkeiten, regulierend einzugreifen. Auf die Aspekte, die für das Resistenzmanagement von Bt-Pflanzen von Bedeutung sind, sowie auf laufende und geplante Monitoringverfahren wird in Raps et al. (1998) (BATS Report 2/6) detailliert eingegangen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es - will man Resistenzentwicklung einschätzen und wirksam bremsen - sinnvoll ist, vor einem Inverkehrbringen von krankheits- und schädlingsresistenten Kulturpflanzen Daten zur Biologie und Populationsdynamik der Krankheitserreger und Schädlinge zu erheben. Darüber hinaus sind Kenntnisse über Resistenzmechanismen, über Vererbungsmodi und über Häufigkeit von Resistenzallelen innerhalb der Ausgangspopulationen der Pathogene und Schädlinge unerlässlich. Weiterhin ist es empfehlenswert, die Zulassung einer Sorte befristet mit der Auflage zur Re-Registrierung zu erteilen, eine Praxis, die im Ausland bei Pestiziden seit langem bewährt angewandt wird. Wird bei Untersuchungen im Rahmen der Re-Registrierung von Pflanzenbehandlungsmitteln festgestellt, dass die Wirksamkeit nachgelassen hat, wird das Mittel nicht mehr zugelassen.

Entstehen neuer Virusarten, Erweiterung des Wirtskreises: Bei Virusinfektionen tritt Rekombination, d.h. der dauerhafte Austausch einzelner Nukleotidsequenzen zwischen zwei Nukleinsäure-Molekülen, hier zwischen pflanzlicher und viraler Nukleinsäure, regelmässig auf. Von den 'Pathogen-Derived-Resistances' (PDR) bei transgenen Pflanzen ist diejenige, die auf der Transformation und Expression von Virus-Hüllproteinen basiert, am weitesten fortgeschritten. Bei vielen Viren determiniert das Hüllprotein nicht nur die Übertragbarkeit durch Insekten und damit die Verbreitung im Feld, sondern auch die systemische Verbreitung innerhalb einer Pflanze. Aus Rekombinationen zwischen transgener Virus-Hüllprotein-DNA und viraler DNA können demnach neue Virusarten entstehen, die unter Umständen einen veränderten Ausbreitungsmodus aufweisen. Weiterhin ist bei Virusresistenzen basierend auf Hüll-Proteinen die Möglichkeit gegeben, dass durch heterologe Enkapsidierung (Umhüllung der Virus-DNA mit fremdem Hüllprotein) die Ausbreitung von Viren verändert wird. Anders als bei rekombinatorischen Ereignissen, wo der Code des Hüllproteins im Genom des Virus festgelegt wird und somit neue Arten entstehen können, ist dieser Effekt in Bezug auf einen veränderten Wirtskreis jedoch als „Einbahnstrasse“ zu sehen. In der neuen Wirtspflanze können Viren wieder nur auf die von ihnen codierten Hüllproteine zurückgreifen (vgl. Neemann & Braun, 1997). Wenn virusresistente, Hüllprotein-exprimierende Pflanzen für den kommerziellen Anbau freigegeben werden, sollten beide Phänomene anbaubegleitend längerfristig beobachtet werden, um das Auftreten neuer Virusstämme zukünftig besser abschätzen zu können und eventuell Gegenmassnahmen ergreifen zu können.

Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen:

Nicht-Zielorganismen sind Organismen verschiedener trophischer Ebenen und verschiedener Lebensweisen, zum Beispiel Phytophage, Gegenspieler/Nützlinge, Zersetzer und Mikroorganismen. Untersuchungen zu Nebeneffekten von pestiziden Pflanzen auf diese Organismen sind Teil der Risikoabschätzung bei Zulassungsverfahren. Da aus diesen, auf kurzfristige, akute Effekte ausgelegte, Experimenten langfristige Auswirkungen jedoch nur schwer abgeschätzt werden können, sollten darüber hinaus Nebenwirkungen auf ausgewählte Nicht-Zielorganismen auch nach der Zulassung anbaubegleitend untersucht werden.

Nicht-Zielkrankheitserreger und -schädlinge: Die Besonderheiten von pestiziden Pflanzen - weiträumige, hohe Persistenz der Wirkstoffe verbunden mit einer gewissen Spezifität - macht es notwendig, deren Auswirkungen auf Nicht-Zielherbivoren (Pathogene und

Schädlinge) zu berücksichtigen. Mit dem Anbau pestizider transgener Pflanzen und dem damit angestrebten Verzicht auf breitwirksame Pestizide werden zukünftig einzelne Arten selektiv bekämpft, andere dagegen nicht kontrolliert werden, und es kann zum Auftreten von sekundären Krankheiten und Schädlingen kommen. Um diese Entwicklungen abschätzen zu können, sind Untersuchungen über Nebeneffekte auf die wichtigsten Nicht-Zielkrankheitserreger und -schädlinge, die für die jeweilige Kulturpflanze beschrieben worden sind, nötig. Erste Daten liegen für insektizide Bt-Pflanzen vor, die zeigen, dass Nicht-Ziel-herbivoren in ihrer Entwicklung sowohl negativ als auch positiv beeinflusst werden.

Nützlinge und Gegenspieler: Nützlinge oder natürliche Gegenspieler nehmen in der biologischen und ökologisch orientierten Landwirtschaft (IP) eine zentrale Rolle ein. Von transgenen Pflanzen ausgehende Nebeneffekte auf sie sollten deshalb gründlich untersucht und anbaubegleitend beobachtet werden. Laboruntersuchungen mit insektiziden Pflanzen zeigen, dass Nützlinge in ihrer Entwicklung beeinträchtigt sein können, z.B. Marienkäfer auf Lectin-exprimierenden Kartoffeln oder Grüne Florfliegen auf Bt-Mais. Gerade die letztgenannten Ergebnisse sind deshalb bedeutsam, als bislang keine oder nur geringe Nebeneffekte von Bt gegenüber Nützlingen gefunden wurden, weshalb Bt als sehr nützlingschonend gilt. Die Ergebnisse der Studien verdeutlichen jetzt, wie durch eine veränderte Ausbringung von Pestiziden Nebeneffekte, die vorher nicht aufgefallen sind, auftreten können und dass bei transgenen Pflanzen die Umweltsicherheit von Stoffen, auch von altbekannten, neu untersucht werden muss. Von Antragstellern wurden bisher keine Nebeneffekte von Bt-Toxinen auf Florfliegen oder andere Prädatoren gefunden. Das wirft die Frage auf, inwieweit die Toxizitätsprüfungen für Zulassungsverfahren von transgenen Pflanzen in der jetzigen Form aussagekräftig sind, bzw. ob sie angepasst und ausgeweitet werden müssen. Unseres Erachtens sollten z.B. zukünftig subletale Effekte mitberücksichtigt und dringend Versuchsmethodiken überprüft und gegebenenfalls verbessert und standardisiert werden.

