

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	4
EINLEITUNG	6
TEIL I: FALLSTUDIEN ZU SECHS KULTUREN	7
1 KARTOFFELANBAU IN DER SCHWEIZ	7
1.1 Der nachhaltige Kartoffelanbau: ein Idealszenario.....	7
1.2 Der real existierende Kartoffelanbau.....	7
1.3 Die Schlüsselprobleme des Kartoffelanbaus.....	8
1.4 Die Lösungsstrategien.....	8
1.5 Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau.....	9
1.6 Hauptforschungsgebiete Gentechnik.....	11
1.7 Bewertung der derzeitigen Situation und Ausblick.....	13
1.8 Die Schadorganismen im Kartoffelanbau.....	14
1.8.1 Kraut- und Knollenfäule (<i>Phytophthora infestans</i>).....	14
1.8.2 Schwarzbeinigkeit/Bakterielle Welke (<i>Erwinia carotovora</i>).....	16
1.8.3 Rhizoctonia-Krankheit.....	16
1.8.4 Virosen.....	17
1.8.5 Kartoffelkäfer (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>).....	17
1.8.6 Nematoden (<i>Globodera rostochiensis</i> , <i>G. pallida</i>).....	18
EXKURS: VIRUSRESISTENTE TRANSGENE PFLANZEN	23
EXKURS: DER FALL PUSZTAI	24
2 WEIZENANBAU IN DER SCHWEIZ	26
2.1 Der nachhaltige Weizenanbau: ein Idealszenario.....	26
2.2 Der real existierende Weizenanbau.....	26
2.3 Die Schlüsselprobleme des Weizenanbaus.....	26
2.4 Die Lösungsstrategien.....	27
2.5 Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau.....	28
2.6 Hauptforschungsgebiete Gentechnik.....	29
2.7 Bewertung der heutigen Situation und Ausblick.....	31
2.8 Schadorganismen im Weizenanbau.....	32
2.8.1 Fusariosen (<i>Fusarium spp.</i>).....	32
2.8.2 Halmbrechkrankheit (<i>Pseudocercospora herpotrichoides</i>)	33
2.8.3 Septoria-Spelzenbräune und -Blattflecken (<i>Septoria nodorum</i>)	34
2.8.4 Braunrost (<i>Puccinia recondita</i>).....	34
2.8.5 Echter Mehltau (<i>Erysiphe graminis</i>).....	35
2.8.6 Gelbverzwergung (Barley Yellow Dwarf Virus).....	36
2.8.7 Getreideblattläuse.....	36
EXKURS: RÄUMLICHE DIVERSIFIZIERUNGSSTRATEGIEN (SORTENMISCHUNGEN) ...	39
EXKURS: ALLERGIEN	41
3 MAISANBAU IN DER SCHWEIZ	42
3.1 Der nachhaltige Maisanbau: ein Idealszenario.....	42
3.2 Der real existierende Maisanbau.....	42
3.3 Die Schlüsselprobleme des Maisanbaus.....	42
3.4 Die Lösungsstrategien.....	43
3.5 Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau.....	44
3.6 Hauptforschungsgebiete Gentechnik.....	45
3.7 Bewertung der heutigen Situation und Ausblick.....	48
3.8 Schadorganismen im Maisanbau.....	48

3.8.1	Stengelfäule (<i>Fusarium culmorum</i> ; <i>Gibberella zeae</i>).....	48
3.8.2	Maiszünsler (<i>Ostrinia nubilalis</i>).....	49
3.8.3	Maisbeulenbrand (<i>Ustilago maydis</i>).....	50
3.8.4	Helminthosporium-Blattflecken.....	50
3.8.5	Maisrost (<i>Puccinia sorghi</i>).....	51
3.8.6	Drahtwürmer (<i>Agriotes</i> spp.).....	51
3.8.7	Fritfliege (<i>Oscinella frit</i>).....	51
EXKURS: INSEKTENRESISTENZ DURCH BT-GENE		54
4 RAPSANBAU IN DER SCHWEIZ		56
4.1	Der nachhaltige Rapsanbau: ein Idealszenario.....	56
4.2	Der real existierende Rapsanbau.....	56
4.3	Die Schlüsselprobleme des Rapsanbaus.....	56
4.4	Die Lösungsstrategien.....	56
4.5	Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau.....	57
4.6	Hauptforschungsgebiete Gentechnik.....	58
4.7	Bewertung der heutigen Situation und Ausblick.....	61
4.8	Fallbeispiele Schadorganismen.....	62
4.8.1	Rapserrdfloh (<i>Psylliodes chrysocephalus</i>).....	62
4.8.2	Rapsglanzkäfer (<i>Meligethes aeneus</i>).....	63
4.8.3	Rapsstengelrüssler (<i>Ceuthorrhynchus napi</i>).....	63
4.8.4	Kohlschotengallmücke (<i>Dasineura brassicae</i>).....	64
4.8.5	Rapskrebs (<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>).....	64
4.8.6	Wurzelhals- und Stengelfäule (<i>Leptosphaeria maculans</i>).....	65
4.8.7	Schnecken (<i>Deroceras</i> spp., <i>Arion hortensis</i>).....	65
EXKURS: PROGNOSEMODELLE IM PFLANZENSCHUTZ.....		69
EXKURS: ANTIBIOTIKARESISTENZEN IN TRANSGENEN PFLANZEN.....		70
5 SALAT-ANBAU IN DER SCHWEIZ.....		71
5.1	Der nachhaltige Anbau von Salat: ein Idealszenario.....	71
5.2	Der real existierende Anbau von Salat.....	71
5.3	Die Schlüsselprobleme des Anbaus von Salat.....	71
5.4	Die Lösungsstrategien.....	72
5.5	Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau.....	72
5.6	Hauptforschungsgebiete Gentechnik.....	73
5.7	Bewertung der heutigen Situation und Ausblick.....	74
5.8	Schadorganismen im Salatanbau.....	75
5.8.1	Falscher Mehltau (<i>Bremia lactucae</i>).....	75
5.8.2	Salatwurzellaus (<i>Pemphigus bursarius</i>).....	75
5.8.3	Pilzliche Salatfäulen (Grauschimmel, Sklerotinia, Schwarzfäule).....	76
5.8.4	Blattläuse.....	76
5.8.5	Schnecken (<i>Deroceras</i> spp., <i>Arion</i> spp., <i>Milax</i> spp., <i>Limax</i> spp.).....	77
EXKURS: HERBIZIDTOLERANTE PFLANZEN.....		79
6 REBBAU IN DER SCHWEIZ		81
6.1	Der nachhaltige Rebbau: ein Idealszenario.....	81
6.2	Der real existierende Rebbau.....	81
6.3	Die Schlüsselprobleme:.....	81
6.4	Die Lösungsstrategien.....	82
6.5	Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau.....	83
6.6	Hauptforschungsgebiete Gentechnik.....	84
6.7	Bewertung der derzeitigen Situation und Ausblick.....	85
6.8	Schadorganismen im Rebbau.....	86
6.8.1	Der Falsche Mehltau (<i>Plasmopara viticola</i>).....	86
6.8.2	Der echte Mehltau (<i>Uncinula necator</i>).....	87
6.8.3	Die Graufäule (<i>Botrytis cinerea</i>).....	87

6.8.4	Der Traubenwickler.....	87
6.8.5	Rotbrenner (<i>Pseudopezicula tracheiphila</i>) und Black Rot (<i>Guignardia bigwellii</i>).....	87
6.8.6	Viren.....	88
EXKURS: INDUZIERTER RESISTENZ		90
EXKURS: NEBENWIRKUNGEN BEI GENTECHNISCHEN VERÄNDERUNGEN (POSITIONSEFFEKTE).....		93
TEIL II: EINE NACHHALTIGE LANDWIRTSCHAFT		94
Einleitung: Das Konzept der Nachhaltigkeit.....		94
7 UMWELTPROBLEME DER KONVENTIONELLEN LANDWIRTSCHAFT.....		96
7.1	Erosion/ Versalzung/ Wüstenbildung.....	96
7.2	Artenverlust.....	96
7.3	Bodenbelastung und Gewässerkontamination.....	97
7.4	Pestizide.....	97
8 TRANSGENE PFLANZEN UND NACHHALTIGKEIT		99
8.1	Ökologische Kriterien.....	99
8.1.1	Herbizidresistenz.....	100
8.1.2	Insektenresistenz.....	100
8.2	Soziale und wirtschaftliche Kriterien.....	100
8.3	Fazit.....	101
EXKURS - PATENTE AUF TRANSGENE PFLANZEN: EINE NEUE ENTWICKLUNG		102
EXKURS: TERMINATORTECHNOLOGIEN: KONTROLLE ÜBER DAS SAATGUT... 		103
9 BIOLANDBAU UND NACHHALTIGKEIT		105
9.1	Ökologische Kriterien.....	105
9.1.1	Beispiel Bodenfruchtbarkeit.....	105
9.1.2	Beispiel Artenvielfalt.....	105
9.2	Soziale und wirtschaftliche Kriterien.....	106
9.2.1	Gesamtökonomie.....	106
9.2.2	Einzelbetrieb.....	106
9.2.3	Schlussfolgerung.....	107
EXKURS: ÖKOLANDBAU UND ARBEITSPLÄTZE.....		109
10 NATURNAHE LANDWIRTSCHAFT OHNE GENTECHNIK - EINE CHANCE FÜR DIE SCHWEIZER LANDWIRTSCHAFT?		110
10.1	Sinkende Akzeptanz für gentechnisch veränderte Lebensmittel.....	110
10.2	Chance für Produkte aus naturnaher Landwirtschaft.....	111
ANNEX.....		113
POTENTIALS AND THREATS OF THE GENETIC ENGINEERING TECHNOLOGY: QUEST FOR AN AFRICAN STRATEGY AT THE DAWN OF A NEW MILLENNIUM... 		113
PFLANZENWAHRNEHMUNG UND PFLANZENKOMMUNIKATION.....		117

Zusammenfassung

Am Ausgangspunkt der vorliegenden Studie stand die Frage, wie eine ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltige Landwirtschaft von morgen aussehen kann. Welche Strategien sind am geeignetsten, um die konkreten Anbauprobleme des Pflanzenbaus in der Schweizer Landwirtschaft zu lösen? Dies wurde an den sechs Fallbeispielen Kartoffeln, Weizen, Mais, Raps, Salat und Reben untersucht. Die aktuellen gentechnischen Ansätze wurden dabei den traditionellen Anbaumethoden und Lösungsansätzen und sowie modernen Forschungsansätzen aus integriertem und biologischem Landbau gegenüber gestellt.

Werden die Probleme zielgerichtet angegangen?

Gentechnische Lösungsansätze und die Schlüsselprobleme der Schweizer Landwirtschaft sind sehr oft nicht deckungsgleich. Die Bekämpfung der problematischsten Schädlinge bei den einzelnen Kulturen steht meist nicht auf der Forschungsagenda der Gentechnik.

Bei der Herstellung transgener Pflanzen steht die **Herbizidresistenz** an oberster Stelle. In der Schweiz spielt aber bei den sechs untersuchten Kulturen die Unkrautproblematik nur gerade beim Mais eine grosse Rolle. Sie kann jedoch auch effizient mit bestehenden biologischen oder integrierten Methoden angegangen werden (mechanische und thermische Unkrautregulierung, Streifenfrüssaat, Herbizide im integrierten Landbau).

An zweiter Stelle steht die Herstellung **insektenresistenter Pflanzen**, so etwa Bt-Mais gegen den Maiszünsler und Bt-Kartoffeln gegen den Kartoffelkäfer. Doch sowohl beim Maiszünsler wie auch beim Kartoffelkäfer liegen gut etablierte biologische Regulierungsmethoden vor. Beim Maiszünsler ist dies die Schlupfwespe *Trichogramma*. Die Sporenpräparate des Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis* werden seit langem erfolgreich als biologisches Schädlingsbekämpfungsmittel in verschiedenen Kulturen angewendet, so auch gegen den Kartoffelkäfer.

Für viele **dringende Probleme der Schweizer Landwirtschaft** - so etwa für Schädlinge und Pilzkrankheiten beim Raps, Pilzkrankheiten, Salatwurzellaus, Blattläuse und bakterielle Fäulen beim Salat, Septoriadürre und Fusariosen im Weizenanbau oder die verschiedenen Mehltauerreger stehen keine oder nur erste, nicht praxisrelevante gentechnische Lösungsansätze bereit.

Die Akteure der gentechnischen Forschung gehen also nicht von einer zielgerichteten Identifikation der **Probleme** aus, sondern von den Möglichkeiten der **Methoden**.

Lösungsansätze im Biolandbau und integrierten Landbau gehen von den konkreten Anbauproblemen und Krankheitsserregern aus, die allerdings meistens nicht als isolierte Einzelfaktoren bekämpft werden, sondern im Rahmen eines umfassenden Systems, das aus vielen verschiedenen Massnahmen besteht. Dabei spielt die Prävention eine zentrale Rolle. Zu diesen Lösungs- und Forschungsansätzen gehören unter anderem: **gute Anbautechnik** (z.B. standortgerechter Anbau, Regulierung des Bestandesklimas, vielseitige Fruchtfolgen, Anbaupausen, ausgewogene Düngung, Förderung der Bodenfruchtbarkeit und des krankheitsabwehrenden Potentials des Bodens mit Kompost), (konventionelle) **Züchtung resistenter Sorten** (bei der auch genetische Diagnosemethoden Fortschritte bringen könnten), Einsatz von umweltverträglichen **Pestiziden** und **Antagonisten**. Zum Beispiel sind im Maisanbau gegen den Maiszünsler der Antagonist *Trichogramma brassicae* sowie *B. thuringiensis*- und *Beauveria bassiana*-Präparate bekannt. Im Rebbau haben gegen den Falschen Mehltau *Erwinia herbicola* und *Fusarium proliferatum* gute Resultate gezeigt. Noch im Forschungsstadium ist zum Beispiel im Kartoffelbau die Unterdrückung von Kartoffelschorf mit suppressiven *Bacillus subtilis*-Stämmen oder die Bekämpfung der Schwarzbeinigkeit mit *Pseudomonas fluorescens*-Stämmen, im Weizenanbau Antagonisten (Pilze) gegen Fusariosen, Halmbruchkrankheit und Braunrost; im Rapsanbau sind verschiedene Vertreter von Schlupfwespen, Nematoden und Protozoen wichtige Parasiten von Rapschädlingen; gegen Salatfäulen wurden *Trichoderma*-Pilze als Antagonisten gefunden.

Auch die **Prognose- und Frühwarnsysteme** versprechen neue Fortschritte in der Regulierung von Schadorganismen: Kenntnisse über die Biologie und Ausbreitung des Schädlings, die nötigen klimatischen Parameter wie Temperatur, Niederschlag und Luftfeuchtigkeit werden in mathematische Modelle eingespielen. Daraus lässt sich das Infektionsrisiko errechnen und können die Applikationstermine optimal gewählt sowie nutzlose Spritzungen vermieden werden. Die mathematischen Modelle werden derzeit laufend verbessert und an die regionalen Verhältnisse angepasst.

In der Schweiz wurden Prognose-Modelle für den Rebbau, den Kernobstbau, den Getreideanbau und den Kartoffelanbau entwickelt oder kommerziell erhältliche Produkte evaluiert und adaptiert. Bisher wurden die Frühwarnsysteme vor allem für die integrierte Produktion entwickelt. Seit 1997 werden diese Methoden am FiBL auch für den Biolandbau evaluiert. **Sortenmischungen** gehören ebenfalls zu den präventiven Methoden, die in allen Anbausystemen angewendet werden. Die Mischung von verschiedenen Sorten ist oft insgesamt gegenüber Krankheitsbefall resistenter, da die verschiedenen Sorten unterschiedlich auf Schaderreger und Umweltbedingungen reagieren. Ein vermutlich grosses Potential liegt bei der **Induzierten Resistenz**, welche sich noch im Forschungsstadium befindet. Pflanzen können sich aktiv gegen Krankheitsbefall wehren. Typischerweise zeigt eine induzierte Pflanze Resistenz gegenüber einer Vielzahl von Pilzen, Bakterien und Viren. Diese Abwehrbereitschaft kann nicht nur durch ein Pathogen induziert werden, sondern auch durch Substanzen, die diesen Angriff simulieren oder in die komplexe Signalkette eingreifen.

Gibt es biologische Grenzen im System?

Es ist wohl kein Zufall, dass die **gentechnische Forschung** für viele der wichtigsten Schädlinge in der Landwirtschaft keine Lösungen aufweist. Die verschiedenen Mehltau-Erreger zum Beispiel, die bei Kartoffeln (Kraut- und Knollenfäule), Reben (Falscher und Echter Mehltau) und Salat (Falscher Mehltau) zu wichtigen Anbauproblemen führen, zeichnen sich durch eine besonders hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit aus. Pflanzen, die gegen Mehltauerreger resistent sind, sind poliresistent, d.h. sie enthalten mehrere Teilresistenzen, die zusammen zu einer guten Resistenz führen und durch ihre Vielfältigkeit auch die Wahrscheinlichkeit eines Resistenzdurchbruchs des Schaderregers stark reduzieren. Die isolierte Verwendung einzelner Resistenzfaktoren mittels Gentechnologie erscheint in diesem Kontext problematisch und es ist fraglich, ob diese Strategie überhaupt zum Erfolg führen kann. Der lineare gentechnische Ansatz könnte zudem dazu führen, dass virulente Schaderreger selektioniert werden, welche dann auch poligen resistente Sorten befallen könnten.

Ansätze im Biolandbau: Der vielfältige Mosaikansatz des Biolandbaues erscheint gerade wegen der grossen Flexibilität und Dynamik von Mehltauerregern die geeignetste Strategie zur Verhinderung von Resistenzdurchbrüchen. Das Massnahmenpaket zur Bekämpfung der Mehltauerreger besteht insbesondere aus: (traditionelle) Züchtung resistenter Pflanzen, Habitatmanagement, Suche nach Antagonisten und umweltverträglichen Fungiziden, Erarbeitung von Frühwarnsystemen, Sortenmischungen und Forschung zur Induktion von pflanzeigenen Resistenzmechanismen. Dieser Ansatz zeigte beispielsweise bei Salat (Falscher Mehltau), Kartoffeln (Kraut- und Knollenfäule) und Reben (Echter und Falscher Mehltau) erste Erfolge. Trotzdem stellen die Mehltauerreger auch den Biolandbau noch vor grosse Probleme (auf Kupferpräparate kann z.B. nicht ganz verzichtet werden). Es besteht ein grosser Forschungsbedarf, der zur Zeit in internationalen Forschungsprogrammen angegangen wird.

Sind die Anbausysteme nachhaltig?

Die **gentechnischen Methoden** können unter gegebenen Rahmenbedingungen grosser Monokulturflächen effizient sein. Sie zementieren damit aber eine bereits als problematisch dargestellte, auf Monokulturen basierende High-input-Landwirtschaft, welche die bekannten Umweltprobleme hauptsächlich mitverursacht (Gewässerverschmutzung, Schädigung der Bodenfruchtbarkeit und Artenverlust).

Die gentechnischen Methoden bewirken zudem kaum eine ökonomische Effizienzsteigerung - transgene Pflanzen sind kaum ertragreicher und benötigen kaum weniger Pestizide. Sie bergen zudem viele unberechenbare und langfristige **Risiken** (Auskreuzung von transgenem Pollen, Resistenzdurchbrüche, Schädigung von Nicht-Ziel-Organismen, Antibiotika-Resistenzen, unerwartete Positionseffekte, Allergien etc.).

Unter ökonomischen und sozialen Kriterien zur Nachhaltigkeit fällt ins Gewicht, dass transgene Pflanzen patentiert werden können, traditionell gezüchtete Pflanzen hingegen nicht. Die durch ein Patent garantierten ausschliesslichen Monopolrechte können für die betroffenen Landwirte und vor allem auch für Länder des Südens zu einer zunehmenden Abhängigkeit und einer Konzentrierung des Saatgut-Weltmarktes auf einige wenige transnationale Life-Science-Konzerne führen. Neue „Terminator-Technologien“ könnten diesen Konzernen eine noch weitergehende Kontrolle über das Saatgut ermöglichen.

Dass der **Biolandbau** ökologisch verträglicher ist, ist einleuchtend. Die ökologischen Vorteile gegenüber dem konventionellen Landbau wurden mehrfach wissenschaftlich belegt (höhere Bodenfruchtbarkeit und Artenvielfalt, weniger Rückstände). Auf der Ebene von Einzelbetrieben zeigen inzwischen mehrere Studien, dass der Biolandbau unter den derzeitigen Rahmenbedingungen eine gute betriebswirtschaftliche Alternative darstellt. Dank starker Diversifizierung der meisten Biobetriebe werden zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen.

Nachhaltige Landwirtschaft - welche Produktion?

Der Biolandbau erfüllt die Forderung nach einer ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltigen Landwirtschaft am besten. Wie diese Studie aufzeigt, liegen trotz vergleichsweise sehr kleinen Mitteln für die meisten Schlüsselprobleme des Landbaus Lösungen oder Lösungsansätze vor. Die zahlreichen innovativen und interdisziplinären Forschungsansätze deuten zudem auf ein hohes Problemlösungspotential hin. Eine konsequente Forschungsförderung könnte Potentiale erschliessen, die auch volkswirtschaftlich sehr lohnend sind. Von allen bisherigen gentechnischen Ansätzen hingegen können für die wichtigen Anbauprobleme in der Schweiz keine substantiellen und nachhaltigen Fortschritte erwartet werden.

Naturnahe Landwirtschaft Schweiz - ohne Gentechnik

Angesichts der wachsenden Opposition in der Schweiz und in Europa gegen gentechnisch veränderte Lebensmittel, angesichts der zunehmenden ökonomischen Schwierigkeiten für diese Stoffe, angesichts der langfristigen und ungeklärten Risiken und angesichts des innovativen Potentials moderner Forschung ohne transgene Veränderungen kann eine naturnahe Landwirtschaft Schweiz, die gänzlich auf GVO-Produkte verzichtet, eine ausgezeichnete nationale und internationale Marktchance für die Schweizer Landwirtschaft darstellen.

Einleitung

Im Zentrum der vorliegenden Studie steht die Frage, wie eine nachhaltige Landwirtschaft von morgen aussehen kann und welche Strategien am geeignetsten erscheinen, um die konkreten Anbauprobleme im Pflanzenbau der Schweizer Landwirtschaft auf nachhaltige Weise zu lösen. Besonderes Gewicht erhält die Gegenüberstellung moderner Forschungsansätze aus dem Biolandbau mit denjenigen der Gentechnik. Die Studie konzentriert sich auf naturwissenschaftliche Fragestellungen, ohne dabei den Kontext gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen ganz aus den Augen zu verlieren. Probleme und Lösungsansätze werden exemplarisch am Fall Schweiz aufgezeigt, doch die meisten Aussagen haben auch für den europäischen Raum ihre Gültigkeit. Ein Beitrag von Hans Herren zur afrikanischen Landwirtschaft (Annex) rundet das Bild ab.

Im ersten Teil, welcher den Kern der vorliegenden Studie bildet, werden die sechs Kulturen Kartoffeln, Weizen, Mais, Raps, Reben und Salat einzeln einer Prüfung unterzogen. Bei jeder Kultur werden die wichtigsten Schaderreger und Krankheiten aufgelistet, welche die Kulturen im Raum Schweiz und Europa befallen. Bei jedem wichtigen Pathogen werden mögliche Lösungsstrategien aufgezeigt und biologische und gentechnische Forschungsansätze miteinander verglichen.

Die Studie soll einen Beitrag dazu leisten, die teilweise sehr abstrakt geführte Diskussion um Chancen und Risiken der Gentechnik und um das Potential moderner Bioforschung zu versachlichen und auf die konkrete Ebene alltäglicher Pflanzenbauprobleme in der Landwirtschaft "hinunterzubrechen".

In einem zweiten Teil werden die Erfahrungen aus Teil I auf der nächst höheren Ebene zusammengefasst. Ausgehend vom Konzept einer nachhaltigen Landwirtschaft haben wir untersucht, inwieweit transgene Pflanzen auf der einen Seite und Biolandbau auf der anderen Seite den Nachhaltigkeitskriterien genügen und wo die Probleme liegen.

Was in dieser Studie fehlt, sind detaillierte agrarökonomische Untersuchungen zu den beiden Zukunftsszenarien. Diese waren ursprünglich eingeplant, mussten aber aus Zeitgründen fallen gelassen werden, damit die Studie noch rechtzeitig im Herbst 1999 zur parlamentarischen Diskussion um die Gen-Lex erscheinen kann.

Am Schluss wird die These zur Diskussion gestellt, dass eine gentechnikfreie und "naturnahe" Landwirtschaft (die über den Biolandbau hinaus auch die Landwirtschaft nach Integrierter Produktion mitbeinhaltet) eine Marktchance für die Schweizer Landwirtschaft sein kann, unter Berücksichtigung von ökologischen, ökonomischen und sozialen Kriterien. Diese Diskussion ist gerade im Hinblick auf die Forderung nach einem zehnjährigen Moratorium von zentraler Bedeutung.

Die Studie wurde in enger Zusammenarbeit vom FiBL (Forschungsinstitut für Biolandbau, Frick, CH), dem Öko-Institut e.V. (Freiburg i.Br., D) und dem Blauen-Institut (Münchenstein, CH) erstellt.

Allen sei an dieser Stelle herzlicher Dank ausgesprochen.

Florianne Koechlin

Teil I: Fallstudien zu sechs Kulturen

Im folgenden werden die sechs Kulturen Kartoffeln, Weizen, Mais, Raps, Salat und Reben betrachtet. Bei jeder Kultur werden zuerst die vorherrschenden Probleme aufgezeigt und mögliche Lösungs- und Forschungsansätze miteinander verglichen. In einem zweiten Teil werden die Schaderreger bei jeder Kultur einzeln untersucht. Zusammen ergeben die sechs Fallbeispiele ein recht repräsentatives Bild zur Schweizer Landwirtschaft.

1 Kartoffelanbau in der Schweiz

1.1 Der nachhaltige Kartoffelanbau: ein Idealszenario

Die Kartoffel (*Solanum tuberosum*) wurde aus mittelamerikanischen Hochebenen als Kulturpflanze in die ganze Welt gebracht. Sie findet günstige Anbaubedingungen unter kühlen und gemässigten Klimaverhältnissen oder in tropischen Hochgebirgen auf Höhen über 2000 m.ü.M. Der nachhaltige Anbau von Kartoffeln beinhaltet die Forderung nach langfristig stabilen, qualitativ einwandfreien Erträgen unter geringstmöglichem Einsatz von Ressourcen. Der ideale Kartoffelacker müsste demnach tolerant gegenüber jeglichem Schädlings- und Krankheitsbefall sein (Altieri 1994) und in eine vielgliedrige Fruchtfolge¹ eingegliedert sein, die eine reiche Flora und Fauna ermöglicht und nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit durch Erosion oder Auswaschung von Nährstoffen verhindert. Kontamination des Bodens und des Grundwassers durch Pestizide und unerwünschte Nebenwirkungen auf die Umgebung durch Abdrift von Pestiziden werden bei idealen Zuständen verhindert.

1.2 Der real existierende Kartoffelanbau

Die Spannweite zwischen den verschiedenen Anbausystemen ist in Bezug auf Nachhaltigkeit enorm. Auf der einen Seite steht der biologische Anbau und auf der anderen Seite der grossflächige konventionelle Anbau in enger Fruchtfolge. Mit seinen geringeren Parzellengrössen, der Anlage bzw. dem Erhalt von Krautstreifen und anderen Ökoelementen² in der Landschaft sowie mit vielgliedrigen, ausgewogenen Fruchtfolgen kommt der Biolandbau dem Nachhaltigkeitsideal am nächsten. Der konventionelle Anbau von Kartoffeln in Monokultur mit hoher Düngungs- und Bodenbearbeitungsintensität führt zu einer Verarmung der Flora und Fauna sowie des Bodenlebens. Die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser³ und Bodenverdichtungen⁴ sind oft dokumentierte ökologische Schäden des intensiven Anbaus.

Im Unterschied zu mehrjährigen Kulturen wie z.B. Obst oder Reben sind bei Kartoffeln während der Vegetationsperiode massive Eingriffe ins Ökosystem Ackerland nötig, die die Ausbildung eines langfristig stabilen Systems verunmöglichen. Als ökologische Bereicherung innerhalb der Parzelle kommt lediglich das Belassen einer Restverunkrautung in Frage. Im grossflächigen, intensiven Kartoffelanbau kommen grosse Mengen von Pestiziden

¹ Fruchtfolge bedeutet, dass auf demselben Feld in einem mehrjährigen Turnus abwechselnd verschiedene Kulturpflanzen angebaut werden. Die biologische Standardfruchtfolge gibt es nicht, als Beispiel sei aber die folgende genannt: Kartoffeln - Zwischenfrucht (Gelbsenf) - Winterweizen - Zwischenfrucht (Sonnenblume/Wicke) - Zuckerrüben - Wintergerste - Klee gras - Klee gras. Die Wahl der Fruchtfolgeglieder wird auf den Boden-Pflanze-Nährstoffhaushalt abgestimmt. Gleichzeitig kann der Infektionsdruck vieler Pflanzenkrankheiten und die Befallsstärke vieler Schädlinge durch mehrjährige Pausen im Anbau einer bestimmten Kultur deutlich reduziert werden. Ein weiterer Effekt einer biologischen Fruchtfolge ist die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und der physikalischen Bodenstabilität.

² Ökoelemente sind Habitate für Nützlinge, die „natürlichen Feinde“ der Schädlinge. Solche Lebensräume sind z.B. Hecken und Gehölze, Wiesenstreifen am Ackerrand, Trockenstandorte (Steinmauern u.ä.) oder extensive Grünlandflächen.

³ Durch Spätmineralisierung der Ernterückstände entsteht im Boden Nitrat, das im Winter und Frühling ins Grundwasser ausgewaschen wird, wenn der Boden nach der Kartoffelernte unbedeckt bleibt. Durch das Einschalten einer Gründüngung (z.B. Gelbsenf) nach den Kartoffeln kann der Nitrat-Stickstoff gebunden werden und steht somit der nächsten Kultur zur Verfügung. Dies ist in biologischen Fruchtfolgen realisiert.

⁴ Bodenverdichtungen im Kartoffelanbau sind vor allem auf den Einsatz schwerer Erntemaschinen zurückzuführen.

zum Einsatz, vor allem zur Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*)⁵, aber auch nachhaltigere Anbausysteme kommen ohne Fungizide kaum zu genügenden Erträgen⁶.

1.3 Die Schlüsselprobleme des Kartoffelanbaus

Das weltweit grösste Problem im Kartoffelanbau ist die **Kraut- und Knollenfäule** (*Phytophthora infestans*). Je nach Region und in einzelnen Jahren können Schwarzbeinigkeit und bakterielle Welke (*Erwinia carotovora*), die *Rhizoctonia solani*-Krankheit und Viren ernsthafte Ertragsausfälle hervorrufen. Weitere Schaderreger sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Bedeutung und Verbreitung von Schaderregern im Kartoffelanbau (nach Oerke *et al.* 1994 und Hooker 1981)

Problem/Krankheit	Schaderreger	Bedeutung	Verbreitung
Kraut- und Knollenfäule	<i>Phytophthora infestans</i>	****	weltweit
Rhizoctonia/Dry Core	<i>Rhizoctonia solani</i>	**	weltweit
Kartoffelschorf	<i>Streptomyces scabies</i>	*	weltweit
Dürrfleckenkrankheit	<i>Alternaria solani</i>	*	weltweit
Trockenfäule	<i>Fusarium spp.</i>	*	weltweit
Pulverschorf	<i>Spongospora subterranea</i>	*	regional ^a
Kartoffelkrebs	<i>Synchytrium endobioticum</i>	*	weltweit
Schwarzbeinigkeit/ Bakterielle Welke	<i>Erwinia carotovora</i> var. <i>atroseptica</i> / <i>E. carotovora</i> var. <i>carotovora</i>	**	weltweit
Blattrollkrankheit	PLRV	**	weltweit
Mosaikvirus	PVX	**	weltweit
Mosaikvirus	PVY	**	regional ^b
Kartoffelkäfer	<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	**	regional ^c
Nematoden	<i>Globodera pallida</i> ; <i>G. rostochiensis</i>	*	regional ^d ; weltweit
Verunkrautung	<i>Chenopodium album</i> , <i>Agropyron repens</i> u.a.	**	weltweit

^a65°N bis 53°S; ^bEuropa, Afrika, Südamerika; ^cEuropa, Nordamerika; ^dNW-Europa, S-Amerika

Mit „Bedeutung“ sind die volkswirtschaftlichen Kosten gemeint, die durch das Problem entstehen; die Schaderreger bis zum Doppelstrich sind am problematischsten.

1.4 Die Lösungsstrategien

Grundsätzlich können Pflanzenschutzprobleme mit drei Strategien angegangen werden:

Prävention – Durch die Anlage von Krautstreifen und durch das Belassen einer Restverunkrautung werden die natürlichen Feinde der Schaderreger gefördert. Das Primärinokulum⁷ wird durch die Verwendung von zertifiziertem Saatgut und konsequentes Beseitigen von Durchwuchskartoffeln⁸ reduziert. Optimales Düngungsmanagement sorgt dafür, dass die Pflanzen genügend Abwehrkräfte entwickeln können, gleichzeitig der Bestand aber nicht zu dicht wird und sich Epidemien nicht so schnell ausbreiten können. Die Vergrößerung des Saatabstandes⁹, der Anbau in Hauptwindrichtung und gutes Anhäufeln der Dämme sorgen für einen lockeren Bestand und somit für ein trockeneres Bestandesklima, das die Ausbreitung von Pilzkrankheiten erschwert.

⁵ *Phytophthora infestans* verursacht in der weltweiten Nahrungsmittelproduktion die meisten Kosten. 1997 lagen laut CIP (1998) die Gesamtkosten der Kraut- und Knollenfäule bei 3.25 Mrd. US\$, wovon 2.5 Mrd. auf die Ertragseinbussen entfielen und 750 Mio. auf den massiven Fungizideinsatz.

⁶ Im biologischen Kartoffelanbau kommt hauptsächlich Kupfersulfat als Fungizid zum Einsatz.