Bienen und andere Bestäuber: Aussagen zur Bienensicherheit werden generell im Rahmen von Zulassungsverfahren von transgenen Pflanzen verlangt, besonders wenn die Eigenschaft im Pollen exprimiert wird. Sie sind jedoch besonders wichtig bei pestiziden Varietäten, und hier vor allem bei denjenigen Sorten, die Stoffe mit insektizider Wirkung (Bt, Protease-Inhibitoren, Chitinasen etc.) exprimieren. Untersuchungen aus Frankreich und Neuseeland zeigen, dass Nebeneffekte auf Bienen je nach transgenem Resistenzmechanismus auftreten können. Die einzigen, zur Zeit zugelassenen, insektiziden Pflanzen sind Bt-Pflanzen, von denen bis jetzt keine unerwünschten Nebeneffekte auf Bienen beschrieben wurden. Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse sollte jedoch nicht auf die allgemeine Bienensicherheit von Bt-Pflanzen geschlossen werden. Die Testverfahren sind auf kurzzeitige, akute Effekte ausgerichtet, subletale Effekte oder Verhaltensänderungen, die über die lange Zeit zu Fitnessreduktionen innerhalb einer Bienenpopulation führen können, sind nicht berücksichtigt worden. Auch die Verwendung von Bienenlarven in den durchgeführten Tests ist unter Umständen ungeeignet, sollten doch ökotoxikologische Abklärungen bei Pestiziden möglichst an jungen, adulten Arbeiterbienen durchgeführt werden. Es ist empfehlenswert, die Untersuchungen (Parameter, Versuchsmethodiken etc.) mit Spezialisten auf dem Gebiet der Bienenkunde abzuklären und sie zu standardisieren.

Zersetzer: Zersetzer sind für den Auf- und Umbau der organischen Substanz, den Abbau von Schadstoffen, die Erhaltung der Struktur und für den Gas- Stoff- und Wasserhaushalt des Bodens verantwortlich. Aus diesem Grund wird die Erfassung der Abundanz, Diversität oder Aktivität dieser Bodenlebewesen als nützlich für eine Einschätzung der

Bodenqualität erachtet. Unter den Zersetzern sind es vor allem die Regenwürmer, die durch ihre grabende Lebensweise die Eigenschaften eines Bodens beeinflussen. Ihr Ansehen als Nützlinge innerhalb einer umweltverträglichen Landwirtschaft ist gross, so dass Nebeneffekte auf Regenwürmer standardmässig zu den ökotoxikologischen Prüfungen bei der Pestizidzulassung gehören. Da sie Pflanzengewebe verzehren, gelten sie auch als Nicht-Zielorganismen, die auch bei der Zulassung von transgenen Pflanzen überprüft werden. Als Standardorganismus wird dazu der Kompostwurm *Eisenia faetida*, ein kleiner, in Komposthaufen lebender Wurm, verwendet, der auf Ackerflächen jedoch nicht vorkommt. In Grünlandflächen der Schweiz sind 76 % Prozent aller vorkommenden Arten anözisch, d.h. unterirdisch, in Röhren lebende *Lumbricus*- und *Nicodrilus*-Arten, die als Nahrung Streu von der Bodenoberfläche in die Röhren einziehen. Bei der Untersuchung der langfristigen Nebeneffekte von transgenen Pflanzen sind es diese Arten, die wegen ihres Vorkommens und ihrer Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit beobachtet werden sollten. Neben den Regenwürmern sind es Springschwänze (Collembolen), die als Indikatoren (s.u.) beim Anbau von transgenen Pflanzen mit insektiziden Stoffen ebenfalls untersucht werden sollten.

Mikrobielle Diversität und chemischer Zustand des Bodens: Mikroorganismen sind wichtige Komponenten des Ökosystems Boden und bestimmen massgeblich die Bodenfruchtbarkeit (Einzelheiten zur Bodenfruchtbarkeit – Bestimmung, Parameter, Methodiken - sind in Teilstudie 2/6 beschrieben). Aus diesem Grund sollten unerwünschte Nebeneffekte ausgehend von transgenen Pflanzen auf Mikroorganismen so weit wie möglich vor der Zulassung abgeklärt und auch nach der Zulassung langfristig beobachtet werden. Neben der Biomasse und Aktivität werden Mikroorganismengemeinschaften vor allem durch ihre Vielfalt und ihre Gemeinschaftsstruktur charakterisiert. Unterschiede in der mikrobiellen Diversität können Hinweise auf tiefgreifende funktionelle Unterschiede und damit auf die Bodenqualität zwischen Anbauflächen geben. Nebeneffekte auf Mikroorganismen können auch indirekt durch Veränderungen des Nährstoffgehaltes im Boden verursacht werden. Dies kann z.B. durch eine verbesserte Nährstoffnutzung der Pflanzen bei gleichzeitiger verminderter Düngung hervorgerufen werden. Um den Einfluss von transgenen Pflanzen auf die Bodenqualität zu klären, empfehlen wir deshalb neben mikrobiellen Erhebungen (Biomasse, Aktivität und Diversität) Untersuchungen des chemischen Zustandes (C-, N- und P-Kreisläufe, Schadstoffgehalt) des Bodens im Verlauf einer Vegetationsperiode, da dieser einen grossen Einfluss auf die Bodenaktivität hat.

Spezifische Indikator-Organismen: Für viele Fragestellungen, auch bei ökotoxikologischen Untersuchungen von Pflanzenbehandlungsmitteln, werden spezielle, repräsentative Arten als Indikatoren ausgewählt und untersucht. Deren Verhalten und Entwicklung steht stellvertretend für andere biologische Komponenten in einem System. Für Bodenuntersuchungen können einzelne Mikroorganismen, Algen, Flechten, Einzeller, Nematoden, Regenwürmer und Gliedertiere aus der Meso- und Makrofauna als Indikatoren dienen. Für das Monitoring von transgenen Pflanzen sollten Organismen ausgewählt werden, die mit den transgenen Produkten bzw. deren Metaboliten in Kontakt kommen. Diese sollten entweder allgemein sensibel auf Veränderungen innerhalb ihrer ökologischen Nische oder sensibel auf bestimmte Produkte reagieren, z. B. Springschwänze, die anfällig für *Bacillus thuringiensis*-Toxine sein könnten (s.o.). In Anlehnung an die bei der Pestizidzulassung untersuchten Organismen kämen als Mikroorganismen Stickstoff-fixierende Bakterien wie Rhizobien oder nitrifizierende Bakterien wie *Nitrosomonas* spp für ein Monitoring in Betracht: Eine Indikatorfunktion könnten auch Mykorrhiza-Pilze einnehmen, die als symbiontische Wurzelpilze in über 90% aller Landpflanzen vorkommen und den biotischen und abiotischen Stofffluss zwischen Boden und Pflanzen

beeinflussen und regulieren. Sie werden als Anzeiger sowohl für Bodenfruchtbarkeit als auch für langsame Veränderungen in Dauerbeobachtungsflächen anerkannt. Beim langjährigen Anbau transgener pilzresistenter Kultursorten ist ein Beobachten der Mykorrhiza-Pilze grundsätzlich zu empfehlen, da sie in dem Fall als Nicht-Zielorganismus gelten, der direkt betroffen sein könnte.

Bodenbürtige Pathogene: Wie bei den oberirdischen Nicht-Zielherbivoren kann es bei pestiziden Pflanzen zum Auftreten von sekundären, bodenbürtigen Krankheiten kommen. Deshalb sollten auch wichtige, vorkommende bodenbürtige Pathogene mit untersucht werden.

Begleitflora und -fauna:

Verwandte Wildarten: Das Auskreuzungspotential einer Kulturpflanze, das nicht spezifisch für transgene Sorten, sondern ein Grundmerkmal der Pflanze ist, ist abhängig von der Fortpflanzungsweise der Pflanze und dem Vorkommen verwandter Arten in der Umgebung. Dies wird im Rahmen der Zulassung abgeklärt. Bei der Begleitforschung sind es jedoch vielmehr die Auswirkungen eines Gentransfers, die im Zentrum stehen müssen. So empfehlen wir Untersuchungen von z.B. veränderten Wechselwirkungen zwischen der Hybridart und assoziierten Organismen sowie der assoziierten Pflanzengesellschaft. Bei transplastomischen Pflanzen, d.h. Pflanzen, deren Chloroplasten – und nicht der Zellkern – transformiert wurden, reduziert sich die Auskreuzungsgefahr, denn Chloroplasten werden bei vielen Pflanzen ausschliesslich maternal weitergegeben und sind nicht im Pollen vorhanden. Allerdings bedeutet sie nicht die absolute Sicherheit vor einem vertikalen Gentransfer, denn bei einigen Pflanzen werden Chloroplasten sowohl maternal als auch mit dem Pollen weitergegeben, z.B. bei Tabak, Reis und Luzerne. Darüber hinaus können auch verwandte Wildarten als Pollenspender fungieren und es so zu Hybridarten mit Unkrauteigenschaften kommen.