⁷ Als Primärinokulum wird das infektiöse Material (Pilzsporen oder Bakterien) bezeichnet, das eine Erstinfektion und damit eine Epidemie auslösen kann.

⁸ Als Durchwuchskartoffeln bezeichnet man Kartoffeln, die bei der Ernte im Boden bleiben und im folgenden Jahr ausschlagen und damit a) zu einem Unkrautproblem werden und b) Krankheiten übertragen können.

⁹ In der Regel beträgt der Reihenabstand im Kartoffelanbau 75 cm und der Pflanzabstand in der Reihe 26-32 cm. Im Biolandbau werden grössere Pflanzabstände empfohlen.

Krankheits- und Schädlingstoleranz – Mit der Züchtung wurden grosse Fortschritte bei der Entwicklung krankheitsresistenter Sorten erreicht. Allerdings ist die Züchtung von resistenten Kartoffelsorten insbesondere gegen *Phytophthora infestans* kompliziert (siehe Seite 14).

In der Praxis des Biolandbaus werden Pflanzenstärkungsmittel wie Gesteinsmehl, Schachtelhalmbrühe oder Magermilch angewandt. Gesteinsmehl stärkt nach Praxiserfahrungen die Abwehrkraft und fördert die Abtrocknung des Laubes. Bei keinem dieser Mittel konnte jedoch eine genügende Wirkung gegen Krautfäule nachgewiesen werden (Tamm & Häseli 1990 bis 1996).

Schaderregerbekämpfung – Zur Bekämpfung von Schädlingen und Krankheiten können mikrobielle **Antagonisten**¹⁰ eingesetzt werden. Im Biolandbau in der Schweiz sind zum Beispiel *Bacillus thuringiensis*-Präparate gegen den Kartoffelkäfer kommerzialisiert. In Deutschland ist laut Schmiedeknecht & Bochow (1998) seit 1997 ein *Bacillus subtilis*-Präparat gegen bodenbürtige Krankheiten im Kartoffelanbau auf dem Markt.

Der **Pestizideinsatz**¹¹ kann erheblich reduziert werden, wenn moderne Applikationsgeräte und Entscheidungshilfen wie Warnsysteme¹² eingesetzt werden. In der Schweiz wird die *Phytophthora*-Bekämpfung durch das **Prognose- und Warnsystem** PhytoPRE unterstützt, das auf einem Epidemiemodell beruht. Die beiden Elemente des Warnsystems sind einerseits ein Monitoring des *Phytophthora*-befalls in einem weiten Netz von ungespritzten Versuchspartellen und auf Praxisbetrieben und andererseits die Beobachtung der Infektionsbedingungen, die in erster Linie durch die Witterung bestimmt werden. An jeden Teilnehmer des Warnsystems werden wöchentliche Informationsbulletins verschickt. Die Informationen für den Entscheidungsablauf sind in einer Datenbank gespeichert (Gujer 1991; Cao *et al.* 1996) (siehe auch Exkurs: Prognosemodelle im Pflanzenschutz Seite 69).

1.5 Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau

Züchtung, Sortenprüfungen – Die Züchtung von resistenten Kartoffelsorten ist ein zentrales Forschungsfeld. In Europa gibt es vor allem in nordischen Ländern und auf den britischen Inseln (Bradshaw *et al.* 1995) aber auch in Deutschland und Frankreich umfangreiche Züchtungsprogramme, insbesondere zur Resistenzzüchtung gegen *Phytophthora infestans*. Weltweit werden die Forschungsaktivitäten von der *Global Initiative on Late Blight* am International Potato Center in Peru koordiniert (CIP 1998). In neuen Züchtungsprogrammen werden vertikale Resistenzen¹³ in einem Screening ausgeschlossen, weil diese von neuen Rassen des Pathogens schnell durchbrochen werden können. Die Pflanzen werden im Val Toluca in Mexico getestet, wo die weltweit besten Bedingungen für die Ausbreitung der Kraut- und Knollenfäule und die grösste Variabilität von *P. infestans*-Stämmen herrschen. Vertikale Resistenzen fallen dort sofort durch, nur die dauerhaften horizontalen Resistenzen¹⁴ können diesen Härtestest bestehen¹⁵.

In der Schweiz gibt es keine Kartoffelzüchtung. Neue Sorten werden aus dem Ausland übernommen. Die Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten und die Schweizerische Kartoffelkommission führen jährlich umfassende Sortenprüfungen durch, aufgrund dieser die Kommission Sorten zum Anbau in der Praxis empfiehlt (Winiger & Reust 1998). Die Sortenlisten erscheinen jährlich. Das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) testet in einem eigenen Programm Sorten für den Biolandbau (Speiser & Tamm 1998a; Speiser & Tamm 1998b). Damit eine Sorte praxistauglich werden kann, muss sie gegen *Phytophthora* und andere Krankheitserreger

¹⁰ Die Pathogenpopulation wird dabei durch andere Organismen teilweise oder vollständig vernichtet. Sind die Antagonisten bodenbürtig, spricht man von Suppressivität des Bodens. Die Pflanzen können aber auch direkt mit antagonistischen Organismen inokuliert werden.

¹¹ Pilzkrankheiten (wie z.B. *Phytophthora infestans*) werden in der konventionellen Landwirtschaft heute meist mit systemischen Fungiziden bekämpft. Das am häufigsten angewendete Fungizid ist Metalaxyl, ein Phenylamid mit kurativer Wirkung, die auf der Unterdrückung der RNA-Synthese des Pilzes beruht. Bereits 1980 tauchten jedoch Metalaxyl-resistente *P. infestans*-Stämme auf (Nüniger *et al.* 1995). Die Bewertung von organisch-chemischen Fungiziden aber auch des Schwermetalls Kupfer, das heute im biologischen Landbau noch zum Einsatz kommt, fällt aus ökologischer Sicht negativ aus. So kann laut Domsch (1992) Metalaxyl bei praxisüblichen Anwendungsmengen zu irreversiblen Schäden bei Mykorrhiza-Pilzen führen.

¹² Warnsysteme basieren auf der Auswertung von klimatischen Parametern wie Temperatur, Niederschlag usw. Die Klimadaten werden jeweils mit mathematischen Modellen verrechnet und mit den Klimaansprüchen eines Schaderregers verglichen. Sofern die Klimabedingungen genügen, wird eine Infektion als wahrscheinlich angenommen und eine entsprechende Warnung ausgegeben.

¹³ Vertikale Resistenz beruht auf der Interaktion zwischen individuellen Avirulenzgenen beim Pathogen und den entsprechenden Resistenzgenen bei der Wirtspflanze, d.h. die Pflanze erkennt den Krankheitserreger aufgrund eines einzigen Gens in dessen Erbgut. Vertikale Resistenz ist rassenspezifisch, d.h. sie kann von einzelnen Rassen des Pathogens durchbrochen werden.

¹⁴ Horizontale Resistenzfaktoren bei Kartoffeln beruhen auf dem komplexen Zusammenspiel mehrerer Gene. Sie sind in der Regel wirksam gegen das ganze Rassenspektrum eines Pathogens.

¹⁵ In neuerer Zeit wurden durch Rückkreuzung mit Nachkommen des resistenten *Solanum demissum* x *Solanum tuberosum* Hybrids und durch Selektion neue Sorten gezüchtet, die unter Feldbedingungen sehr gute Resistenzeigenschaften aufweisen (Wastie 1991). Trotz Krautfall bei der Ernte wiesen die Sorten bei Versuchen auf biologischen Betrieben in Schottland hohe Erträge von gesunden Knollen auf (Wastie *et al.* 1993).

tolerant sein, sie muss gute Lagereigenschaften aufweisen und schliesslich von der Lebensmittelverarbeitung und den Konsumenten akzeptiert werden. Laut Speiser & Tamm (1998b) sind z.B. die schwedische Sorte Appell, die schottische Sorte Claret und Naturella aus Frankreich mögliche neue Sorten mit guten Resistenz- und Konsum-eigenschaften.

Sortenmischungen – Um den Befallsdruck von Krankheiten zu vermindern, werden Kulturpflanzen in Sortenmischungen angebaut. Dadurch wird der räumliche Abstand zwischen den Pflanzen der gleichen Sorte grösser, und Epidemien können sich im Bestand weniger schnell ausbreiten. Es müssen Sorten angebaut werden, die bezüglich Erntezeitpunkt, Lagerung, Verarbeitung und Vermarktung ähnliche Eigenschaften aufweisen – im Kartoffelanbau ein heute noch ungelöstes Problem. Erste Erfolge wurden in der *P. infestans*-Bekämpfung mit Sortenmischungen in Feldversuchen erzielt. Andrivon & Lucas (1998) zeigten, dass die Verbreitung von *P. infestans* auf Bintje-Kartoffeln langsamer verläuft, wenn diese gemischt mit den weniger anfälligen Charlotte und Claustar angebaut werden, als in Reinkultur. Der durchschnittliche Krankheitsbefall von Bintje war 30 bis 50 % tiefer (zu Sortenmischungen siehe Seite 39).

Induzierte Resistenz – Durch die Applikation eines Extraktes aus Pilzzellwand-Fragmenten konnten bei Kartoffeln (Dutton *et al.* 1997) Krankheitssymptome von *Phytophthora infestans* und *Erwinia carotovora* reduziert werden. Die Forscher führten diese Wirkung auf die Simulation eines Pilzangriffs durch die applizierte Substanz zurück. Dieses Phänomen wird als induzierte Resistenz¹⁶ bezeichnet. Coquoz *et al.* (1995) beobachteten systemische Resistenzinduktion durch eine Behandlung von Kartoffelpflanzen mit der mehrfach ungesättigten Fettsäure Arachidonsäure, welche lokal die Produktion von Acetylsalicylsäure¹⁷ erhöhte und die Pflanzen vier Tage nach der Behandlung systemisch vor einem Befall mit *P. infestans* und *Alternaria solani* schützte.

Pflanzenstärkung – Schmitt (1996) testete verschiedene Pflanzenstärkungsmittel gegen *P. infestans*. Ein Pflanzenextrakt von *Reynoutria sachalinensis*¹⁸ zeigte eine Wirkung gegen *Phytophthora*.

Fungizide – Forschungsaktivitäten im Bereich der Fungizide betreffen vor allem die Resistenzentwicklung beim Pathogen¹⁹. Die Suche nach alternativen Fungiziden²⁰ ist vor allem für den biologischen Landbau äusserst wichtig, weil die Anwendung von Kupfersulfat als Fungizid bald weltweit verboten sein wird.

Antagonisten – Die Anwendungsmöglichkeiten für Antagonisten liegen vor allem im Bereich der Bekämpfung von bodenbürtigen Krankheiten wie *Rhizoctonia* oder Kartoffelschorf. Erfolgversprechende Resultate gewannen Schmiedeknecht *et al.* (1997) mit suppressiven *Bacillus subtilis*-Stämmen. Schmiedeknecht & Bochow (1998) führten die Wirkung von *B. subtilis* auf direkte Unterdrückung durch antibiotische Metaboliten des Bakteriums, aber möglicherweise auch auf Unterstützung des Pflanzenwachstums und auf Resistenzinduktion zurück. Die Etablierung von antagonistischen Präparaten in der Praxis wird jedoch erschwert durch die aufwendigen Abklärungen, die gemacht werden müssen, um allfällige negative Auswirkungen der Mikroorganismen und ihrer Stoffwechselprodukte auf Mensch und Umwelt auszuschliessen. Zur Zeit werden die Pflanzenschutzmittelzulassungen, unter die auch biologische Pflanzenschutzmittel fallen, in der EU vereinheitlicht.

Rhodes & Logan (1986b) konnten mit verschiedenen antagonistischen *Pseudomonas fluorescens*-Stämmen *Erwinia carotovora atroseptica* (Schwarzbeinigkeit) unterdrücken.

Warnsysteme – Die Verfeinerung von Warnsystemen birgt ein grosses Potential für die integrierte Krankheitsbekämpfung. Dabei werden die Reaktionen des Pilzes *P. infestans* auf Witterungseinflüsse, zum Beispiel seine Anfälligkeit auf Trockenperioden erforscht – ein einziger Tag Niederschlag mehr oder weniger kann bei der Ausbreitung von Epidemien entscheidend sein (Hansen & Holm 1996). Für die Koordination in der *Phytophthora*-Bekämpfung steht in der Schweiz das Prognosesystem PhytoPRE zur Verfügung.

¹⁶ Induzierte Resistenz kann als Analogie zu Impfstoffen in der Humanmedizin betrachtet werden. Werden Pflanzen in einem frühen (resistenten) Wachstumsstadium mit dem Pathogen inokuliert, kann die Erkennung des Pathogens in einem späteren Stadium vereinfacht und die Immunreaktion schneller eingeleitet werden (zu induzierter Resistenz siehe Seite 90).

¹⁷ Acetylsalicylsäure (Wirkstoff des Aspirins) ist ein wichtiger Bestandteil des Systemic Acquired Resistance-Komplexes, welcher für die systemische Übermittlung der Signale zum Beginn der Abwehrreaktion in der Pflanze verantwortlich ist.

¹⁸ Sachalin-Staudenknocherich

¹⁹ Die Resistenzentwicklung von *P. infestans* gegen Metalaxyl (siehe auch Fussnote 11) wird sich möglicherweise beschleunigen seit der Einführung des A2-mating type, der die sexuelle Vermehrung des Pilzes ermöglicht und somit die Rekombinationsmöglichkeiten des Pilzes vervielfacht. Day & Shattock (1997) fanden eine Zunahme der Resistenzentwicklung von *P. infestans* gegen Metalaxyl zwischen 1978 und 1995. Goodwin *et al.* (1996) schliessen jedoch aus ihren Resultaten, dass Resistenzentwicklungen von *P. infestans* eher von Migration als von Mutationen des Pilzes herrühren (USA und Kanada).

²⁰ Bang (1995) untersuchte verschiedene ätherische Öle auf ihre Wirkung. Bedampfung mit Knoblauch-, Pfefferminz-, Kümmel-, Thymian- und Basilikum-Essenzen reduzierte den Befall mit Knollenkrankheiten. Problematisch bei solchen Essenzen ist die sehr aufwendige Produktion. Bisher ist kein wirksames alternatives Fungizid bekannt, das mit akzeptablem Aufwand produziert werden kann.

1.6 Hauptforschungsgebiete Gentechnik

1.6.1 Status quo

Die Kartoffel ist begehrt als Objekt der Gentechnik (Tabelle 2). Nur Mais, Raps und Zuckerrübe werden häufiger gentechnisch verändert als die Knollenpflanze. In Tabelle 3 sind einige in der EU durchgeführte Freisetzungsvorhaben aufgeführt. In der Schweiz wurden an der Station fédérale de recherche agronomique de Changins (RAC) bereits Freisetzungsvorhaben mit virusresistenten Kartoffeln durchgeführt (Malnoë *et al.* 1994). Das Gesuch um neue Versuche mit *Phytophthora*-resistenten Kartoffeln im Freiland wurde im April 1999 von den schweizerischen Umweltbehörden abgelehnt. Die meisten Zulassungen von transgenen Kartoffeln sind bis anhin in den USA erfolgt (Tabelle 4).

Tabelle 2: Freisetzungen mit transgenen Kartoffeln in der EU: eingeführte Eigenschaften (nach BBA 1998; RKI 1998).

Eingeführte Eigenschaft	Anzahl Freisetzungen
Metabolismusveränderungen	79
Pilzresistenz	22
Insektenresistenz	18
Virusresistenz	17
Herbizidresistenz	10
Bakterienresistenz	9
Nematodenresistenz	4
Männliche Sterilität	4
Frosttoleranz	2

Tabelle 3: Beispiele von Freisetzungen mit transgenen Kartoffeln in der EU (nach RKI 1998)

Freisetzer	Land	Gentechnische Veränderung
Universität von Helsinki	Finnland	Virusresistenz
Max Planck-Institut für Züchtungsforschung Köln	Deutschland	Virusresistenz
MOGEN International	Niederlande	Pilzresistenz
KARNA	Niederlande	Pilzresistenz
Plant Breeding International	Grossbritannien	Bakterienresistenz
Danisco Biotechnology / Grindsted Products	Dänemark	Metabolismusveränderung
Tillämpad Biokemi	Schweden	Metabolismusveränderung
Avebe	Niederlande	Metabolismusveränderung
Amylogene HB	Schweden	Frosttoleranz

Tabelle 4: Kommerzielle Zulassungen von transgenen Kartoffeln (TransGen 1998)

Hersteller	Eigenschaft	EU	USA	Kanada	Japan
Monsanto	Kartoffelkäferresistenz/Antibiotikaresistenz	–	1995	1996	1996
Avebe	Amylose-freie Stärke/Antibiotikaresistenz	NL; EU: Antrag	–	–	1996
Monsanto	Kartoffelkäferresistenz/Virusresistenz (PVY)	–	1998	Antrag	–
Monsanto	Kartoffelkäferresistenz/Virusresistenz (PLRV)	–	1998	Antrag	–

1.6.2 Potential

Der grösste Teil aller Freisetzungen mit transgenen Kartoffeln (59 % gemäss Tabelle 2) betrifft Sorten, die einen veränderten Metabolismus aufweisen. Oft wird dabei die Stärkezusammensetzung der Kartoffel verändert und dem

jeweiligen Verwendungszweck angepasst²¹. Diese Ansätze zur Veränderung des Metabolismus tragen jedoch wenig bei zur Lösung agronomischer Probleme.

Mit Hilfe der Gentechnik können artfremde Resistenz-Gene ins Genom der Kartoffel eingeführt werden. Dies ist mit konventionellen Züchtungsmethoden nicht möglich. Doch zur Lösung des weitaus grössten Problems im Kartoffelanbau, *Phytophthora infestans*, bietet die Gentechnik bisher keine praxisrelevanten Ansätze. Das Hauptproblem besteht darin, dass gegen die extrem flexiblen und wandlungsfähigen *Phytophthora*-Populationen eine Kombination verschiedener integrierter Abwehrstrategien nötig ist. Isolierte gentechnische Ansätze greifen da zu kurz. Dasselbe gilt in beschränktem Mass auch im Bereich anderer Schädlinge und Krankheiten.

Die in den USA bereits kommerziell zugelassenen transgenen Kartoffelsorten enthalten eine Virenresistenz und/oder eine Insektenresistenz (gegen den Kartoffelkäfer). Mit beiden konnten Erfolge erzielt werden, allerdings stellen sich bei beiden Ansätzen neue Risikoprobleme. Ausserdem können in der Schweiz sowohl Viren (u.a. durch strenge Saatgutzertifizierung) wie auch Kartoffelkäfer erfolgreich und auf eine nachhaltige Weise bekämpft werden.

1.6.3 Risiken

Verwilderung – Kartoffelknollen sind frostempfindlich. Man nimmt daher an, dass Kartoffeln keine Chance haben, sich in mitteleuropäischen Ökosystemen auszubreiten (Torgersen 1996). Wer jedoch genau hinsieht, findet die Kartoffel auch ausserhalb der Ackerflächen wieder, zum Beispiel auf Schuttplätzen (Lauber & Wagner 1992). So könnten zumindest die frosttoleranten transgenen Kartoffeln, die sich zur Zeit in der Entwicklung befinden, eine erhöhte Tendenz zur Verwilderung aufweisen.

Auskreuzung – Die Kartoffel vermehrt sich vor allem vegetativ. Viele Sorten bilden zudem keine Blüten oder sind männlich-steril. Hier besteht keine Gefahr, dass transgene Pollen aus einem Kartoffelacker entweichen. Anders sieht es bei Sorten aus, die fertil sind und Blüten bilden. Sie verteilen ihre Pollen via Wind und Insekten. Der weitaus grösste Teil des Blütenstaubs geht dabei in nächster Nähe der Kartoffelfelder nieder (Conner 1994; Conner & Dale 1996; McPartlan & Dale 1994). Einige wenige Pollen dürften jedoch weitaus längere Strecken zurücklegen, da die Flugdistanzen der bestäubenden Insekten²² mehrere Hundert Meter betragen können.

Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*) und Bittersüss (*S. dulcamara*) sind zwei potentielle Kreuzungspartner der Kartoffel, die in der Schweiz wachsen. Natürlich entstandene Hybride sind bisher nie gefunden worden (Jacot & Jacot 1994). Auch experimentelle Untersuchungen zeigen, dass die Kartoffel mit den beiden Wildpflanzen in Europa²³ kaum hybridisieren dürfte (Eijlander & Stiekema 1994; OECD 1997).

Kartoffel als Nahrungsmittel – Ob transgene Kartoffeln als Nahrungsmittel vollkommen unbedenklich sind, lässt sich kaum abschätzen. So kann z.B. nicht ausgeschlossen werden, dass Insertionseffekte zu einer Konzentrationsveränderung von Inhaltsstoffen führen. Ebensowenig lässt sich das allergene Potential transgener Kartoffeln voraussagen (siehe Allergien Seite 41).

Transgene Bt-Kartoffeln – Toxine aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* (Bt) sind seit langem ein bewährtes biologisches Mittel gegen verschiedene Insekten. Im Biolandbau werden Bt-Präparate auch im Kartoffelanbau gegen den Kartoffelkäfer verwendet. Die Bt-Sprays sind hier sogar das einzige verfügbare Mittel, um den Schädling in Schach zu halten.

Im Labor konnten bereits Kartoffelkäfer selektioniert werden, die gegen Bt-Präparate resistent sind (Whalon *et al.* 1993). Bei sachgemässer Applikation der biologischen Bt-Präparate gilt eine Resistenzbildung im Felde jedoch als unwahrscheinlich. Die Bt-Präparate sind nicht persistent (UV-empfindlich) und eine maximale Bedeckung des Blattbelages mit Spritzmitteln wird selten erreicht. Der Selektionsdruck ist daher gering.

Beim Anbau von transgenen Bt-Kartoffeln sind die Kartoffelkäfer dem Gift jedoch dauernd ausgesetzt. Der Selektionsdruck ist daher um einiges höher als bei den biologischen Präparaten. Ob die diskutierten Resistenzmanagements greifen, ist umstritten. So bezweifeln zum Beispiel Blatter & Wolfe (1996), ob Refugien einer Resistenzentwicklung entgegenwirken würden.

Für den Biolandbau wären Bt-resistente Kartoffelkäfer ein schwerwiegendes Problem. Während integriert oder konventionell produzierende Landwirte auf chemische Insektizide zurückgreifen könnten, stünden Biobauern mit leeren Händen da. Um die biologischen Bt-Präparate nicht zu gefährden, sollte auf einen Anbau von transgenen Bt-Kartoffeln verzichtet werden.

Virusresistente Kartoffeln – Der grossflächige Anbau virusresistenter Kartoffelsorten wirft verschiedene Fragen bezüglich der Sicherheit dieser Pflanzen auf. So könnte es bei Kartoffeln, die das Hüllprotein einer Vi-

²¹ Transgene Kartoffeln, die ausschliesslich Amylopektin-Stärke liefern, sollen als Industrierohstoff dienen (z.B. für Klebstoffe oder für Plastikfolien), gearbeitet wird auch an der 'Light-Kartoffel', die beim Fritieren weniger Fett aufnimmt.

²² Schwebfliegen, Solitärwespen, Wildbienen und Hummeln

²³ Während man davon ausgeht, dass in Europa keine Hybridisierungen stattfinden (Torgersen 1996; Driesel & Danneberg 1996), sieht die Situation in Lateinamerika ganz anders aus. Dort blühen verschiedene Wildpflanzen, die sich mit der Kartoffel erfolgreich fortpflanzen können (Hawkes 1962).

rusart A bilden, während einer Mischinfektion mit einer anderen Virusart B zu heterologer Enkapsidierung²⁴ kommen.

Während die heterologe Enkapsidierung nur bei transgenen Kartoffeln ein Risiko darstellt, die ein virales Hüllprotein exprimieren, stellt sich das Problem der Rekombination bei allen viralen Transgenen. Durch Rekombination zwischen der in Kartoffeln klonierten viralen genetischen Information und einem zweiten infizierenden Virus kann ein neues Virus entstehen²⁵ (siehe Virenresistenz Seite 23).

T4-Lysozymkartoffeln – Kartoffeln mit dem T4-Lysozymgen weisen eine höhere, wenn auch keine vollständige Resistenz gegen *Erwinia carotovora*, den Erreger der Schwarzbeinigkeit bei Kartoffeln auf. In freisetzungsbegleitenden Sicherheitsuntersuchungen in Deutschland wurde festgestellt, dass aus den Wurzeln T4-Lysozym und rekombinante DNA in die Rhizosphäre abgegeben wird (De Vries *et al.* 1999).²⁶

Verbreitung von Antibiotikaresistenzen – Drei der fünf kommerzialisierten Kartoffelsorten (Tabelle 4) enthalten Antibiotikaresistenzgene. Eine Übertragung dieser Resistenzgene auf menschliche Krankheitserreger ist nicht auszuschliessen. Damit wird der Anbau transgener Kartoffelsorten zu einer potentiellen Quelle für die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen (siehe Antibiotikaresistenzen Seite 70).

1.7 Bewertung der derzeitigen Situation und Ausblick

Das weltweit grösste Problem im Kartoffelanbau ist die **Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*)**. Je nach Region und in einzelnen Jahren können **Viren, Kartoffelkäfer, Pilze (z.B. *Rhizoctonia*) und Bakterien** ernsthafte Ertragsausfälle hervorrufen.

Ökologische Ansätze: Im Bereich der Bekämpfung der **Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*)** wurde mit ökologischen und konventionellen Ansätzen bereits viel erreicht. Wichtig ist v.a. der Mosaik-Ansatz, ein ganzes Bündel präventiver Massnahmen wie Saatgutzertifizierung, Vorkeimung des Saatgutes, Anbau in grösseren Reihenabständen etc.). Trotzdem besteht ein grosser Forschungsbedarf, v.a. wegen der grossen genetischen Flexibilität von *Phytophthora infestans*. Dabei besitzen vor allem die Optimierung der Prognose- und Warnsysteme und die Resistenzinduktion ein grosses Potential. Weitere Krankheiten werden entweder durch die Anstrengungen bei der *Phytophthora*-Bekämpfung mit entschärft oder sie können mit anderen nachhaltigen Strategien kontrolliert werden. **Viren** zum Beispiel können durch die Saatgutzertifizierung effizient in Schach gehalten werden. Der Einsatz von Bt-Präparaten ermöglicht eine umweltverträgliche Kontrolle des **Kartoffelkäfers**. Die Regulierung des Bestandesklimas durch optimalen Düngereinsatz, Anbau in Windrichtung und gutes Anhäufeln der Dämme kann **Pilz**epidemien im Kartoffelbestand eindämmen. Auch mit antagonistischen Mikroorganismen werden hier vermutlich in Zukunft noch grosse Fortschritte erzielt werden. Zur effizienten Krankheitsbekämpfung wird ein problemspezifisch ausgestaltetes Mosaik aus verschiedenen Methoden und Strategien benötigt. Die weltweite Koordination der Forschungsanstrengungen, wie sie im Bereich der Züchtung mit der *Global Initiative on Late Blight* bereits realisiert wird, ist dabei absolut zentral.

Gentechnische Ansätze: Die Gentechnik hat bis heute kaum Strategien zur Lösung der grossen Probleme im Kartoffelanbau, insbesondere *Phytophthora* anzubieten. Ob die Gentechnik mit der Herstellung von Markern und Gensonden einen Beitrag zur Züchtung *Phytophthora*-resistenter Kartoffeln leisten kann, muss sich in den nächsten Jahren zeigen. **Viren**resistente Kartoffelsorten sind in den USA auf dem Markt. Allerdings werden hier

²⁴ Die genomische RNA des Virus B wird durch das Hüllprotein A eingepackt (enkapsidiert) und kann sich so neue Verbreitungswege eröffnen (Candalier-Harvey & Hull 1993; Farinelli 1992; Lecoq *et al.* 1993; Maiss *et al.* 1995). Virusresistente transgene Kartoffeln bilden keine Ausnahme (Farinelli 1992): Wurde eine transgene Kartoffelsorte, die das Hüllprotein des O-Stammes des PVY exprimiert, mit dem N-Stamm infiziert, so beobachtete man heterologe Enkapsidierung. Eine neuere Beobachtung ist für die Risikoeinschätzung transgener Kartoffeln von Bedeutung, die das Hüllprotein des PLRV exprimieren. Versuche haben nämlich gezeigt, dass während einer Mischinfektion das Potato spindle tuber viroid (PSTVd, eine infektiöse RNA ohne Hüllprotein) in die PLRV-Hüllen verpackt werden kann (Querci *et al.* 1997). Das Viroid wird dadurch Blattlaus-übertragbar. Das könnte die Verbreitung von PSTVd erhöhen, das selber keinen natürlichen Überträger hat und ausschliesslich mechanisch übertragen wird.

²⁵ Verschiedene Versuche haben gezeigt, dass in transgenen virusresistenten Kartoffeln Rekombinationsereignisse möglich sind (Gal *et al.* 1992; Greene & Allison 1994; Lommel & Xiong 1991; Schoelz & Wintermantel 1993; Wintermantel & Schoelz 1996). Dadurch könnten neue Viren entstehen, die pathogener sind oder ein verändertes Wirtsspektrum aufweisen (Eckelkamp *et al.* 1996).

²⁶ Dieses Lysozym kann im Labor in Bodenextrakten eine lytische Wirkung entfalten und eine Reihe von gram-positiven und gram-negativen Bodenbakterien und Bodenpilze beeinträchtigen (De Vries *et al.* 1999; Düring & Mahn 1999). Im Freiland haben sich diese Ergebnisse bisher nicht bestätigt, allerdings können bisher aufgrund methodischer Schwierigkeiten Populationsschwankungen von Bakterienarten im Boden nicht nachgewiesen werden. In der Rhizosphäre sind aber auch Bakterienarten zu finden, die einen effektiven Schutz gegen eine *Erwinia*-Infektion bilden (Bücking & Tappeser 1993). Bisher ist jedoch erst ein Bruchteil der im Boden lebenden Mikroorganismen identifiziert worden und man weiss wenig darüber, wie diese Mikroorganismen miteinander in Wechselwirkung stehen. Ein Eingriff in deren Populationsdynamik kann daher Folgen haben, die im Voraus nicht abzuschätzen sind. Auf eine weitere Freisetzung und auf den Anbau von transgenen T4-Lysozymkartoffeln sollte daher verzichtet werden.

grosse Risiken dokumentiert, so dass gerade in Anbetracht der heute mit der Saatgutertifizierung gut kontrollierten Situation ein Einsatz in der schweizerischen Praxis nicht sinnvoll erscheint. Die in den USA kommerzialisierten transgenen Kartoffeln gegen den **Kartoffelkäfer** produzieren das Bt-Toxin selber und erhöhen somit das Risiko von Bt-resistenten Käfern.

Auch herbizidresistente Sorten sind in den USA bereits auf dem Markt, so etwa die Monsanto gehörende transgene Sorte „New Leaf Superior“. Die Firma besitzt gleich vier Patente auf diese Kartoffel (siehe Patente Seite 102).

1.8 Die Schadorganismen im Kartoffelanbau

1.8.1 Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*)

Phytophthora infestans gehört zu den Falschen Mehltaupilzen und befällt neben Kartoffeln auch Tomaten und zahlreiche andere Nachtschattengewächse. Bei einer Infektion werden zuerst die unteren Blätter der Stauden, dann Blattstiele und Stengel und schliesslich auch die Knollen befallen. Auf der Blattunterseite bildet sich ein grauweisslicher Pilzrasen. Die Sporen des Schaderregers breiten sich von wenigen Primärherden insbesondere bei feuchter Witterung innert kurzer Zeit über weite Strecken aus. Innert weniger Tage kann so ein ganzer Kartoffelbestand befallen werden.

Bisher konnte sich der Pilz in Europa und den USA nur asexuell vermehren. Seit der Einschleppung der sexuellen Form wird durch die vervielfachten Rekombinationsmöglichkeiten die Entwicklung noch virulenterer Genotypen gefördert, die zu Ernteaufschlägen katastrophalen Ausmasses führen können. Auch die Anpassungszeit an resistente Kartoffelsorten mit vertikaler Resistenz könnte dadurch weltweit um ein Vielfaches kürzer werden (Drenth 1994).

Strategien in der Praxis – Im Bereich der *Phytophthora*-Bekämpfung wird schon lange intensiv geforscht (Andrivo & Lebreton 1997). Trotzdem ist die Variabilität der *Phytophthora infestans*-Population relativ wenig bekannt, da es sich um ein extrem dynamisches System handelt. Lösungsstrategien mit Erfolgchancen liegen meist im Bereich der Prävention. Mittels Saatgutertifizierung²⁷, Vorkeimung des Saatgutes²⁸, Anbau in grösseren Reihenabständen und gutem Anhäufeln der Dämme²⁹ lässt sich gegen die Kraut- und Knollenfäule gut vorbeugen. Leider stossen diese Massnahmen oft auf ökonomische oder arbeitswirtschaftliche Grenzen.

Forschung Sortenmischung – In Feldversuchen konnte gezeigt werden, dass der Anbau von Kartoffelsortenmischungen zur Bekämpfung von *P. infestans* beitragen kann (Andrivo & Lucas 1998).

Forschung Züchtung – Die Resistenzzüchtung gegen *Phytophthora infestans* ist besonders kompliziert, weil nur horizontale Resistenzen dauerhaft sind, vertikale hingegen innert kurzer Zeit vom Pathogen durchbrochen werden, insbesondere seit der Einführung der sexuellen Form von *Phytophthora infestans* in Europa und den USA³⁰. Im Rahmen der Züchtungsprogramme der *Global Initiative on Late Blight* des CIP werden neue Sorten im Val Toluca in Mexico getestet, wo für *Phytophthora* die besten Ausbreitungsbedingungen herrschen. Nur horizontale Resistenzen sind dort standhaft und können für die Züchtung weiterverwendet werden.

In der Schweiz gibt es keine Kartoffelzüchtung. Ausländische neue Sorten werden jährlich in Feldversuchen geprüft und geeignete werden in die Anbausortenlisten übernommen (Winiger & Reust 1998).