Allgemeine Begleitflora und Begleitfauna: Der Schutz der belebten Umwelt gewinnt in der Agrarpolitik zunehmend an Bedeutung. Deshalb sollte bei der ökologischen Beurteilung eines Anbaus transgener Pflanzen unseres Erachtens deren Eignung als Lebensraum für Flora und Fauna abgeklärt werden. Da es nahezu unmöglich ist, ein Ökosystem vollständig zu erfassen, ist das Prinzip der Indikation anzuwenden. Wie solch ein Begleitforschung aussehen könnte zeigen die Untersuchungen zu nachwachsenden Rohstoffen, in denen floristische Parameter wie Artenvielfalt oder Deckungsgrad und tierische Indikatororganismen aus den Gruppen der Regenwürmer, Gliedertiere und Vögel erfasst wurden. Ausgehend von der Verpflichtung zum Schutz und Erhalt der Biodiversität wurde im Auftrag des BUWAL ein Monitoring-Konzept für Biodiversität (BDM-CH) erarbeitet, das 1999 teilweise in die Praxis umgesetzt worden ist. Unter Umständen bestehen hier Anknüpfungspunkte für ein Monitoring der Biodiversität sowohl von landwirtschaftlich genutzten Flächen als auch von Naturräumen unter Berücksichtigung transgener Pflanzensorten.

4.4.4 Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit

Agronomische Aspekte sind wichtig, einerseits als Grundlage für die Interpretation der ökologischen Daten, andererseits um den Erfolg transgener Sorten abschätzen zu können. Bei diesen Daten handelt es sich weniger um Begleitforschung oder Monitoring als vielmehr um statistische Erhebungen. Zum Teil werden die Parameter bereits aufgenommen zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Situation in der Schweiz zum Beispiel vom Schweizerischen Bauernverband oder vom Bundesamt für Statistik. Weiterhin werden in einem Netz von ca. 3000 Betrieben betriebswirtschaftliche Daten erhoben und von der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik

Tänikon (FAT) ausgewertet. Generell wäre es sinnvoll, in einem ähnlichen Netz den Einfluss von transgenen Pflanzen auf agronomische Parameter zu untersuchen und mit Hilfe von Ökobilanzen zu evaluieren. Neben Angaben zu den Standortbedingungen wie Lage (angrenzende Felder, Hangneigung, Nähe zu Schutzgebieten), Klima (Luft-, Bodentemperatur, Niederschläge, Sonnenscheindauer, Ozonwerte) oder Schadstoffgehalte in der Luft und zur Anbaupraxis, z.B. zu Flächengrösse, Bodentyp (Ton-, Schluff-, Sandgehalt), Fruchtfolgen (Vor- und Nachanbau), Aussaattermine und -technik und Bodenbearbeitung, sollten folgende agronomische Aspekte statistisch erfasst werden:

Pestizideinsätze, Düngemittleinträge, Rückstände in der Umwelt: Diese Parameter sind weltweit anerkannte ökologische Indikatoren für eine nachhaltige Landwirtschaft.

Ertrag: Die Ertragsbildung wird in der Sortenprüfung überprüft, wobei verstärkt auf Stressbedingungen geachtet werden sollte. Es ist dennoch zu empfehlen, sie auch nach der Zulassung weiter zu untersuchen, um exaktere Aussagen treffen zu können. Für die Erstellung von Ökobilanzen ist die Ertragserhebung unerlässlich.

Erosion: Vor allem bei herbizidtoleranten Sorten ist die Erosionsneigung des Bodens zu beachten. Denn der uneingeschränkte Einsatz von breitwirksamen Herbiziden kann zu mangelnder Bodenbedeckung führen, die der Erosionsgefährdung Vorschub leistet. Da Winderosion in der Schweiz fast keine Bedeutung besitzt, ist der Bodenabtrag vor allem an Hanglagen zu berücksichtigen.

Durchwuchs in Folgekultur: Besonders bei herbizidtoleranten Sorten, Sorten mit veränderten Inhaltsstoffen und Sorten mit verbesserten Standortanpassungen ist auf durchwachsende Pflanzen in der Nachfolgekultur zu achten. Sorten mit Herbizidtoleranz können dann Unkrautprobleme verursachen, wenn in der Fruchtfolge ebenfalls herbizidtolerante (gegenüber dem gleichen Komplementärherbizid) Kulturarten angebaut werden. Bei Sorten mit veränderten Inhaltsstoffen kann es zu unerwünschten Ertragsmischungen kommen, zum Beispiel wenn innerhalb der Fruchtfolge Sorten einer Kulturart mit verschiedenen Zweckbestimmungen (Ernährung, industrielle Nutzung, Pharmazeutika) angebaut werden. Bei Sorten mit verbesserter Standortanpassung ist die Gefahr des vermehrten Durchwuchses gegeben.

Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen: Die Übertragung von Eigenschaften auf Kulturpflanzen derselben Art oder auf verwandte Kulturarten sollte in bestimmten Fällen vermieden werden, zum Beispiel bei verschiedenen Zweckbestimmungen des Erntegutes oder wenn angrenzende Flächen nach biologischen Prinzipien bewirtschaftet werden. Um die Problematik des Aus- bzw. Einkreuzens angehen zu können, sind, sofern der Pollen das Gen enthält, in erster Linie Daten über die Verbreitung des Pollens in Abhängigkeit von der Grösse der Anbaufläche erforderlich. Da je nach Pflanzenart Pollen sehr weit verbreitet werden kann und eine Übertragung von Eigenschaften wohl nicht ganz vermieden werden kann, müssen als weitere Schritte Mindestabstände zwischen Feldern festgelegt werden und es müssen Konzentrationslimite für Gene bzw. Genprodukte im Erntegut fixiert werden.

Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes: Bei Sorten mit abweichenden Inhaltsstoffen oder verändertem Reifeprozess sind langfristig Daten über die Lagerfähigkeit zu erheben. Bei Weizen zum Beispiel ist die Keimfähigkeit bzw. deren Abnahme im Laufe der Zeit ein Qualitätsmerkmal. Auch ist es interessant zu beobachten, ob sich der Befall mit Vorratsschädlingen oder -krankheiten verändert.

5 Fallbeispiel Mais (*Zea mays* L.) mit Insektenresistenz (*Bacillus thuringiensis*-Toxin gegen den Maiszünsler)

Mais wurde von verschiedenen Firmen mit synthetischen Konstrukten der *Bacillus thuringiensis* (Bt) – Toxine Cry1Ab-, Cry1Ac- und Cry9c transformiert, um eine Resistenz gegen den Maiszünsler *Ostrinia nubilalis* zu erzielen. Die verschiedenen Expressionseigenschaften der einzelnen Sorten erlangen beim Resistenzmanagement eine wichtige Bedeutung. Die Parameter, die bei Bt-Mais nach der Zulassung untersucht werden sollten, sind – fett markiert – zusammenfassend in Tabelle 3 dargestellt.

Tab. 3: Parameter, die in der Nachzulassungsforschung von Bt-Mais innerhalb des Agrarraumes berücksichtigt werden sollten (fett markiert).