Forschung Induzierte Resistenz – Gegen *Phytophthora infestans* konnte auf Kartoffeln durch lokale Präinfektion mit *P. infestans* oder mit dem Non-Pathogen *Phytophthora cryptogea* Resistenz induziert werden (Stromberg 1995)³¹. Doke *et al.* (1987) erreichten systemische Resistenzinduktion durch eine Behandlung der Pflanzen mit Hyphen-Zellwandkomponenten von *P. infestans*. Coquoz *et al.* 1995 zeigten, dass durch eine Behandlung mit Arachidionsäure in den Signalkomplex der Kartoffelpflanze eingegriffen werden kann und die Produktion von Acetylsalicylsäure³² in der Pflanze erhöht wird. Die Kartoffeln waren in der Folge besser geschützt gegen eine Infektion mit *P. infestans*.

²⁷ Durch die Saatgutertifizierung wird die Gefahr einer Primärinokulation durch infizierte Saatkartoffeln minimiert. Die Zertifizierung ist heute eines der wichtigsten Instrumente in der Krankheitsbekämpfung bei Kartoffeln.

²⁸ Durch Vorkeimen der Knollen vor der Aussaat werden Ertragseinbussen durch Krautfäuleepidemien verringert.

²⁹ Gutes Anhäufeln der Dämme bewirkt einerseits eine Verbesserung der Durchlüftung des Bestandes, andererseits wird die Pflanztiefe auf 12 bis 14 cm vergrössert, und damit das Ausmass von Knolleninfektionen vermindert.

³⁰ Bis vor wenigen Jahren existierte in Europa und Nordamerika nur die asexuelle Form von *P. infestans*. Die Einführung der sexuellen Form, des sogenannten A2-mating type vermutlich aus Mexico oder Peru führte dazu, dass der Pilz durch die Vervielfachung der Rekombinationsmöglichkeiten schneller auf neue Lebensumstände reagieren kann. Dazu gehört zum Beispiel das Durchbrechen von vertikalen Resistenzen der Wirtspflanze oder die Entwicklung von Resistenzen seitens des Pilzes gegen Fungizide.

³¹ Stromberg (1995) führten dazu Versuche mit den unterschiedlich *Phytophthora*-anfälligen Kartoffelsorten Bintje, Elin und Matilda durch. Die besten Resultate wurden mit der relativ *Phytophthora*-toleranten Sorte Matilda erreicht.

³² Acetylsalicylsäure (Wirkstoff des Aspirins) ist ein wichtiger Bestandteil des Systemic Acquired Resistance-Komplexes, welcher für die systemische Übermittlung der Signale zum Beginn der Abwehrreaktion in der Pflanze verantwortlich ist.

Forschung Fungizide – Das heute am meisten eingesetzte Fungizid ist Metalaxyl. Metalaxyl ist ein systemisches, kurativ wirkendes³³ Fungizid. Es wird oft in Mischung oder alternierend mit anderen Fungiziden angewendet, um Resistenzentwicklungen vorzubeugen. Trotzdem wurden schon anfang der Achtziger Jahre erste Metalaxyl-resistente *Phytophthora*-Stämme entdeckt (Nuninger *et al.* 1995).

Die dem Biolandbau verpflichtete Forschung wird die Suche nach Alternativen zum heute noch erlaubten Kupfersulfat in nächster Zukunft stark intensivieren müssen. Bis heute konnte allerdings kein wirksames biokompatibles Fungizid gefunden werden, das mit angemessenem Aufwand produziert werden kann.

Forschung Prognose, Warnsysteme – Der Aufbau und der Betrieb von Warnsystemen, die auf Epidemiemodellen beruhen, ist aufwendig. Warnsysteme tragen jedoch substantiell zur Optimierung des Spritzmitteleinsatzes bei und helfen, die Bekämpfung von *P. infestans* in einem frühen Stadium zu koordinieren. An Warnsystemen für *P. infestans* wird weltweit intensiv geforscht³⁴. In der Schweiz steht das Prognosesystem PhytoPRE zur Kontrolle von *Phytophthora infestans* zur Verfügung (Cao *et al.* 1996).

Forschung Gentechnik – Die Strategien, mittels Gentechnik eine Resistenz gegen *Phytophthora infestans* zu erzeugen, stecken in den Kinderschuhen (Fry & Goodwin 1997). Von den insgesamt 118 Feldversuchen, die bisher in den EU-Ländern mit transgenen Kartoffeln durchgeführt wurden, betreffen nur gerade neun pilzresistente Sorten (RKI 1998).

Vertikale Resistenz – Einer der Gründe für die geringe Anzahl der Versuche liegt in der Schwierigkeit, den Pilz durch vertikale Resistenz abzuwehren. Da vertikale Resistenz auf Einzelgenen beruht, wäre sie grundsätzlich einer gentechnischen Verwertung zugänglich. In Mexiko sind jedoch bereits *P. infestans*-Rassen bekannt, die 11 der 13 Resistenzgene der Kartoffel überwinden können. In Europa gibt es Rassen, die es gleichzeitig mit neun R-Genen aufnehmen können. Selbst wenn man alle bisher bekannten R-Gene in das Erbgut einer Kartoffelsorte einbringen würde, könnte man damit also kaum eine dauerhafte Resistenz erzeugen (Turkensteen 1993). Die Erzeugung von horizontalen Resistenzen mit gentechnischen Methoden ist bisher nicht möglich.

Artfremde Abwehrmechanismen – Ein Beispiel dafür ist die Verwendung von Chitinase-Genen, die im Fall von *P. infestans* allerdings erfolglos bleibt³⁵. Eine neuere Strategie bildet das Barnase/Barstar-System (Strittmatter *et al.* 1995)³⁶. Erfolgsmeldungen sind nicht bekannt. Das gilt auch für die Feldversuche, in denen transgene Kartoffeln getestet wurden, die ein Ribonuklease-Gen aus der Erbse besitzen. In der Schweiz wurde von der RAC ein neuer Feldversuch mit transgenen *Phytophthora*-resistenten Kartoffeln von den Bundesbehörden wegen mangelhafter Begründung nicht bewilligt. Dabei sollte mit artfremden Resistenzmechanismen gearbeitet werden. In die Bintje-Kartoffeln wollte man Gene eingebauen, die für die Enzyme Oxalat-Oxydase (aus Weizen), 5-Amino-Levulinsäure-Synthase (eine Hefe), Chitinase und -1,3-Glucanase (aus Tabak) kodieren, von denen eine Wirkung gegen *P. infestans*, Pulverschorf (*Spongospora subterranea*) und *Rhizoctonia solani* erwartet wird.

Eine erhöhte Toleranz erzielten Forscher mit transgenen Kartoffeln, die ein bakterielles Opsin-Gen exprimieren. Die Resistenz wirkt jedoch nur gegen den Paarungs-Typ A1 von *P. infestans*. Der A2-Typ bleibt verschont (Abad *et al.* 1997). Ein weiteres Hindernis: Die Opsin-transgenen Kartoffeln erwiesen sich als anfälliger auf den Potato Virus X als die unveränderte Kartoffel.

Vervielfachung der Phytoalexinproduktion – Durch den Einbau von Osmotin-Genen ins Kartoffelgenom ist es in ersten Laborversuchen gelungen, die Krankheitssymptome zu verzögern, obwohl die Rolle von Osmotin bei der Abwehrreaktion der Kartoffel gegen *P. infestans* bisher nicht genau verstanden wird (Liu *et al.* 1994; Liu *et al.* 1996; Zhu *et al.* 1996). Transgene Kartoffeln, die ein Osmotin-Gen des Tabaks exprimieren, werden in den USA in Feldversuchen getestet (OECD 1998). Resultate sind bisher nicht veröffentlicht worden.

Wie mit dem Osmotin lassen sich die Krankheitssymptome – zumindest unter Laborbedingungen – auch mit einem pilzlichen Glucose-Oxidase-Gen verzögern (Wu *et al.* 1995). Dank diesem Gen produziert die Kartoffel bei *P. infestans*-Befall mehr H₂O₂, eine Substanz, die bei der Krankheitsabwehr eine wichtige Rolle spielt.

Bewertung – Trotz der diversen Strategien konnten gentechnische Ansätze in der Bekämpfung von *P. infestans* keine Erfolgsmeldungen verzeichnen. Es ist grundsätzlich fragwürdig, ob die Gentechnik mit ihren monogenetischen Ansätzen überhaupt eine langfristige Lösung zu bieten hat. Auch wenn es gelänge, alle 13 bekannten Resistenzgene ins Kartoffelgenom einzubauen, würden solche vertikale Resistenzen im Falle von *Phytophthora* nicht lange überdauern. In Mexico gibt es bereits *P. infestans*-Stämme, die 11 der 13 Resistenzgene überwinden

³³ Das heisst es wirkt in allen Teilen der Pflanze (systemisch) und kann auch nach dem Ausbruch der Krankheit seine Wirkung entfalten (kurativ).

³⁴ z.B. Andersson (1996); Bodker *et al.* (1998); Bugiani (1996); Dubois *et al.* (1998); Hindorf *et al.* (1997)

³⁵ Da *P. infestans* eine chitinfreie Zellwand besitzt, greifen Chitinasen ins Leere (Blatter & Wolfe 1996).

³⁶ Das Barnase-Gen stammt vom *Bacillus amyloliquefaciens* und kodiert eine Ribonuklease, ein RNA-abbauendes Enzym. Da die bakterielle Ribonuklease für die Kartoffel toxisch ist, wird dem Barnase-Gen ein Promotor vorgeschaltet, der erst bei Pilzbefall induziert wird. Die Ribonuklease sollte damit nur an den Stellen wirken, wo die Pflanze mit dem Pilz in Kontakt kommt. Diese Spezifität ist jedoch unter Umweltbedingungen kaum gewährleistet. Daher wird der Kartoffel noch ein zweites Gen eingebaut: Das Barstar-Gen, das ebenfalls aus *Bacillus amyloliquefaciens* isoliert wurde. Es enthält die Information für ein Enzym, das spezifisch die Ribonuklease hemmt. Damit soll sich die transgene Kartoffel vor der Ribonuklease schützen können.

können. Nur polygenetische, horizontale Resistenz, wie man sie durch konventionelle Züchtung zu erreichen versucht, kann gegen *P. infestans* erfolgreich sein (Oberhagemann 1997).

Häufig wird versucht, mit gentechnischen Methoden die endgültige Lösung für das *Phytophthora*-Problem zu finden. So verlockend dies anmuten mag, es ist unter Phytopathologen keine Neuigkeit, dass sich Krankheitsprobleme nie mit dem "silver bullet"-Ansatz lösen lassen, sondern dass ein Mosaik verschiedener Methoden und Strategien vonnöten ist. Ein solches könnte aus einer lokal angepassten Kombination von Habitatmanagement, Saatgutzertifizierung, dem Anbau von Sortenmischungen und minimierter Fungizidanwendung, basierend auf hochentwickelten Prognosesystemen, flankiert vom Einsatz resistenzinduzierender Substanzen, bestehen. Die traditionelle Resistenzzüchtung kann durch weitere Optimierungen³⁷ mit einem erweiterten Sortenkatalog zur Lösung des *Phytophthora*-Problems beitragen. Für die konventionelle Landwirtschaft kommen gentechnische Methoden allenfalls zur Identifizierung von Markern als Hilfsmittel für die Züchtung in Frage.

1.8.2 Schwarzbeinigkeit/Bakterielle Welke (*Erwinia carotovora*)

Als Wirtspflanzen für das Bakterium *Erwinia carotovora* kommen neben Kartoffeln auch Rüben und Karotten in Frage. *E. carotovora* überwintert in befallenen Knollen oder latent in den Lentizellen und Beschädigungen gesunder Knollen. Hoher Wassergehalt und Sauerstoffmangel im Boden fördern *E. carotovora*.

Strategien in der Praxis – Die Bakterien lassen sich nicht mit direkten Massnahmen bekämpfen. Ein Befall kann also nur vorbeugend verhindert werden: Durch Verwendung von gesundem Saatgut, das Vermeiden von Staunässe, durch das Entfernen von kranken Pflanzen und Knollen aus dem Feld sowie durch eine verletzungsarme Ernte und Massnahmen bei der Lagerung (Jäggi *et al.* 1994; Schmid *et al.* 1996). Auch die Bekämpfung von Pilzinfektionen vermindert das Risiko einer *Erwinia*-Erkrankung.

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – *Erwinia carotovora* kann biologisch durch die Behandlung der Saatkartoffeln mit antagonistischen Bakterien kontrolliert werden. Zum Beispiel konnten mit *Pseudomonas fluorescens* Stämmen erfolgversprechende Resultate erzielt werden. Cronin *et al.* (1997) führten die antagonistische Wirkung des *P. fluorescens*-Stammes F-513 auf dessen Fähigkeit, 2,4-Diacetylphloroglucinol (DAPG) zu produzieren, zurück³⁸.

Forschung Resistenzinduktion – Dutton *et al.* (1997) testeten erfolgreich die resistenzinduzierende Wirkung von Zellwandhydrolysaten aus *Phytophthora sojae* und von gemischten Oligo-Galakturoniden³⁹ gegen *Erwinia carotovora atroseptica*. Weber *et al.* (1996) verfolgten einen ähnlichen Ansatz, indem sie Kartoffelgewebe mit Digalakturonaten³⁹ gegen *E. carotovora* schützten. Lopez Lopez *et al.* (1995) diskutieren die Resistenzinduktion von Acetylsalicylsäure auf Kartoffeln gegen *E. carotovora*.

Forschung Gentechnik – Durch den Einbau verschiedener antimikrobiell wirkender Gene versucht man, *Erwinia*-resistente Kartoffeln zu erzeugen. Transgene Kartoffeln, die Tachylepsin, ein Protein aus der Hufeisenkrabbe bilden, zeigten weniger Fäulnis als die unveränderten Kartoffeln (Allefs *et al.* 1996). Keine Reaktion konnte bei transgenen Kartoffeln beobachtet werden, die mit einem Cecropin aus dem Seidenspinner *Hyalophora cecropia* transformiert wurden (Allefs *et al.* 1995)⁴⁰. Eine im Vergleich zur Kontrolle erhöhte *Erwinia*-Resistenz weisen hingegen Désirée-Kartoffeln auf, denen ein Lysozymgen aus dem Bakteriophagen T4 ins Genom inseriert wurden (Düring *et al.* 1993; Düring & Mahn, 1999). Weitere Strategien sind der Einbau einer Pektatlyase, die aus *Erwinia caratovora* selbst isoliert wurde (Wegener *et al.* 1996) oder die Insertion eines larvalen Serumproteins der grossen Wachsmotte (*Galleria mellonella*) (OECD 1998).

Bewertung – Wie bei allen gentechnischen Versuchen, monogenetische Resistenzen zu erzeugen, besteht auch bei den *Erwinia*-resistenten Kartoffeln die Gefahr, dass der Erreger die Resistenz schnell durchbricht. Zudem stellt sich das Problem, dass die eingeführten antimikrobiellen Proteine zum Teil eine breite Wirkung zeigen, d.h. nicht *E. caratovora* spezifisch sind. Damit könnten auch andere nützliche Bakterien in Mitleidenschaft gezogen werden.

1.8.3 Rhizoctonia-Krankheit

Die *Rhizoctonia*-Krankheit führt bei Kartoffeln regelmässig zu Verlusten. Die Kartoffeltriebe werden befallen und erreichen die Bodenoberfläche nicht. Die *Rhizoctonia*-Krankheit wird durch ungünstige Auflaufbedingungen für die Kartoffel gefördert. Insbesondere wenn der Pilz über die Lentizellen ins Innere der Knollen wuchert und das Knollengewebe zu einer dunkelbraunen Masse vertrocknet und pfropfenartig aus der Knolle herausfällt (Dry Core)

³⁷ Am Louis Bolk Institut (NL) ist ein Feldversuch geplant, bei dem die Entwicklungsdynamik von Kartoffelsorten, die während einer gewissen Wachstumsperiode *Phytophthora*-resistent sind, genau untersucht werden soll. Auf diese Weise soll ein Schlüssel für die Suche nach resistenten Sorten gefunden werden.

³⁸ DAPG vermag das Wachstum von *E. carotovora* einzuschränken. Weitere Untersuchungen zum Antagonismus von *P. fluorescens* finden sich bei Rhodes & Logan (1986a); Rhodes & Logan (1987); Xu & Gross (1986a); Xu & Gross (1986b)

³⁹ Salze der Galakturonsäure, Grundbausteine der Pektine (Hochmolekulare Pflanzeninhaltsstoffe).

⁴⁰ Der Grund liegt vermutlich darin, dass das fremde Protein im Gewebe der Kartoffel schnell abgebaut wird. Daher versucht man nun, durch Abänderungen des Cecropin-Gens die Stabilität des Proteins zu verbessern (Owens & Heutte 1997).

wird die Kartoffel unverkäuflich, und es kommt zu grossen wirtschaftlichen Verlusten (Hoffmann & Schmutterer 1983).

Strategien in der Praxis – Resistente Sorten gibt es nicht. Das konventionelle Pflanzgut wird mit Fungiziden gegen *R. solani* gebeizt, wenn mehr als 20 % der Knollen befallen sind. Verluste können indirekt durch eine vierjährige Anbaupause in der Fruchtfolge vermieden werden. Eine wichtige Präventivmassnahme ist auch das Schaffen von günstigen Auflaufbedingungen (Vorgekeimtes, zertifiziertes Saatgut, Vermeidung von Bodenverdichtungen, Saat erst ab 10°C Bodentemperatur).

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Bodenbürtige Krankheiten (wie *Rhizoctonia*) können relativ gut mit antagonistischen Mikroorganismen bekämpft werden. Untersucht wurden *Trichoderma*, verschiedene Pseudomonaden und *Streptomyces*-Arten (Agrios 1988). Schmiedeknecht *et al.* (1997) zeigten suppressive Wirkungen von *Bacillus subtilis*-Stämmen gegen *Rhizoctonia solani* und *Streptomyces scabies*. Ebenso konnten mit der mycophagen Springschwanzart *Folsomia fimetaria* und der Nematodenart *Aphelenchus avenae* eine unterdrückende Wirkung auf den Befall von *Rhizoctonia solani* erzielt werden (Lootsma & Scholte 1997).

Forschung Gentechnik – Die *Rhizoctonia*-Krankheit versucht man vor allem durch den Einbau von Chitinase-Genen einzudämmen (Lorito *et al.* 1998; OECD 1998).

Bewertung – Da Chitinasen nicht spezifisch wirken, besteht das Risiko, dass die transgenen Kartoffeln auch andere Bodenpilze als *R. solani* schädigen. So konnte zum Beispiel eine negative Wirkung der Chitinasen auf einen Mykorrhiza-Pilz nachgewiesen werden (Vierheilig *et al.* 1995). Mykorrhizae gehen mit den Pflanzen Symbiosen ein und sind ein zentraler Bestandteil des Nährstoff- und Kohlenstoffkreislaufs im System Pflanze-Boden. Sie tragen mit ihrem Hyphennetz zur Bodenaggregation bei und stabilisieren so den Boden. Mykorrhizae können antagonistisch gegen bodenbürtige Pathogene wirken (Smith & Read 1997).

1.8.4 Virosen

Die wichtigsten Viruserkrankungen der Kartoffel sind das potato leafroll virus (PLRV, Blattrollkrankheit) und die Mosaikviren PVX und PVY. Da sich die Kartoffel vor allem vegetativ vermehrt, ist sie besonders anfällig für Virose. Bei empfindlichen Sorten kann der Erreger einen Ernteausschlag von 40 % bis 80 % verursachen. Die Viren werden von Blattläusen übertragen. Das Ausmass des Schadens hängt von der angebauten Sorte ab.

Strategien in der Praxis – Dank der Produktion und Zertifizierung von weitgehend virusfreiem Saatgut ist das Problem zurzeit in der Schweiz gut unter Kontrolle. Eine direkte Bekämpfung von Kartoffelvirosen ist nicht möglich. Als indirekte Massnahme kommt die Bekämpfung der Überträger (Blattläuse) in Frage, entweder durch auf den Blattlausflug abgestimmte Vernichtung des Krautes, durch Insektizideinsatz, durch Aussetzen und Förderung der natürlichen Feinde der Blattläuse oder durch den Anbau in Höhenlagen, wo die Überträger nicht vorkommen.

Forschung Züchtung – Bei PVX und PVY gibt es natürliche Resistenzen, die im Rahmen konventioneller Züchtungsprogramme verwendet werden. Auf diesem Wege werden sogar Kartoffelsorten gezüchtet, die gegen alle drei wichtigen Viren (PLRV, PVX und PVY) resistent sind (Corsini *et al.* 1994; Valkonen *et al.* 1994).

Forschung Gentechnik – Mehrere gentechnische Projekte versuchen, mit dem Einschleusen viraler Hüllproteingene die Kartoffeln virusresistent zu machen. Das gilt für PLRV, PVX und PVY (Palucha *et al.* 1998; Thomas *et al.* 1997; Xu *et al.* 1995; Jongedijk *et al.* 1992; Kaniewski *et al.* 1990). Auch in der Schweiz wurden transgene Kartoffeln mit dem Hüllproteingen des PVY bereits im Feld getestet (Malnoë *et al.* 1994). Eine andere Strategie, Virusresistenz zu erzeugen, besteht im Einfügen von viralen Replikasegenen. Damit konnte eine Resistenz gegen PLRV entwickelt werden (Kaniewski *et al.* 1995). Durch das Einschleusen des sogenannten movement-protein-Gens gelang es in Laborversuchen, die Kartoffel gleich gegen alle drei Viren widerstandsfähiger zu machen (Tacke *et al.* 1996). Zwei virusresistente Kartoffelsorten sind in den USA bereits kommerzialisiert worden (gegen PVY bzw. gegen PLRV).

Bewertung – Die Entwicklung von transgenen virusresistenten Kartoffelsorten ist zwar möglich, der Virenproblematik kann aber mit der Saatgutproduktion in höheren Lagen und der Zertifizierung effizient entgegnet werden. Nebenbei werden auf diese Weise dezentral Arbeitsplätze in der Landwirtschaft gefördert – ein wichtiger Beitrag zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise.

1.8.5 Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*)

Der Kartoffelkäfer hat unter schweizerischen Anbaubedingungen nur eine geringe Bedeutung (Blatter & Wolfe 1996; Fried 1993; Schmid *et al.* 1996). Früher Kahlfrass kann jedoch zu Ernteausschlägen von 30 bis 50 % führen.

Strategien in der Praxis – Durch frühe Pflanzung, gutes Vorkeimen und eine geregelte Fruchtfolge wird dem Schädling vorgebeugt. Eine direkte Bekämpfung kann durch Spritzung von Insektiziden oder *Bacillus thuringiensis* (Bt)-Präparaten erfolgen. Letztere werden immer wichtiger, da der Kartoffelkäfer bisher gegen alle grösseren Gruppen von Insektiziden innerhalb kurzer Zeit Resistenzen entwickelte (Blatter & Wolfe 1996; Whalon & Wierenga 1994). Im Labor konnten bereits Kartoffelkäfer selektioniert werden, die gegen Bt-Präparate resistent sind (Whalon *et al.* 1993). Bei sachgemässer Applikation der biologischen Bt-Präparate gilt eine Resistenzbildung jedoch als eher unwahrscheinlich. Das Bt-Präparat ist nicht persistent und eine maximale Bedeckung des Blattbelages mit Spritzmitteln wird selten erreicht. Der Selektionsdruck ist daher gering.

Forschung Gentechnik – In den USA sind seit 1995 transgene Kartoffeln kommerzialisiert, die das Toxin des *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis* selber produzieren. Auf diese Weise sind die Kartoffelkäfer dem Gift dauernd ausgesetzt, da es von allen Teilen der Kartoffel während der ganzen Vegetationsperiode produziert wird. Der Resistenzdruck ist daher um einiges höher als bei den biologischen Präparaten. Ob die diskutierten Resistenzmanagements greifen, ist umstritten. So bezweifeln zum Beispiel Blatter & Wolfe (1996), ob Refugien einer Resistenzentwicklung entgegenwirken würden.

Bewertung – Für den Biolandbau wären Bt-resistente Kartoffelkäfer ein schwerwiegendes Problem, da Biobauern und -bäuerinnen kein anderes Mittel zur Verfügung haben. Um die bewährte und umweltschonende Methode mit den biologischen Bt-Präparaten nicht zu gefährden, sollte man auf den Anbau von Bt-Kartoffeln verzichten.

1.8.6 Nematoden (*Globodera rostochiensis*, *G. pallida*)

In der Schweiz gibt es zwar einige Gebiete, die Nematoden-verseucht sind, ansonsten spielen die Schädlinge aber nur eine geringe Rolle (Blatter & Wolfe 1996; Schmid *et al.* 1996).

Strategien in der Praxis – Kartoffelnematoden können durch den Einsatz von Methylbromid bekämpft werden, das jedoch in der Schweiz nicht zugelassen ist. Das ökotoxikologisch äusserst problematische Nematizid wird voraussichtlich in der EU und weltweit bald verboten. Indirekte Massnahmen zur Kontrolle von Nematoden sind eine drei- bis vierjährige Anbaupause in der Fruchtfolge, die Beseitigung des Kartoffeldurchwuchses, sowie der Anbau von resistenten Sorten.

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Forscher konnten mit *Agrobacterium radiobacter* als Mischpräparat mit *Bacillus sphaericus* dank antagonistischer Wirkung gegen *G. pallida* eine 20 %ige Ertragssteigerung in Kartoffeln erreichen (Racke & Sikora 1992a; Racke & Sikora 1992b).

Forschung Gentechnik – Die Datenbank der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA 1998) verzeichnet vier, die Datenbank der OECD (1998) drei Freisetzungsvorhaben mit transgenen Kartoffeln, die resistent gegen Nematoden sein sollen. Einen Einblick, welche Gene dabei verwendet werden, gibt nur der Fall des Barnase/Barstar-Systems.

Bewertung – Ein weltweites Verbot von Methylbromid wird möglicherweise die Probleme mit Nematoden im intensiven Kartoffelanbau verschärfen. Der Biolandbau ist diesbezüglich in einer komfortableren Situation, da er durch sein zentrales Element – die Fruchtfolge – über ein gutes und nachhaltiges Instrument zur Nematodenbekämpfung verfügt.

Literatur

- Abad M.S., Hakimi S.M., Kaniewski W.K., Rommens C.M.T., Shulaev V., Lam E. & Shah D.M. (1997): Characterization of acquired resistance in lesion-mimic transgenic potato expressing bacterio-opsin. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 10 (5), 635-645.
- Agrrios G.N. (1988): Plant Pathology. San Diego, 803 S.
- Allefs S.J.H.M., De Jong E.R., Florack D.E.A., Hoogendorn C. & Stiekema W.J. (1996): Erwinia soft rot resistance of potato cultivars expressing antimicrobial peptide tachylepsin I. *Molecular Breeding*, 2 (2), 97-105.
- Allefs S.J.H.M., Florack D.E.A., Hoogendorn C. & Stiekema W.J. (1995): Erwinia soft rot resistance of potato cultivars transformed with a gene construct coding for antimicrobial cecropin B is not altered. *American Potato Journal*, 72 (8), 437-445.
- Altieri, M. A. (1994): Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. New York, London, Norwood, Food Products Press.
- Andersson B. (1996): Forecasting potato late blight. *37th Swedish Crop Protection Conference, Uppsala, Sweden, 26/27 January, 1996*, Diseases and weeds. 1996, 167-171.
- Andrивon D. & Lebreton L. (1997): Potato blight. Where are we after 150 years? *Phytoma*, 49 (494), 24-27.
- Andrивon D. & Lucas J.M. (1998): Mixtures of varieties for control of potato late blight: is it possible? *First transnational workshop on biological, integrated and rational control: status and perspectives with regard to regional and European experiences, Lille, France*, 55-56.
- Bang U. (1995): Essential oils as fungicides and sprout inhibitors in potatoes. - In: Dowley L.J., Bannon E., Cooke L.R., Keane T. & O'Sullivan E. (Hrsg.): *Phytophthora infestans 150*, 319-324.
- BBA (1998): Datenbank, (<http://www.bba.de>).
- Blatter R. & Wolfe S. (1996): Die Verwendung molekularbiologischer Technologien zur Erzeugung von Wirtsresistenz gegen Schaderreger. Mögliche Folgen einer Anpassung der Krankheiten und Schädlinge. - In: Schulte E. & Käppeli O. (Hrsg.): *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen - Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds*. Bern, 253-296.
- Bodker L., Kidmose R., Hansen J.G. & Holm S. (1998): Potato late blight - before and now. *15th Danish Plant Protection Conference*, No. 3, 81-87.
- Bradshaw J.E., Wastie R.L., Stewart H.E. & Mackay G.R. (1995): Breeding for resistance to late blight in Scotland. - In: Dowley L.J., Bannon E., Cooke L.R., Keane T. & O'Sullivan E. (Hrsg.): *Phytophthora infestans 150*, 246 - 254.
- Bücking E. & Tappeser B. (1993): Die Lysozymkartoffel. Ökologische und gesundheitliche Auswirkungen. Gutachten. Öko-Institut e.V., Freiburg.
- Bugiani R. (1996): *Phytophthora infestans*: 150 years. *Informatore Fitopatologico*, 46 (4), 33-40.
- Candalier-Harvey P. & Hull R. (1993): Cucumber mosaic virus genome is encapsidated in alfalfa mosaic virus coat protein expressed in transgenic tobacco plants. *Transgenic Research*, 2, 227-285.
- Cao K., Fried P.M., Ruckstuhl M. & Forrer H.R. (1996): A new strategy to control potato late blight. *Agrarforschung*, 3 (7), 325-328.
- CIP (1998): GILB - Global Initiative on Late Blight, (<http://www.cipotato.org/ciprojects.htm>).
- Conner A.J. (1994): Analysis of containment and food safety issues associated with the release of transgenic potatoes. - In: Vayda M.E. & Park W.D. (Hrsg.): *The cellular and molecular biology of potatoes*. Wallingford, 245-264.
- Conner A.J. & Dale P.J. (1996): Reconsideration of pollen dispersal data from field trials of transgenic potatoes. *Theoretical and Applied Genetics*, 92 (5), 505-508.
- Coquoz J.L., Buchala A.J., Meuwly P. & Metraux J.P. (1995): Arachidonic acid induces local but not systemic synthesis of salicylic acid and confers systemic resistance in potato plants to *Phytophthora infestans* and *Alternaria solani*. *Phytopathology*, 85 (10), 1219-1224.
- Corsini D.L., Pavek J.J., Martin M.W. & Brown C.R. (1994): Potato germplasm with combined resistance to leafroll virus and viruses X and Y. *American Potato Journal*, 71 (6), 377-385.
- Cronin D., Moenne Loccoz Y., Fenton A., Dunne C., Dowling D.N. & O' Gara F. (1997): Ecological interaction of a biocontrol *Pseudomonas fluorescens* strain producing 2,4-diacetylphloroglucinol with the soft rot potato pathogen *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica*. *FEMS Microbiology Ecology*, 23 (2), 95-106.
- Day J.P. & Shattock R.C. (1997): Aggressiveness and other factors relating to displacement of populations of *Phytophthora infestans* in England and Wales. *European Journal of Plant Pathology*, 103 (4), 379-391.
- De Vries J., Harms K. & Wackernagel W. (1999): Untersuchungen zur Entlassung von T4-Lysozym und rekombinanter DNA aus transgenen T4-Lysozym-produzierenden Kartoffeln. - In: Schiemann J. (Hrsg.): *Freisetzungsbegleitende Sicherheitsforschung mit gentechnisch veränderten Pflanzen und Mikroorganismen*. Proceedings zum BMBF-Workshop 25. - 26.Mai 1998. Braunschweig, 45-58.
- Doke N., Ramirez A.V. & Tomiyama K. (1987): Systemic induction of resistance in potato plants against *Phytophthora infestans* by local treatments with hyphal wall components of the fungus. *Journal of Phytopathology*, 119 (3), 232-239.
- Domsch K.H. (1992): Pestizide im Boden. Mikrobieller Abbau und Nebenwirkungen auf Mikroorganismen. Weinheim, 575 S.
- Drenth A., Tas, I.C.Q. & Grovers, F. (1994): DNA fingerprinting uncovers a new sexually reproducing population of *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *European Journal of Plant Pathology*, 100, 97-107.
- Dubois L., Duvauchelle S. & Pinchon V. (1998): Integrated control trial against mildew in potatoes using resistant cultivars and the models MILSOL and GUNTZ-DIVOUX. *First transnational workshop on biological, integra-*