Bereich	Parameter
Kulturpflanze	<ul style="list-style-type: none"> Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz Auffälligkeiten im Feld Inhaltsstoffe Nektarbildung
Gene und Genprodukte	<ul style="list-style-type: none"> Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft Menge an Ernterückständen Abbau des Genproduktes in Erntegut und Ernterückständen Abbau des Genproduktes im Boden Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer (HGT)
Umwelt Zielorganismen Nicht-Zielorganismen Begleitflora und -fauna	<ul style="list-style-type: none"> Anpassung von <i>O. nubilalis</i> (Resistenzentwicklung) Entstehen neuer Virusarten, Erweiterung des Wirtskreises Auswirkungen auf Nicht-Zielkrankheitserreger und -schädlinge Auswirkungen auf Nützlinge und Gegenspieler Auswirkungen auf Bienen und andere Bestäuber Auswirkungen auf Zersetzer (z.B. Regenwürmer, Springschwänze) Auswirkungen auf die mikrobielle Diversität und den chemischen Zustand der Bodens Auswirkungen auf spezifische Indikator-Organismen Auswirkungen auf bodenbürtige Pathogene Auswirkungen auf verwandte Wildarten Auswirkungen allgemein auf Begleitflora und -fauna
Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Standortbedingungen Anbaupraxis Pestizideinsätze, Düngemittelinträge, Rückstände in der Umwelt Ertrag Erosion Durchwuchs in Folgekultur Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes

5.1 Kulturpflanze

Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz: Mais ist eine stark domestizierte Kulturpflanze, die ausserhalb der Ackerfläche unter hiesigen Bedingungen nicht wachsen würde. Eine Transformation mit Bt-Genen wird daran aller Voraussicht nach nichts verändern, so dass sich unseres Erachtens ein Monitoring des Ausbreitungsverhaltens von Bt-Mais erübrigt. Jedoch sei hier darauf hingewiesen, dass die Ausbreitungs- und Verwilderungstendenz dann beobachtet werden sollte, wenn Maissorten mit verbesserter Standortanpassung, zum Beispiel Frosttoleranz auf den Markt kommen.

Auffälligkeiten im Feld: Für Auffälligkeiten im Feld sollte eine Meldepflicht von Seiten der Landwirte eingeführt werden. Ungewöhnliche Merkmale sind dann umgehend an die für das Monitoring zuständige Stellen oder Beratungsdienste zu melden.

Inhaltsstoffe: Bt-Toxine werden nach den bisher durchgeführten Untersuchungen toxikologisch als unbedenklich angesehen. Der Mais selbst besitzt keine relevanten toxischen Sekundärmetaboliten. Aus diesem Grund ist ein Monitoring nach Inhaltsstoffen im zeitlichen Verlauf bei Bt-Mais nicht erforderlich.

Nektarbildung: Nektarbildung ist bei Mais nicht bekannt.

5.2 Gene und Genprodukte

Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft: Gerade hinsichtlich der Resistenzentwicklung des Maiszümlers ist es wichtig, dass das Bt-Toxin in hohen Konzentrationen exprimiert wird. Aus Gründen des Resistenzmanagements ist deshalb zu überlegen, zumindest während der ersten Anbaujahre und vor allem unter extremen Umweltbedingungen das Niveau der Genexpression zu überprüfen. Erfahrungen aus den USA und Australien mit Bt-Baumwolle zeigen, dass die Expression im Feld nicht in allen Pflanzengeweben einheitlich stattfindet (in unteren Pflanzenteilen ist die Expression oft nur unzureichend) und auch zum Ende der Vegetationsperiode abnehmen kann.

Menge an Ernterückständen: Wenn im Rahmen der Sortenprüfung keine diesbezüglichen Untersuchungen durchgeführt werden, sollte die Menge an Ernterückständen in den ersten Jahren anbaubegleitend festgestellt werden.

Abbau des Genproduktes in Erntegut und Ernterückständen: Daten dazu werden vom Antragsteller im Rahmen der Zulassung geliefert. Diese geben Hinweise darauf, wieviel Toxin in die Nahrungskette gelangt. Darüber hinaus kann zusammen mit der Menge an Ernterückständen abgeschätzt werden, wie hoch der Bodeneintrag von Bt-Toxin pro Vegetationsperiode ist.

Abbau des Genproduktes im Boden: Bt-Toxine können noch 40 Tage nach dem Einbringen in den Boden nachgewiesen werden. Werden Toxine an Tonpartikel gebunden, kann auch ihre insektizide Aktivität so lange anhalten. Beim Anbau von Bt-Mais kann es durch Wurzelexsudate und Abbau von Wurzelgewebe während der Vegetationsperiode zu einer höheren Anreicherung des Toxins im Boden kommen als bis jetzt vermutet. Es wird deshalb empfohlen, Daten über die Konzentration des Bt-Toxins im Boden auch nach der Zulassung zu untersuchen. Die Präsenz und Wirksamkeit von Bt-Toxinen im Boden lassen deren Wirkung auf Bodenlebewesen und -mikroorganismen besser abschätzen.

Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer (HGT): Der Bt-Mais der ersten Generation enthält als Markergen ein Antibiotikaresistenz-Gen. Der Abbau, die langfristige Anreicherung und der Transfer dieses Gens auf Mikroorganismen sollte auch nach der Zulassung, unter verschiedenen Umweltbedingungen, überwacht werden. Dabei sind Persistenz und Anreicherung von Genen wichtige Parameter für die Häufigkeit, mit der Gentransfer im Boden stattfinden könnte.

5.3 Umweltauswirkungen

Anpassung von *O. nubilalis* (Resistenzentwicklung): Da die Beobachtung der Resistenzentwicklung von *O. nubilalis* gegenüber Bt-Mais weltweit die zentrale Stellung in Monitoring-Konzepten einnimmt und auch die Schweiz dem hohe Priorität beimisst, wird in der Teilstudie 2/6 ausführlicher über zur Zeit diskutierte Konzepte zum Resistenzmanagement, dessen Theorien und Grundlagen und Resistenzmonitoring eingegangen. Resistenzbildung kann auf phänotypischer oder genotypischer Ebene beobachtet werden, welches die zu ergreifenden Massnahmen bestimmt. Als Beispiel für ein phänotypisches Resistenzmonitoring kann das Konzept des amerikanischen Bundesstaates Alabama dienen, wo seit 1997 Screenings bei der Bt-Baumwolle durchgeführt werden (W. Moar, pers. Mitteilung). Finanziert werden die Untersuchungen vom Saatgutproduzenten - die per Gesetz zu einem Monitoring verpflichtet sind, es aber an unabhängige Forschungseinrichtungen delegiert haben - und einem Zusammenschluss von Farmern. Jedes Jahr werden in Baumwollfeldern in verschiedenen Regionen Alabamas vier bis fünf Tage alte Larven (L1/L2) gesammelt, auf künstliche Nährmedien gesetzt und diese nach Mississippi geschickt. Dort werden die Tiere gezüchtet, die Art bestimmt und die L1 der nächsten Generation untersucht. Die LD50 wird mit derjenigen eines im Labor gezüchteten Stammes verglichen.

In Bezug auf ein Resistenzmanagement stellt sich für die Schweiz die Frage, ob die derzeit in den USA favorisierte „High-Dose/Refuge“-Strategie (zu Einzelheiten s. Teilstudie 2/6) für Bt-Mais unbedingt nötig wäre. Denn der Anbau erfolgt hier generell kleinräumig so dass unter Umständen natürliche Refugien vorhanden sind. Ausserdem besitzt der Maiszünsler nur eine bis maximal zwei Generationen im Jahr. Um diese Frage beantworten zu können, sind sicherlich Daten über den Maiszünsler, zum Beispiel das Migrationsverhalten, die Bildung von distinkten Populationen oder das Vorkommen alternativer Wirtspflanzen nötig. Auch werden die Menge der angebauten Fläche, Feldgrössen und Befallssituationen eine Rolle spielen. In Frankreich und Spanien, wo Bt-Mais seit 1998 für den kommerziellen Anbau zugelassen ist, werden unseres Wissen keine Anbaustrategien zur Verzögerung der Resistenzbildung verfolgt.

Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen:

Nicht-Zielkrankheitserreger und -schädlinge: In der Schweiz werden keine breitwirksamen Insektizide gegen den Maiszünsler eingesetzt. Infolgedessen ist die Gefahr, dass es zu einem verstärkten Auftreten von Sekundärschädlingen, die bislang chemisch mit-behandelt und somit kein Problem dargestellt haben, relativ gering. Offenbar werden Schädlinge wie Blattläuse, Spinnmilben und Thripse in der Schweiz von natürlich Gegenspielern kontrolliert. Sollte es jedoch über tritrophische Interaktionen zu einer Beeinträchtigung von Nützlingspopulationen kommen, könnten diese Schädlinge dennoch vermehrt auftreten. Neben Untersuchungen der Nützlingspopulationen (s.u.) sollte deshalb das Verhalten vor allem von Blattläusen und Thripsen in den ersten Jahren anbaubegleitend untersucht und beobachtet werden.

Nützlinge und Gegenspieler: Analog zu den Pestizidzulassungen sollten bei der Zulassung von pestiziden Pflanzen jeweils zwei Standardarten und zwei kulturell relevante Arten untersucht werden. Dabei ist in Zukunft vermehrt auf geeignete Versuchsmethoden zu achten. Sollte Bt-Mais für den Anbau freigegeben werden, sollten Nützlinge, darunter möglichst ein spezialisierter Antagonist gegenüber Blattläusen, anbaubegleitend beobachtet werden. Diese Untersuchungen können in Zusammenhang mit den Erhebungen der Begleitfauna durchgeführt werden (s.u.).

Bienen und andere Bestäuber: Mais wird von Bienen besucht. Nebeneffekte auf Bienen sollten deshalb einen Kernpunkt in der Risikoforschung darstellen. Die Bienensicherheit von Bt-Mais ist zwar von Antragstellern untersucht worden, jedoch wurden lediglich akute Kurzzeiteffekte überprüft, aus denen nur sehr schwer Rückschlüsse auf langfristige Nebenwirkungen gezogen werden können. Deshalb sollte der Einfluss von Bt-Mais auf Bienen nach der Zulassung anbaubegleitend weiter untersucht werden.

Zersetzer: Anbaubegleitend sollte langfristig das Vorkommen unterirdisch lebender Regenwürmer, zum Beispiel *L. terrestris*, beobachtet werden. Andere Zersetzer, die als Indikatoren anbaubegleitend geprüft werden könnten, sind Springschwänze.

Mikrobielle Diversität und chemischer Zustand des Bodens: Die mikrobielle Diversität und der Nährstoffkreislauf sollte aufgrund ihrer Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit längerfristig anbaubegleitend beobachtet werden. Wünschenswert wäre eine umfassende Überwachung der Bodenfruchtbarkeit. Eine Koordination mit bodenbiologischen Monitoring-Programmen, sollten diese in der Schweiz etabliert werden, ist unbedingt empfehlenswert.

Begleitflora und-fauna:

Verwandte Wildarten: Mais hat hier in Europa keine verwandten Arten, eine Auskreuzung des Bt-Gens ist nicht möglich.

Allgemeine Begleitflora und Begleitfauna: Die Lebensraumqualität von Bt-Mais, vor allem für Tiere (Kleinsäuger, epigäische Arthropoden, seltene Arten v.a. Schmetterlinge), sollte allgemein evaluiert werden.

5.4 Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit

Wichtige agronomische Aspekte beim Anbau von Bt-Mais, die ermittelt werden sollten, sind neben der Charakterisierung des Standortes und der Anbaupraxis vor allem der Einsatz von Pestiziden und Düngemittel und der Ertrag.

Durchwuchs in Folgekultur: Durchwuchsprobleme von Bt-Mais sind wegen der geringen Kältetoleranz in der Schweiz nicht zu erwarten.

Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen: Der Pollenflug sollte beobachtet und das Auskreuzen auf Mais in Nachbarfelder möglichst vermieden werden. Gerade in Zuchtgebieten oder der Nähe von biologisch bewirtschafteten Feldern sollten Mindestabstände zwischen Feldern gesetzlich festgelegt werden. Mindestabstände sind bereits festgelegt bei der Saatgutproduktion (200 m für Hybrid-Produktion, 300 m bei Herstellung des Basissaatgutes). Ausserdem sollten Maximalkonzentrationen an DNA und des Toxins, die in gentechfreiem Saatgut oder Produkten enthalten sein dürfen, gesetzlich festgelegt werden.

Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes: Im Hinblick auf die Lagerung in Genbanken sollte die Keimfähigkeit des Maiskorns nach fünf und zehn Jahren im Vergleich zu konventionellen Maissorten überprüft werden.

6 Fallbeispiel Weizen mit Pilzresistenz (Überexpression von Chitinase)

Bei einer pilzresistenten Weizensorte würde sich das Monitoring-Programm aufgrund von Unterschieden in der Biologie und im Schaderregerbefall etwas ändern. Die Parameter, die beim Anbau von Chitinase-Weizen nach der Zulassung untersucht werden sollten, sind abschliessend in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: Parameter, die in der Nachzulassungsforschung von Chitinase-Weizen innerhalb des Agrarraumes berücksichtigt werden sollten (fett markiert).

Bereich	Parameter
Kulturpflanze	<ul style="list-style-type: none"> Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz Auffälligkeiten im Feld Inhaltsstoffe Nektarbildung
Gene und Genprodukte	<ul style="list-style-type: none"> Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft Menge an Ernterückständen Abbau des Genproduktes in Erntegut und Ernterückständen Abbau des Genproduktes im Boden Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer (HGT)
Umwelt Zielorganismen	<ul style="list-style-type: none"> Resistenzentwicklung von <i>Puccinia</i> spp., <i>E. graminis</i>, <i>S. nodorum</i> Entstehen neuer Virusarten, Erweiterung des Wirtskreises
Nicht-Zielorganismen	<ul style="list-style-type: none"> Auswirkungen auf Nicht-Zielkrankheitserreger und -schädlinge Auswirkungen auf Nützlinge und Gegenspieler Auswirkungen auf Bienen und andere Bestäuber Auswirkungen auf Zersetzer (z.B. Regenwürmer, Springschwänze) Auswirkungen auf die mikrobielle Diversität /chemischer Zustand Boden Auswirkungen auf spezifische Indikator-Organismen (z.B. Mykorrhiza, Rhizobien) Auswirkungen auf bodenbürtige Pathogene
Begleitflora und -fauna	<ul style="list-style-type: none"> Auswirkungen auf verwandte Wildarten Auswirkungen allgemein auf Begleitflora und -fauna

Fortsetzung – Tabelle 4

Bereich	Parameter
Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Standortbedingungen • Anbaupraxis • Pestizideinsätze, Düngemittelinträge, Rückstände in der Umwelt • Ertrag • Erosion • Bodenfruchtbarkeit • Durchwuchs in Folgekultur • Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen • Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes

6.1 Kulturpflanze

Wachstumsveränderungen und Verwilderungstendenz: Die Konkurrenzkraft des Weizens reicht nicht für eine Persistenz ausserhalb des Ackers, daher ist die Gefahr des Verwilderns nicht gegeben. Die Transformation mit Chitinase wird die Ausbreitungstendenz nicht ändern, eine Begleitforschung nach der Zulassung ist deshalb nicht erforderlich.

Auffälligkeiten im Feld: Für Auffälligkeiten im Feld sollte eine Meldepflicht von Seiten der Landwirte eingeführt werden. Ungewöhnliche Merkmale sind dann umgehend an die für das Monitoring zuständigen Stellen oder Beratungsdienste zu melden.

Inhaltsstoffe: Chitinase in transgenem Weizen wird konstitutiv exprimiert, womit ihre Konzentration auch in den Körnern hoch sein wird. Deshalb sollte die Toxizität und Allergenität von Chitinase für den Menschen und der Einfluss der Transformation auf die Backqualität (Glutenin- und Gliadin-Gehalt des Mehls) sorgfältig abgeklärt werden, bevor neue Pflanzensorten für den Markt zugelassen werden (s. Kapitel 3). Diese Parameter sollten allerdings im Rahmen des Zulassungsverfahrens (FSV, Sortenprüfung) geprüft werden. Da Weizen keine sonstigen toxischen Sekundärmetaboliten besitzt, ist ein weiteres Monitoring von Inhaltsstoffen nach der Zulassung nicht erforderlich.

Nektarbildung: Nektarbildung ist bei Weizen nicht bekannt.

6.2 Gene und Genprodukte

Genexpression und Stabilität der gewünschten Eigenschaft: Eine hohe Expression auch während ungünstiger Umweltbedingungen ist Voraussetzung für eine erfolgreiche Verminderung des Pilzbefalls. Stabilität und Niveau der Expression und Stabilität der Pilzresistenz werden während des Zulassungsverfahrens, im Rahmen von Freisetzungsverordnung und Sortenprüfung, getestet. Eine Nachzulassungs-Monitoring ist also nicht unbedingt erforderlich. Da jedoch die Resistenz im Feld nicht unbedingt den Erwartungen aus den eingeschränkten Freisetzungsversuchen entsprechen muss, ist deshalb anzuraten, auf die Wirksamkeit des Resistenzmechanismus, insbesondere unter extremen Umweltbedingungen, auch nach der Zulassung zu achten.

Menge an Ernterückständen: Wenn im Rahmen der Sortenprüfung keine diesbezüglichen Untersuchungen durchgeführt werden, sollte die Menge an Ernterückstände in den ersten Jahren anbaubegleitend festgestellt werden.

Abbau des Genproduktes in Erntegut und Ernterückständen: Der Antragsteller sollte vor dem Inverkehrbringen der Pflanzen Angaben zum Abbau bzw. der Anreicherung der Chitinase im Erntegut und in Pflanzenteilen und Ernterückständen liefern. Das gibt Hinweise, wieviel Chitinase in die Nahrungskette gelangt. Darüber hinaus kann zusammen mit der Menge an Ernterückständen abgeschätzt werden, wie hoch der Bodeneintrag von Chitinase pro Vegetationsperiode ist.

Abbau des Genproduktes im Boden: Eine Anreicherung von Chitinase im Boden könnte durch ihre Wirkung gegen Insekten und Pilze langfristige Folgen für die Bodenfruchtbarkeit haben. Um eine Risikoabschätzung zu ermöglichen, sollte deshalb vor der Marktzulassung der natürlich vorkommende Chitinasegehalt im Boden untersucht und geklärt werden, inwieweit Chitinasen über Wurzeln (Exsudate, Gewebeabbau) oder von chitinaseexprimierenden Mikroorganismen freigesetzt werden. Daraufhin sollte im Vergleich dazu festgestellt werden, ob der Anbau von chitinaseexprimierenden Weizen diesen Gehalt beeinflussen kann. Da Ergebnisse aus Labor- und Freisetzungsversuche nicht auf die grossräumigen Verhältnisse schliessen lassen, wird es erforderlich sein, die Persistenz von Chitinasen im Boden in Abhängigkeit von Umweltbedingungen und Bodeneigenschaften zu untersuchen.

Abbau der DNA im Boden und horizontaler Gentransfer: Der Abbau, die langfristige Anreicherung und der Transfer von Antibiotikaresistenzgenen, soweit diese noch als Markergene verwendet werden, auf Mikroorganismen sollte auch nach der Zulassung unter verschiedenen Umweltbedingungen überwacht werden. Um zu entscheiden, ob auch der Transfer des Chitinase-Gens ökologische Relevanz besitzt und beobachtet werden sollte, sind vorab Untersuchungen zu dem natürlich vorkommenden Chitinasegehalt im Boden und dem Selektionsvorteil für die jeweiligen Mikroorganismen nötig.

6.3 Umweltauswirkungen

Anpassung von *Puccinia spp.*, *E. graminis*, *S. nodorum* (Resistenzentwicklung): Der Selektionsdruck auf die Pilze, Resistenzen zu entwickeln, ist nicht sehr gross, da die Pilze nicht vollständig bekämpft, sondern lediglich in ihrer Entwicklung beeinträchtigt werden. Andererseits durchlaufen Pilze während einer Vegetationsperiode viele Generationen und haben dadurch das Potential, sich schnell an veränderte Umweltbedingungen anzupassen. Die erhöhte Präsenz von Chitinasen im Feld kann deshalb schneller als vermutet zu einer Anpassung der Schaderreger an diese veränderten Bedingungen führen. Eine langfristige Analyse der vorkommenden Stämme und die Beobachtung der Befallsintensität und der Virulenz der Schaderreger während des Anbaus von Chitinase-Weizen ist daher unbedingt anzuraten.

Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen:

Nicht-Zielkrankheitserreger und –schädlinge: Chitinasen wirken unspezifisch und sind gegenüber Pilzen, die Chitin als Gerüstsubstanz besitzen, breit wirksam. Darüber hinaus können auch phytophage Insekten von Chitinasen beeinträchtigt werden, da auch sie Chitin im Exoskelett und den Wänden des Verdauungstraktes enthalten. Umgekehrt enthalten viele Krankheitserreger kein Chitin, so dass diese bei weiträumiger Populationsabnahme der wichtigsten Krankheiten und eventuell tierischer Schaderreger einen selektiven Vorteil besitzen und sich ausbreiten könnten. Der Befall von Chitinase-Weizen mit Krankheits- und Schaderregern sollte deshalb unbedingt anbaubegleitend beobachtet werden. Kommt es zu einem vermehrten Eintrag von Chitinase in den Boden, sind Verschiebungen innerhalb der Mikroorganismengesellschaft möglich. Deshalb sollten bei Chitinase-Weizen Mikroorganismen, vor allem der Pathogen-Gehalt des Bodens, beobachtet werden (s.u.).

Nützlinge und Gegenspieler: Im Rahmen der Zulassung muss als ökotoxikologische Prüfung die Nebenwirkung von Chitinase auf Nützlinge untersucht werden. Es ist dabei auf adäquate Versuchsmethodiken zu achten. Neben direkten toxischen Effekten kann der Anbau von Chitinase-Weizen aber auch indirekte Effekte auf Nützlingspopulationen haben, z.B. durch schlechte Beutequalität oder Beutemangel. Komplexe tritrophische Interaktionen sollten bei der anbaubegleitenden Sicherheitsforschung unbedingt beachtet und nach der Zulassung längerfristig beobachtet werden.

Bienen und andere Bestäuber: Eine anbaubegleitende Forschung ist bei Weizen nicht erforderlich, da er von Bienen nicht besucht wird und er keine Nahrungsquelle für sie darstellt.