- ted and rational control: status and perspectives with regard to regional and European experiences, Lille, France, 63-64.*
- Düring K. & Mahn A. (1999): Freisetzung und Resistenzprüfung transgener Lysozym-Kartoffeln. - In: Schiemann J. (Hrsg.): Freisetzungsbegleitende Sicherheitsforschung mit gentechnisch veränderten Pflanzen und Mikroorganismen. Proceedings zum BMBF-Workshop 25.-26. Mai 1998. Braunschweig, 39-44.
- Düring K., Porsch M., Fladung M. & Lörz H. (1993) Transgenic potato plants resistant to the phytopathogenic bacterium *Erwinia carotovora*. *Plant J.*, 3, 587-598.
- Dutton M.V., Rigby N.M. & Macdougall A.J. (1997): Induced resistance to *Erwinia carotovora* ssp. *atroseptica*, through the treatment of surface wounds of potato tubers with elicitors. *Journal of Phytopathology*, 145 (4), 163-169.
- Eckelkamp C., Jäger M. & Weber B. (1996): Ökologische Risiken transgener virusresistenter Pflanzen. Öko-Institut e.V., Freiburg.
- Eijlander R. & Stiekema W.J. (1994): Biological containment of potato (*Solanum tuberosum*): outcrossing to is related wild species black nightshade (*Solanum nigrum*) and bittersweet (*Solanum dulcamara*). *Sexual Plant Reproduction*, 7, 29-40.
- Farinelli L., Malmoë, P. & Collet, G.F. (1992): Heterologous encapsidation of potato virus Y strain O (PVYO) with the transgenic coat protein of PVY strain N (PVYN) in *Solanum tuberosum* cv. Bintje. *Bio/Technology*, 10, 1020-1025.
- Fried P.M. (1993): Möglichkeiten des Einsatzes biotechnologischer Methoden zur Erhöhung der Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge wichtiger Kulturpflanzen in der Schweiz. *SPP Umwelt Biotechnologie*.
- Fry W.E. & Goodwin S.B. (1997): Resurgence of the Irish Potatoe Famine Fungus, *BioScience*, 47, 6, 363.
- Gal S., Pisan B., Hohn T., Grimsley N. & Hohn B. (1992): Agroinfection of transgenic plants leads to viable cauliflower mosaic virus by intermolecular recombination. *Virology*, 187, 525-533.
- Goodwin S.B., Sujkowski L.S. & Fry W.E. (1996): Widespread distribution and probable origin of resistance to metalaxyl in clonal genotypes of *Phytophthora infestans* in the United States and Western Canada. *Phytopathology*, 86 (7), 793-800.
- Greene A.E. & Allison R.F. (1994): Recombination between viral RNA and transgenic plant transcripts. *Science*, 263 (11), 1423-1425.
- Gujer H.U. (1991): Integrated control of potato late blight (*Phytophthora infestans*) in Switzerland: concept and first results. *Bulletin OEPP*, 21 (1), 61-66.
- Hansen J.G. & Holm S. (1996): The weather determines the need for control of potato late blight. *13th Danish Plant Protection Conference*, No. 4, 41-51.
- Häseli A. & Graf B. (1993): Resultate der Pflanzenschutzversuche 1992. Interner Forschungsbericht FiBL Frick.
- Häseli A., Schachenmann O. & Graf B. (1991): Resultate der Pflanzenschutzversuche 1991. Interner Forschungsbericht FiBL Frick.
- Hindorf H., Dehne H.W., Adam G., Diekmann M., Frahm J., Mauler Machnik A. & Halteren P.v. (1997): Introducing decision support systems available in Germany. *Diagnosis and identification of plant pathogens*, Bonn, Germany, 9-12 September 1996. 1997, 267-270.
- Hoffmann G.M. & Schmutterer H. (1983): Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Ulmer, Stuttgart.
- Hooker W. (Hrsg.) (1981): Compendium of Potato Diseases. St. Paul, Minnesota, 125 S.
- Jacot Y. & Jacot P. (1994): Application du génie génétique à l'agriculture: Evaluation des dangers potentiels pour la flore suisse. BUWAL, Bern.
- Jäggi W., Oberholzer H. & Winiger F.A. (1994): Befall von Kartoffelpflanzen durch *Erwinia carotovora*. *AgrarForschung*, 2 (6), 227-230.
- Jongedijk E., de Schutter A.A.J.M., Stolte T., van den Elzen P.J.M. & Cornelissen B.J.C. (1992): Increased resistance to potato virus X and preservation of cultivar properties in transgenic potato under field conditions. *Bio/Technology*, 10 (3), 422-429.
- Kaniewski W., Lawson C., Loveless J. & Thomas P. (1995): Expression of potato leafroll virus (PLRV) replicase genes in Russet Burbank potatoes provides field immunity to PLRV. - In: Manka M. (Hrsg.): Environmental biotic factors in integrated plant disease control, 289-292.
- Kaniewski W., Lawson C., Sammons B., Hart L., Delannay S. & Tumer N.E. (1990): Field resistance of transgenic Russet Burbank potato to effects of infection by potato virus X and potato virus Y. *Bio/Technology*, 8 (8), 750-754.
- Kessmann H., Staub T., Ligon J., Oostendorp M. & Ryals J. (1994): Activation of systemic acquired disease resistance in plants. *Eur J Plant Pathology*, 100 (6), 359-369.
- Lauber K. & Wagner G. (1992): Flora des Kantons Bern. Haupt, Bern.
- Lecoq H., Ravelonandro M., Wipf-Scheibel C., Monsion M., Raccach B. & Dunez J. (1993): Aphid transmission of a non-aphid-transmissible strain of zucchini yellow mosaic potyvirus from transgenic plants expressing the coat protein of plum pox potyvirus. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 6, 403-406.
- Liu D., Ragothama K.G., Hasegawa P.M. & Bressan R.A. (1994): Osmotin overexpression in potato delays development of disease symptoms. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 91, 1888-1892.
- Liu D., Rhodes D., DiUrzo M.P., Xu Y., Narasimhan M.L., Hasegawa P.M., Bressan R.A. & Abad L. (1996): In vivo and in vitro activity of truncated osmotin that is secreted into the extracellular matrix. *Plant Science*, 121 (2), 123-131.
- Lommel A. & Xiong Z. (1991): Reconstitution of a functional red clover necrotic mosaic virus by recombinational rescue of the cell-to-cell movement gene expressed in a transgenic plant. *Journal of Cellular Biochemistry (suppl.)*, 15A, 151.

- Lootsma M. & Scholte K. (1997): Effects of the springtail *Folsomia fimetaria* and the nematode *Aphelenchus avenae* on *Rhizoctonia solani* stem infection of potato at temperatures of 10 and 15°C. *Plant Pathology*, 46 (2), 203-208.
- Lopez Lopez M.J., Liebana E., Marcilla P. & Beltra R. (1995): Resistance induced in potato tubers by treatment with acetylsalicylic acid to soft rot produced by *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*. *Journal of Phytopathology*, 143 (11-12), 719-724.
- Lorito M., Woo S.L., Fernandez I.G., Colucci B., Harman G.E., Pintor T.J.A., Filippone E., Muccifora S., Lawrence C.B., Zoina A., Tuzun S. & Scala F. (1998): Genes from mycoparasitic fungi as a source for improving plant resistance to fungal pathogens. *Pnas*, 95 (14), 7860-7865.
- Maiss E., Koenig R. & Lesemann D.E. (1995): Heterologous encapsidation of potyviruses in mixed infections and in transgenic *Nicotiana benthamiana* expressing the coat protein gene of Plum Pox Potyvirus (PPV). - In: Landsmann J. & Casper R. (Hrsg.): Key Biosafety Aspects of Genetically Modified Organisms. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*. Berlin, 25 - 30.
- Malnoë P., Farinelli L., Collet G.F. & Reust W. (1994): Small-scale field tests with transgenic potato, cv. Bintje, to test resistance to primary and secondary infections with potato virus Y. *Plant Molecular Biology*, 25, 963-975.
- McPartlan H.C. & Dale P.J. (1994): An assessment of gene transfer by pollen from field-grown transgenic potatoes to non-transgenic potatoes and related species. *Transgenic Research*, 3 (4), 216-225.
- Nuninger C., Steden C. & Staub T. (1995): The contribution of metalaxyl-based fungicide mixtures to potato late blight control. - In: Dowley L.J., Bannon E., Cooke L.R., Keane T. & O'Sullivan E. (Hrsg.): *Phytophthora infestans* 150, 246-254.
- Oberhagemann P. (1997): Genetische Analyse der Resistenz gegen *Phytophthora infestans* in der Kartoffel. *Phd thesis*, Universität Köln.
- OECD (1997): Consensus document on the biology of *Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum*. *OECD Environmental Health and Safety Publications, Series on Harmonization of Regulatory Oversight in Biotechnology*, 8.
- OECD (1998): BioTrack Database of Field Trials, (<http://www.olis.oecd.org/biotrack.nsf>).
- Oerke E.-C., Dehne H.-W., Schönbeck F. & Weber A. (1994): Crop Production and Crop Protection. Elsevier, Amsterdam, 808 S.
- Owens L.D. & Heutte T.M. (1997): A single amino acid substitution in the antimicrobial defense protein cecropin B is associated with diminished degradation by leaf intercellular fluid. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 10 (4), 525-528.
- Palucha A., Zagorski W., Chrzanowska M. & Hulanicka D. (1998): An antisense coat protein gene confers immunity to potato leafroll virus in a genetically engineered potato. *European Journal of Plant Pathology*, 104 (3), 287-293.
- Querci M., Owens R.A., Bartolini I., Lazarte V. & Salazar L.F. (1997): Evidence for heterologous encapsidation of potato spindle tuber viroid in particles of potato leafroll virus. *Journal of General Virology*, 78, 1207-1211.
- Racke J. & Sikora R.A. (1992a): Influence of the plant health-promoting rhizobacteria *Agrobacterium radiobacter* and *Bacillus sphaericus* on *Globodera pallida* root infection of potato and subsequent plant growth. *Journal of Phytopathology*, 134 (3), 198-208.
- Racke J. & Sikora R.A. (1992b): Isolation, formulation and antagonistic activity of rhizobacteria toward the potato cyst nematode *Globodera pallida*. *Soil Biology and Biochemistry*, 24 (6), 521-526.
- Rentsch C. (1998): Induced resistance caused by PEN in tomato, cucumber and grapevine. *Diploma Thesis*, Botanisches Institut, Universität Basel.
- Rhodes D.J. & Logan C. (1986a): Antagonistic activity of fluorescent *Pseudomonas* isolates from Northern Ireland towards potato pathogens. *Record of Agricultural Research, Department of Agriculture, Northern Ireland*, 34, 43-46.
- Rhodes D.J. & Logan C. (1986b): Effects of fluorescent pseudomonads on the potato blackleg syndrome. *Annals of Applied Biology*, 108 (3), 511-518.
- Rhodes D.J. & Logan C. (1987): A method for selecting fluorescent pseudomonads inhibitory to seed tuber decay. *Potato Research*, 30 (4), 603-611.
- RKI (1998): Datenbank des Robert Koch Institutes, (<http://www.rki.de>).
- Ruckstuhl M. (1998): Prüfung epidemiologischer Parameter (Kartoffel-Sortenversuche). Interner Forschungsbericht FAL, Zürich-Reckenholz.
- Schmid J.E., Carrel K. & Stamp P. (1996): Bedeutung gentechnisch veränderter krankheits- und schädlingsresistenter Nutzpflanzen für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. - In: Schulte E. & Käppeli O. (Hrsg.): Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Bern, 373-456.
- Schmiedeknecht G. & Bochow H. (1998): Use of *Bacillus subtilis* for biological control of potato diseases. *Proceedings of the 7th international congress of plant pathology-abstracts*, 3.
- Schmiedeknecht G., Bochow H. & Junge H. (1997): Biocontrol of seed- and soil-borne diseases in potato. *Proceedings of the 49th International symposium on crop protection, Gent, Belgium, 6 May, 1997, Part IV*, 62 (3b), 1055-1062.
- Schmitt A. (1996): Plant extracts as pest and disease control agents. *Atti convegno internazionale: Coltivazione e miglioramento di piante officinali*, Italy, 2-3 giugno 1994. 1996, 265-272.
- Schoelz J.E. & Wintermantel W.M. (1993): Expansion of viral host range through complementation and recombination in transgenic plants. *The Plant Cell*, 5, 1669-1679.
- Smith S. & Read D. (1997): Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press, London.
- Speiser B. & Tamm L. (1998a): Versuche 1997 mit *Phytophthora*-toleranten neuen Kartoffelsorten. Interner Forschungsbericht FiBL Frick.

- Speiser B. & Tamm L. (1998b): Versuche 1998 mit neuen Kartoffelsorten für den Biolandbau. Interner Forschungsbericht FiBL Frick.
- Strittmatter G., Janssens J., Opsomer C. & Botterman J. (1995): Inhibition of fungal disease development in plants by engineering controlled cell death. *Bio/Technology*, 13, 1085-1089.
- Stromberg A. (1995): Systemically induced resistance in potato cultivars with different degree of resistance to late blight caused by *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Journal of Phytopathology*, 143 (1), 27-31.
- Tacke E., Salamini F. & Rohde W. (1996): Genetic engineering of potato für broad-spectrum protection against virus infection. *Nature Biotechnology*, 14, 1597-1601.
- Tamm L. & Häseli A. (1990 bis 1996): Forschungsberichte zu Pflanzenstärkungsmitteln im Kartoffelanbau. Interner Forschungsbericht FiBL Frick.
- Tappeser B. & Eckelkamp C. (1998): Der nachhaltige Abschied vom Vorsorgeprinzip. Öko-Institut e.V. Freiburg.
- Thomas P.E., Kaniewski W.K. & Lawson E.C. (1997): Reduced field spread of potato leafroll virus in potatoes transformed with the potato leafroll virus coat protein gene. *Plant Disease*, 81 (12), 1447-1453.
- Torgersen H. (1996): Ökologische Effekte von Nutzpflanzen - Grundlagen für die Beurteilung transgener Pflanzen? - In: Österreich U. (Hrsg.): Monographien, 74. UBA Österreich, Wien.
- TransGen (1998): Transparenz für Gentechnik bei Lebensmitteln - Datenbank, (<http://www.transgen.de>).
- Turkensteen L.J. (1993): Durable resistance of potatoes against *Phytophthora infestans*. - In: Jacobs T. & Parlevliet J.E. (Hrsg.): Durability of Disease Resistance. Kluiver Academic Publisher, Dordrecht, 115-124.
- Uknes S., Vernooij B., Morris S., Chandler D., Steiner H.Y., Specker N., Hunt M., Neuenschwander U., Lawton K., Starrett M., Friedrich L., Weymann K., Negrotto D., Gorchach J., Lanahan M., Salmeron J., Ward E., Kessmann H. & Ryals J. (1996): Reduction of risk for growers: Methods for the development of disease-resistant crops. *New Phytol*, 133 (1), 3-10.
- Uknes S., Vernooij B., Williams S., Chandler D., Lawton K., Delaney T., Friedrich L., Weymann K., Negrotto D., Gaffney T., Guttrera M., Kessmann H., Alexander D., Ward E. & Ryals J. (1995): Systemic acquired resistance. *Hortscience*, 30 (5), 962-963.
- Valkonen J.P.T., Xu Y.S., Rokka V.M., Pulli S. & Pehu E. (1994): Transfer of resistance to potato leafroll virus, potato virus Y and potato virus X from *Solanum brevidens* to *S. tuberosum* through symmetric and designed asymmetric somatic hybridisation. *Annals of Applied Biology*, 124 (2), 351-362.
- Vierheilig H., Alt M., Lange J.M., Rella G., Wiemken A. & Boller T. (1995): Colonization of transgenic tobacco constitutively expressing pathogenesis related proteins by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. *Applied and Environmental Microbiology*, 61, 3031-3034.
- Wastie R.L. (1991): Breeding für resistance. - In: Ingram D.S. & Williams P.H. (Hrsg.): *Phytophthora infestans* - the cause of late blight in potatoes. *Advances in Plant Pathology*, 7. New York, 193-223.
- Wastie R.L., Stewart H.E., Mackay G.R., Bevan G.R. & Lennartsson M. (1993): Exploiting blight resistance for sustainable potato cultivation. *Biologi Italiani*, 23 (7), 18-21.
- Weber J., Olsen O., Wegener C., Wettstein D.v. & Von Wettstein D. (1996): Digalacturonates from pectin degradation induce tissue responses against potato soft rot. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 48 (6), 389-401.
- Wegener C., Bartling S., Olsen O., Weber J. & von Wettstein D. (1996): Pectate lyase in transgenic potatoes confers preactivation of defence against *Erwinia carotovora*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 49, 359-376.
- Whalon M.E., Miller D.L., Hollingworth R.M., Grafius E.J. & Miller J.R. (1993): Selection of a Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) strain resistant to *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Economic Entomology*, 86 (2), 226-233.
- Whalon M.E. & Wierenga J.M. (1994): *Bacillus thuringiensis*: Resistant Colorado potato beetle and transgenic plants: Some operational and ecological implications for deployment. *Biocontrol Science and Technology*, 4, 555-561.
- Winiger F. & Reust W. (1998): Schweizerische Sortenliste für Kartoffeln 1999. *AgrarForschung*, 5 (11-12), I-VI.
- Wintermantel W.M. & Schoelz J.E. (1996): Isolation of recombinant viruses between cauliflower mosaic virus and a viral gene in transgenic plants under conditions of moderate selection pressure. *Virology*, 223, 156-164.
- Wu G., Shortt B.J., Lawrence E.B., Levine E.B., Fitzsimmons K.C. & Shaw D.M. (1995): Disease resistance conferred by expression of a gene encoding H₂O₂-generating glucose oxidase in transgenic potato plants. *Plant Cell*, 7, 1357-1368.
- Xu G.W. & Gross D.C. (1986a): Field evaluations of the interactions among fluorescent pseudomonads, *Erwinia carotovora*, and potato yields. *Phytopathology*, 76 (4), 423-430.
- Xu G.W. & Gross D.C. (1986b): Selection of fluorescent pseudomonads antagonistic to *Erwinia carotovora* and suppressive of potato seed piece decay. *Phytopathology*, 76 (4), 414-422.
- Xu H., Khalilian H., Eweida M., Squire S., Abouhaidar M.G. & Xu H.M. (1995): Genetically engineered resistance to potato virus X in four commercial potato cultivars. *Plant Cell Reports*, 15 (1-2), 91-96.
- Zhu B., Chen T.H.H. & Li P.H. (1996): Analysis of late-blight disease resistance and freezing tolerance in transgenic potato plants expressing sense and antisense genes for an osmotin-like protein. *Planta*, 198, 70-77.