Zersetzer: Anbaubegleitend sollte langfristig die Abundanz unterirdisch lebender Regenwürmer, zum Beispiel *Lumbricus terrestris*, beobachtet werden. Auch Nebenwirkungen auf Springschwänze als Vertreter der Insekten sollten abgeklärt und längerfristig beobachtet werden.

Mikrobiologische Diversität und chemische Zusammensetzung des Bodens: Der Eintrag von erheblichen Mengen von Chitinase in den Boden kann bei persistenter Aktivität weitreichende Veränderungen der Mikroorganismenpopulationen, vor allem innerhalb der Pilze, nach sich ziehen. Deshalb ist gerade hier das Monitoring bodenbiologischer Parameter (mikrobielle Biomasse, Aktivität und Diversität) aufgrund ihrer Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit anbaubegleitend zu empfehlen. Um die Daten interpretieren zu können, sind darüber hinaus physikalische und chemische Parameter erforderlich. Wünschenswert wäre eine umfassende Überwachung der Bodenfruchtbarkeit.

Spezifische Indikator-Organismen: Mykorrhiza: Neben allgemeinen mikrobiologischen Eigenschaften sollte der Effekt auf mutualistische Pilze der Gattung Mykorrhiza untersucht werden. Sie reagieren empfindlich gegenüber ackerbaulichen Massnahmen und können so eine Indikatorfunktion für Bodenfruchtbarkeit übernehmen. Mykorrhizapilze reagieren im Feld auf pilzresistente Kulturpflanzen und im Labor konnten vereinzelt Effekte von transgenen chitinase-exprimierenden Pflanzen festgestellt werden.

Bodenbürtige Pathogene: Durch übermässige Mengen an Chitinase im Boden ist es möglich, dass es zu Veränderungen in der Gesellschaft bodenbürtiger pilzlicher Pathogene kommt, die auf lange Sicht auch andere Kulturen betreffen kann. Das Vorkommen und die Verbreitung pathogener Pilze in Boden sollte möglichst Teil des Bodenmonitorings sein.

Begleitflora und -fauna:

Verwandte Wildarten: Als potentieller Kreuzungspartner kommt in der Schweiz *Aegilops cylindrica* in Frage, wobei die Verbreitung dieses Grases sehr gering ist. Bislang wurden drei Populationen im Tessin in Gebieten gefunden, wo Weizen nicht vorrangig angebaut wird. Auch ist die erfolgreiche Hybridisierung der beiden Arten nicht endgültig geklärt; diese Frage ist momentan Gegenstand eines Forschungsprojektes des Nationalfonds (Felber F., Ammann K. & Küpfer P.: Gene flow in selected Swiss crops and related weeds). Dazu kommt, dass Weizen nahezu ausschliesslich selbstbefruchtend ist, Fremdbefruchtung ist je nach Witterung und Sorte unterschiedlich und liegt durchschnittlich bei 5%. Aufgrund der geringen Auskreuzung sind z.B. bei der Züchtung und Sortenvermehrung keine Abstände zwischen den Feldern vorgeschrieben. Die Wahrscheinlichkeit, dass Chitinase-Gene auf die verwandte Grasart übergehen, ist also sehr gering. Dementsprechend ist ein Monitoring nicht unbedingt erforderlich.

Allgemeine Begleitflora und Begleitfauna: Der Schutz der Umwelt gewinnt in der Agrarpolitik zunehmend an Bedeutung. Deshalb ist es sinnvoll, die Lebensraumqualität von Chitinase-Weizen allgemein zu evaluieren.

6.4 Aspekte der Agronomie und der Nachhaltigkeit

Wichtige agronomische Aspekte beim Anbau von Chitinase-Weizen, die ermittelt werden sollten, sind neben der Charakterisierung des Standortes und der Anbaupraxis der Einsatz von Pestiziden, v.a. der Fungizide und Düngemittel, der Pestizidrückstand (Schadstoffgehalt im Boden und Gewässer) und der Ertrag.

Durchwuchs in Folgekultur: Erhöhte Durchwuchsprobleme von Weizen durch die Transformation mit Chitinase sind nicht zu erwarten.

Vertikaler Gentransfer auf Kulturpflanzen: Pollenflug und Auskreuzung bei Weizen ist vernachlässigbar. Infolgedessen scheinen Mindestabstände zu biologisch bewirtschafteten Feldern wünschenswert, jedoch nicht zwingend notwendig zu sein.

Qualität und Lagerfähigkeit des Erntegutes: Die konstitutive Chitinase-Expression kann negative Auswirkungen auf die Backqualität des Weizens haben. So könnte zum Beispiel durch die erhöhte Chitinaseexpression (s.o. Genexpression) der Gehalt an Gluten (Glutenin und Gliadin) vermindert sein. Auch kann Chitinase, wenn sie nach der Ernte und dem Mahlen des Kornes noch aktiv ist, Hefepilze, die beim Backen eingesetzt werden, in ihrer Wirksamkeit beeinträchtigen. Diese Qualitätsmerkmale sollten jedoch bei der Sortenprüfung im Rahmen von Backversuchen sorgfältig abgeklärt werden. Im Hinblick auf die Vorratslagerung und die Lagerung in Genbanken sollte gewährleistet sein, dass der hohe Chitinaseanteil im Korn keine Auswirkungen auf die Krankheitsanfälligkeit oder die Lagerfähigkeit des Erntegutes besitzt. Deshalb sollte in Begleitstudien die Keimfähigkeit des Weizenkorns nach einem, zwei, fünf und zehn Jahren untersucht werden. Auch wäre es interessant zu beobachten, inwieweit sich der Befall von Vorratskrankheiten und -schädlingen verändert. Es ist denkbar, dass der erhöhte Chitinasegehalt im Korn sich positiv auf den Vorratsschutz auswirkt.

7 Fazit und Empfehlungen

1. Anbaubegleitende Forschung nach der Zulassung von transgenen Pflanzen ist wissenschaftlich zu begründen und wird auch zukünftig für die Bewilligung des Inverkehrbringens gesetzlich verlangt. So sind manche langfristigen Auswirkungen auf die Umwelt aufgrund der Plastizität von Eigenschaften und einer hohen Variabilität der Umweltbedingungen basierend auf den Ergebnissen aus zeitlich und räumlich begrenzten Freisetzungsversuchen nicht vorhersehbar. Darüber hinaus wird die Übertragung und Verbreitung von Eigenschaften über Art- und Reichsgrenzen hinweg, ermöglicht durch gentechnische Methoden, ökologische und evolutive Prozesse in anderem Masse beeinflussen als es die züchterische Tätigkeit bis jetzt getan hat. Die Notwendigkeit, aus diesen Gründen einige Parameter auch nach der Zulassung anbaubegleitend zu untersuchen, wird in vielen Ländern erkannt und derzeit sind z.B. in der EU, in Frankreich und in Deutschland Bestrebungen im Gange, derartige Programme gesetzlich festzuschreiben und zu erstellen. Begleituntersuchungen nach der Zulassung sind auch bei der Anwendung von bestimmten Pflanzenschutzmitteln vorgeschrieben, zum Beispiel sind in der Schweiz die Vertreiber von Fungiziden gegen die Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) der Kartoffel verpflichtet, die Resistenzentwicklung des Pathogens zu beobachten und zu melden.

2. Nachzulassungsuntersuchungen können unterschieden werden in Begleitforschung und Monitoring. Unter Begleitforschung werden hier zeitlich und räumlich befristete Projekte, die Kausalzusammenhänge und Mechanismen aufdecken sollen, bezeichnet. Monitoring dagegen ist ein langfristiges und weiträumiges Beobachten, mit dem Ziel, als Früherkennungssystem möglichst frühzeitig Umweltveränderungen zu erkennen. In der Praxis werden voraussichtlich erst Erkenntnisse aus der Begleitforschung den Anstoss für ein Monitoring liefern.
3. Da die Umwelt kein statisches System ist, sondern sich ständig verändert, braucht es eine Vergleichsbasis, um negative Effekte von transgenen Pflanzen erfassen zu können. In der Schweiz erfolgt der landwirtschaftliche Anbau hauptsächlich nach den Richtlinien der Integrierten Produktion (IP). Da der Einsatz von transgenen Pflanzen im Biologischen Landbau momentan nicht erlaubt ist, werden sie von daher in erster Linie in der IP zur Anwendung kommen. Als Vergleichsbasis bei einem Monitoring von transgenen Pflanzen wird deshalb die Integrierte Produktion ohne transgene Pflanzen vorgeschlagen.
4. Bei der Auswahl der Parameter für die anbaubegleitende Forschung nach der Zulassung wurden Erfahrungen aus der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln berücksichtigt. Ausserdem haben wir uns an dem Leitbild der Nachhaltigkeit orientiert und Indikatoren, die die Nachhaltigkeit eines Anbausystems messen sollen, mit einbezogen.
5. Ausgehend von dem Leitbild der nachhaltigen Landwirtschaft sind viele der möglichen Auswirkungen grundsätzlich nicht erwünscht und sollten deshalb unabhängig von Pflanzenart und Eigenschaft beobachtet werden. Weiterhin wird es aus organisatorischen Gründen wahrscheinlich nicht möglich sein, für jede neu zugelassene Pflanzensorte ein neues, unterschiedliches Monitoring-Programm durchzuführen. Das Monitoring sollte langfristig angelegt sein und die gesamte Agrarstruktur und nicht nur einzelne Felder berücksichtigen. Deshalb haben wir eine Liste von Parameter erarbeitet, die für alle zugelassenen transgenen Pflanzensorten anwendbar ist. Es können jedoch je nach Eigenschaften der Pflanze, des Genproduktes und der Umgebung einzelne Parameter entfallen.
6. Der Entscheid für oder gegen eine anbaubegleitende Nachzulassungsforschung wird die Ergebnisse aus Untersuchungen berücksichtigen, die im Rahmen des Zulassungsverfahrens durchgeführt worden sind. Um über Bewilligungen von transgenen Pflanzensorten und die damit verknüpften Auflagen wissenschaftlich fundiert entscheiden zu können, ist es unseres Erachtens notwendig, einige dieser Untersuchungen, z.B. Nützlingsprüfungen, in Zukunft auf ihre Aussagekraft hin zu überprüfen und zu verbessern. Analog zu der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln sollten die Prüfungen standardisiert und festgeschrieben werden.
7. Aus den Erfahrungen mit Pflanzenschutzmitteln sind für die Zulassung von transgenen Pflanzen folgende Verfahrensweisen oder die Schaffung folgender Einrichtungen als sinnvoll zu erachten: transgene Pflanzen sollten provisorische, d.h. zeitlich befristete und evtl. an Auflagen verknüpfte Zulassungen erhalten. Dieses Verfahren hat sich bei Pflanzenschutzmitteln bewährt und ermöglicht es, ohne grosse juristische Hürden Gegenmassnahmen, zum Beispiel eine Rücknahme der Bewilligung, zu ergreifen, sollten negative Auswirkungen festgestellt werden. Es hat sich ebenfalls bewährt, eine Schlichtungskommission einzurichten, die zwischen Industrie und Staat vermittelt, falls keine Einigung über einen Rückzugsentscheid zwischen den beiden Parteien erzielt werden kann. Rückzugsentscheide müssen immer case-by-case getroffen werden.

8. Um Kosten zu minimieren und Synergien freizusetzen, ist die Verknüpfung des Monitorings von transgenen Pflanzen mit bereits etablierten Monitoring-Programmen in der Schweiz, zum Beispiel Beobachtung der Bodenfruchtbarkeit (NABO, eventuell zukünftig auch Bodenbiologie), Biodiversitätsmonitoring (BDM - CH) unbedingt zu empfehlen.
9. Ein Monitoring sollte breitflächig und langfristig angelegt werden, da Veränderungen von manchen umweltrelevanten Parametern erst nach Jahren feststellbar sein werden. Aus diesen Gründen ist es empfehlenswert, Landwirte in das Monitoring über Meldepflichten oder Pflanzenberatungsdienste miteinzubeziehen. Es ist ebenfalls sinnvoll, Anbauorte und -mengen zu registrieren, zum Beispiel über Verkaufsstatistiken oder Meldepflichten.

8 Literatur

KOWARIK I. 1996. Auswirkungen von Neophyten auf Ökosysteme und deren Bewertung. in: UBA (Umweltbundesamt) (Ed.): Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen (Arbeitstagung am 5./6. Oktober 1995 in Berlin). Heft 58/96. Berlin, Umweltbundesamt. pp. 119-155.

LANDSMANN J. & GRASER E. 1998. Elimination of agrobacteria from transgenic plants (Abstract). Ecological risks and prospects of transgenic plants, where do we go from here? A dialogue between biotech industry and science. Bern, 28-31. January 1998. pp. 12.

NEEMANN G. & BRAUN P. 1997. Freisetzungspraxis und ökologische Begleitforschung. in: Brandt P. (Ed.): Zukunft der Gentechnik. Basel Boston Berlin, Birkhäuser. pp. 189-207.

Beteiligte Institutionen

Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des Schwerpunktprogrammes Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds (BATS)
Clarastrasse 13, CH-4058 Basel

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL)
Reckenholz, CH-8046 Zürich

Institut für Agrarwirtschaft
Gruppe *Betriebswirtschaft und Ökonomie des ländlichen Raumes*
Eidg. Technische Hochschule Zürich, CH-8092 Zürich

Institut für Pflanzenwissenschaften
Gruppe *Ackerbau und Pflanzenzüchtung*
Eidg. Technische Hochschule Zürich, CH-8092 Zürich

Botanischer Garten Bern
3013 Bern

Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V.
Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie, D-15374 Müncheberg

Fachstudien zum TA-Projekt

BATS Report 1/6 TA-Projekt „*Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*“
C. Maeschli (1998) Das Leitbild Nachhaltigkeit – Eine Einführung, 35 S.

BATS Report 2/6 TA-Projekt „*Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*“
A. Raps, A. Hilbeck, F. Bigler, P. M. Fried, M. Messmer (1998) Konzept und praktische Lösungsansätze zur anbaubegleitenden Forschung beim Einsatz transgener Kulturarten, 96 S.

BATS Report 3/6 TA-Projekt „*Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*“
C. Eggenschwiler, B. Lehmann, C. Rudmann, H.P. Wolf (1999) Betriebswirtschaftliche Analyse des Einsatzes biologisch-technischen Fortschrittes unter Einbezug gentechnischer Varianten, 66 S.

BATS Report 4/6 TA-Projekt „*Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*“
A. Werner, G. Berger, U. Stachow, M. Glemnitz (1999) Abschätzungen der Auswirkungen transgener Sorten auf Umweltqualitätsziele, 112 S.

BATS Report 5/6 TA-Projekt „*Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*“
H. J. Schmid, O. Käser, B. Feil, P. Stamp (1999) Kriterien für die Pflanzenzüchtung unter besonderer Berücksichtigung des Potentials der modernen Biotechnologie, 53 S.

BATS Report 6/6 TA-Projekt „*Nachhaltige Landwirtschaft und Grüne Gentechnik*“
K. Ammann, P. Rufener, Y. Jacot (1999) Konzept und praktische Lösungsansätze zur ökologischen Begleitforschung, 25 S.

Die Fachstudien können bei der Fachstelle BATS, Basel bezogen werden.