Exkurs: Virusresistente transgene Pflanzen

Pflanzenviren sind für eine Reihe von Pflanzenkrankheiten verantwortlich, die zu Schäden und Ernteeinbußen bei Nutzpflanzen führen können. Ihre Schädlichkeit ist Anlass für die Suche nach Bekämpfungsmethoden. Nur in einigen Fällen stehen wirksame Vorsorge- und Bekämpfungsmassnahmen gegen virale Pflanzenkrankheiten zur Verfügung. Es werden zwar Insektizide gegen virenübertragende Insekten eingesetzt, eine erfolgreiche Virusbekämpfung ist damit in vielen Fällen aber nicht zu erreichen. Vorbeugend werden meist konventionell gezüchtete virusresistente Pflanzensorten angebaut. Von gentechnischen Methoden werden daher Verbesserungen der Resistenzzüchtung erhofft.

Zur Herstellung virusresistenter Pflanzen mit Hilfe der Gentechnik werden eine Reihe unterschiedlicher Strategien verfolgt, die alle darauf beruhen, einzelne Genomteile von phytopathogenen Pflanzenviren zu klonieren (Eckelkamp *et al.* 1997). Die genauen Mechanismen der gentechnisch erzeugten Resistenzen sind bisher nicht geklärt. Sie beruhen im Prinzip darauf, dass durch die Klonierung viruseigener Gene einzelne Schritte des viralen Replikationszyklus gestört werden.

Die Klonierung viraler Hüllproteingene (Coat Protein, CP-Gene) in Pflanzen ist die am häufigsten verfolgte gentechnische Strategie zur Erzeugung von Virusresistenz. Sie verleiht allerdings nicht immer vollständige Resistenz und kann in ihrer Schutzwirkung von klimatischen Parametern abhängig sein. Bisher wurde die CP-Strategie bereits an mindestens 30 verschiedenen Virusgruppen getestet, und CP-transgener Kürbis wurde 1995 in den USA als erste virusresistente Pflanze in den Markt eingeführt. In Europa wurden ebenfalls eine Reihe virusresistenter transgener Pflanzen freigesetzt, z.B. PVY-resistente Karoffeln oder BNYVV-resistente Zuckerrüben.¹ Beide Pflanzen tragen jeweils ein Hüllproteingene des entsprechenden Virus (Eckelkamp *et al.* 1997).

Hinsichtlich der Risiken der Virusresistenz müssen verschiedene Punkte geprüft werden, die bisher noch ungeklärt sind. So sind Folgen denkbar, wenn die Virusresistenz z.B. durch Kreuzung auf verwandte Wildarten übertragen wird, da die Resistenz einen Selektionsvorteil bieten kann. In den USA wurde z.B. ein gentechnisch veränderter Kürbis bereits zugelassen, obwohl es dort einen mit der Kulturart kreuzbaren Wildkürbis gibt. Die Nachkommen aus Kreuzungen der Wild- mit den transgenen Pflanzen sind unter Virusbefall konkurrenzstärker als die Wildpflanzen. Allerdings ist bisher unbekannt, inwieweit Viren in der Natur einen Einfluss auf die Populationsdynamik von Wildkürbis ausüben (Fuchs & Gonsalves 1998).

Eine weitere wichtige Grundlage für eine Abschätzung der ökologischen Wirkungen von transgenen virusresistenten Pflanzen ist auch die Kenntnis der Funktion der klonierten viralen Nukleinsäuresequenz. Im Fall des Hüllproteins ist dies grundsätzlich die Verpackung der viralen Nukleinsäure. Darüber hinaus haben Hüllproteine, oft zusammen mit anderen Viruskomponenten, von Virus zu Virus verschiedene weitere Funktionen. Bei vielen Viren ist das CP für die Vektorübertragung essentiell und für die Vektor- und Wirtsspezifität (mit)bestimmend. Darüber hinaus kann das CP bei manchen Viren am Zell-zu-Zell- und am Langstreckentransport sowie regulierend an der Replikation beteiligt sein. Bei manchen Viren ist es - u.U. auch in Abhängigkeit von der Wirtspflanze - essentiell für einen systemischen Infektionsverlauf und beeinflusst massgeblich die Krankheitssymptome der Wirtspflanze. Die verschiedenen Funktionen, die Hüllproteine haben können, sind im Einzelfall oft nicht vollständig bekannt und können auch nur selten bestimmten Abschnitten der Aminosäuresequenz zugeordnet werden (Übersicht bei Eckelkamp *et al.* 1997; Weber 1997). Aus der natürlichen Funktion der Hüllproteingene ergeben sich die mit der CP-Strategie diskutierten Risiken:

Bei CP-transgenen Pflanzen können heterologe Enkapsidierungen auftreten, d.h. die Nukleinsäure eines Virus kann teilweise oder ganz durch rekombinantes CP verpackt werden. Heterologe Enkapsidierungen treten auch in natürlichen Mischinfektionen verschiedener Viren auf. Sie können virale Eigenschaften, die durch das Hüllprotein determiniert oder beeinflusst werden, verändern, wie den Vektor- und Wirtsbereich und den Krankheitsverlauf. Diese neuen Eigenschaften sind zwar dann nicht genetisch verankert, bei grossflächigem Anbau von CP-transgenen Pflanzen ist jedoch die Chance hoch, dass ein Virus in jeder Vegetationsperiode wieder neue Hüllproteine aus den gentechnisch veränderten Pflanzen erwerben und neue Infektionswege erschliessen kann.

Ausserdem können Rekombinationen zwischen der in Pflanzen klonierten viralen genetischen Information und infizierenden Viren stattfinden. RNA-Rekombinationen sind prinzipiell möglich und treten auch in Mischinfektionen verschiedener Viren auf. Sie können zu Viren mit genetisch verankerter erhöhter Fitness und Pathogenität sowie verändertem Wirtsspektrum führen.

Fazit

Der Anbau von Kulturpflanzen stellt eine Herausforderung an Viren und andere Schaderreger dar, die Kulturen zu befallen und eventuell vorhandene Resistenzen zu durchbrechen. Das Auftreten neuer, landwirtschaftlich relevanter, schädlicher Virusvarianten beruht auf genetischer Variation und/oder aufgehobener Isolation und veränderter Selektion. Der Anbau von Pflanzen mit klonierten viralen oder Satellitensequenzen würde die Entstehung neuer Virus- und Satellitenvarianten teils überhaupt erst ermöglichen, teils beschleunigen. Er würde darüber hinaus voraussichtlich auch die Selektion von Varianten unterstützen, die virulenter sind und Resistenzen brechen. Da die gentechnisch vermittelten Resistenzen monogen sind und im allgemeinen während der gesamten Vegetationsdauer exprimiert werden, sind sie tendenziell leichter zu überwinden als differenziert regulierte, polygen verankerte Resistenzen. Hinzu kommt, dass der Einsatz transgener Pflanzen angesichts des hohen Entwicklungsaufwands für diese Technologie nur dann lohnend sein und tatsächlich erfolgen wird, wenn in grossem Massstab uniforme Kulturen angebaut werden können.

¹ PVY: Potato Virus Y (Karoffelvirus Y); BNYVV: Beet Necrotic Yellow Vein Virus (Nekrotisches Adervergilbungsvirus der Rübe)

Es gibt jedoch zwei **relativ** erfolgversprechende Strategien gegen Resistenzbrechung: konventionelle Pflanzenzüchtung mit polygenen Resistenzen und die Vermeidung monokulturartigen Anbaus. Lösungen, die - wie im Zusammenhang mit transgenen virusresistenten Pflanzen diskutiert - den Anbau in Monokulturen "nachhaltig" gestalten wollen, erscheinen dagegen wenig erfolgversprechend.

Literatur

- Eckelkamp C., Jäger M., Weber B. (1997): Risikoüberlegungen zu transgenen virusresistenten Pflanzen. UBA Texte 59/97, Umweltbundesamt, Berlin.
- Fuchs M., Gonsalves D. (1998): Risk-assessment of gene flow from virus-resistant transgenic squash into a wild relative. In: Universität Bern(Hrsg.) Ecological risks and prospects of transgenic plants, where do we go from here? A dialogue between biotech industry and science. 28.-31. January 1998.
- Weber B. (1997): Entgegnung auf die Stellungnahme der Bundesministeriums für Gesundheit vom 05.12.1996 zum Import gentechnisch veränderter glyphosatresistenter Sojabohnen der Firma Monsanto. Öko-Institut Freiburg.

Exkurs: Der Fall Pusztai

Am 10. August 1998 äusserte Arpad Pusztai, weltbekannter Lektinforscher und seit 35 Jahren am schottischen Rowett-Institut tätig, am Englischen Fernsehen Zweifel an der Sicherheit gentechnisch veränderter Lebensmittel und forderte deutlich schärfere Testvorschriften. Zwei Tage später wurde er fristlos entlassen und durfte das Institut nicht mehr betreten.

Arpad Pusztai und sein Team hatten im Rahmen eines Forschungsprojektes des schottischen Umwelt- und Landwirtschaftsdepartments Fütterungsversuche mit transgenen Kartoffeln durchgeführt. Die Kartoffeln enthielten das Gen zur Bildung des Schneeglöckchenlektins (sog. GNA-Gen). Dieses Lektin war in Vorversuchen als nicht toxisch für Säugetiere und damit auch für Menschen eingestuft worden. Lektine sind Eiweisse, die in einer Reihe von Pflanzen (u.a. Bohnen) anzutreffen sind und insektentoxische Eigenschaften haben. Die Ergebnisse der durchgeführten Versuche waren der Grund für Arpad Pusztais öffentliches Auftreten und seine kritischen Worte.

Die Versuche und ihre Ergebnisse

1995 vergab das SOAEFD (Scottish Office of Agriculture, Environment and Fisheries) ein über drei Jahre angelegtes Forschungsprojekt zur Entwicklung transgener Kartoffelpflanzen an mehrere schottische Institutionen, die Durham Universität, das „Scottish Crop Research Institute“ SCRI und das Rowett-Institut.

Die Aufgabe des Rowett-Instituts sollte es sein, sorgfältige chemische Analysen durchzuführen und herauszufinden, ob die Elternpflanze und die transgenen Kartoffellinien in der Zusammensetzung ihrer Inhaltsstoffe "substantiell gleichwertig"² sind und ob in Rattenfütterungsexperimenten die transgenen und die Ausgangslinien die gleichen oder ähnliche Effekte auf den Verdauungstrakt und den Stoffwechsel von Säugetieren zeigen. Gleichzeitig sollte die Forschungsgruppe um Arpad Pusztai neue Methoden zur Überprüfung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von gentechnisch veränderten Kartoffeln entwickeln und den Behörden Vorschläge unterbreiten, wie eine effektive Risikoprüfung aussehen könnte. Die Versuche wurden ausschliesslich mit Kartoffelknollen durchgeführt, die das Schneeglöckchenlektin bilden.

Die biochemische Analyse

Arpad Pusztai stellte aufgrund von Konzentrationsangaben zu verschiedenen Inhaltsstoffen fest, dass "die Insertion des GNA-Gens in Kartoffeln dazu führt, dass Veränderungen in der Menge an Protein, Stärke, Zuckern, Lektin und Trypsin/Chymotrypsin-Inhibitoren in den Knollen von zwei Generationen von zwei GNA-Kartoffellinien festgestellt werden können, die möglicherweise auf Genabschaltung, Unterdrückung der Genfunktion, Positionseffekte des eingeführten Genkonstrukts und /oder somaklonale Variation im Kartoffelgenom zurückgeführt werden können." Aus seiner Sicht sind daher die untersuchten Kartoffellinien nicht äquivalent zu den Elternpflanzen. Auf der Basis der gleichen Daten kam das Rowett-Institut jedoch zu dem Ergebnis, dass die gentechnisch veränderten und die unveränderten Ausgangskartoffeln gleichwertig seien, also keine bedeutsamen Konzentrationsverschiebungen festzustellen seien, obwohl in fast allen Kategorien statistisch signifikante Unterschiede anzutreffen waren.

Die Fütterungsexperimente

Es konnten 4 Fütterungsexperimente vor der Entlassung Pusztais abgeschlossen werden. Jeder Versuch umfasste Kontrollen, also Futterzusammenstellungen mit nicht veränderten Kartoffeln, Futterzusammenstellungen mit nicht transgenen Kartoffeln aber einer zugesetzten Menge von isoliertem Schneeglöckchenlektin und Ansätzen, die die transgenen GNA-Kartoffeln enthielten. Jede Einzelgruppe setzte sich aus sechs Tieren zusammen, das heisst pro Fütterungsversuch kamen mindestens achtzehn Tiere zum Einsatz. Es wurden drei Kurzzeitversuche (10 Tage) und ein Langzeitversuch (110 Tage) durchgeführt. Pusztai interpretiert die Ergebnisse der Ver-

² Das Prinzip der „substantiellen Äquivalenz“ spielt bei der Zulassung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln eine grosse Rolle.

suche wie folgt³: "In allen vier Fütterungsversuchen verursachten die transgenen Kartoffeln grössere und in den meisten Fällen hochsignifikante Veränderungen in den Gewichten von einigen oder den meisten der lebenswichtigen Organe der Versuchstiere. Besonders besorgniserregend war die teilweise Leberatrophy, die in allen Kurzzeitversuchen mit gekochten transgenen Kartoffeln beobachtet werden konnte. Organe des Immunsystems wie die Milz oder der Thymus waren häufig betroffen. Diese Ergebnisse zeigen deshalb, dass es ähnlich wie die fehlende Gleichwertigkeit in der stofflichen Zusammensetzung eine fehlende Gleichwertigkeit der Wirkungen auf den Stoffwechsel zwischen transgenen und nicht-transgenen Kartoffeln gibt." Zusätzlich beobachtete Arpad Pusztai Probleme in der Verdauung der Ratten, auch wenn dies nur in einem Versuch statistisch signifikant war.

Stimulationsversuche mit den Lymphocyten der Versuchstiere aus den Kurzzeitversuchen, die als ein Mass für die Reaktivität des Immunsystems und damit für die Stärke der Immunabwehr gelten können, zeigten eine deutliche Abnahme der induzierbaren Zellteilungsaktivität und weisen damit auch auf eine durch die transgenen Kartoffeln ausgelöste Schwächung des Immunsystems hin.

Der offizielle Untersuchungsbericht des Rowett-Instituts kommt auch in der Interpretation der Ergebnisse der Fütterungsversuche zu deutlich anderen Einschätzungen. Nach der Einschätzung der Gutachter hatten die Versuchskartoffeln keinerlei Wirkungen auf die Gewichtszunahme oder die Gewichte von einzelnen Organen im Vergleich mit den nicht veränderten Kartoffeln. Die Ergebnisse der Lymphocytenstimulationsversuche werden als inkonsistent und damit als nicht aussagefähig angesehen. Das Gesamturteil ist sehr eindeutig formuliert:

"Das Audit Komitee ist der Auffassung, dass die vorliegenden Daten keinerlei Hinweise für die Vermutung enthalten, dass der Verzehr transgener Kartoffeln, die das Schneeglöckchenlektin bilden, einen Effekt auf Wachstum, Organentwicklung oder die Immunfunktion hat."

Die Memorandumsgruppe

Der Ruf Arpad Pusztais als Wissenschaftler und seine lange wissenschaftliche Erfahrung liessen von Anfang an den Fall und seine Umstände seltsam erscheinen. Arpad Pusztai verbundene Kollegen ergriffen deshalb die Initiative, um eine unabhängige Bewertung seiner Versuche und seiner Ergebnisse zu ermöglichen. Das Ergebnis dieser unabhängigen Prüfung ist ein von 23 WissenschaftlerInnen aus aller Welt unterzeichnetes Memorandum, das die Rehabilitation Pusztais fordert. Alle Beteiligten haben den Audit-Report des Rowett-Institutes und Arpad Pusztais Bericht gelesen und die Ergebnisse sorgfältig miteinander verglichen. Damit haben die Versuche, die Ergebnisse und ihre Interpretation einen intensiven Peer Review Prozess durchlaufen. Die Memorandumsgruppe kam zu folgendem Schluss:

"Wir sind überzeugt davon, auch wenn manche der Ergebnisse vorläufig sind, das sie ausreichend sind, um Dr. Pusztai zu entlasten. Die vorgelegten Ergebnisse zeigen, dass der Verzehr von GNA-haltigen transgenen Kartoffeln durch Ratten zu signifikanten Veränderungen im Organgewicht und einer Unterdrückung der Lymphocytenreaktivität im Vergleich mit den Kontrollen führt. Es gab ausserdem eine starke Evidenz dafür, dass die lektin-haltigen Kartoffelknollen nicht substantiell äquivalent zu den unveränderten Ausgangskartoffeln sind und zusätzlich die beiden in den Fütterungsexperimenten verwendeten Linien unterschiedlich waren. Dies unterstützt nachdrücklich die Forderung, weitere Versuche durchzuführen, um die toxikologisch-pathologische Bedeutung der Befunde genauer herausfinden zu können. Die Publikation wissenschaftlicher Veröffentlichungen braucht in der Regel viel Zeit, aber es ist dringend notwendig, die vorliegenden Daten jetzt in die öffentliche Diskussion einzubringen, damit die Sicherheit und die Gefahren transgener Nutzpflanzen angemessen debattiert und geprüft werden können. Deshalb haben wir uns entschieden, dieses Memorandum zu veröffentlichen."

Die Bewertung der Memorandumsgruppe wurde von der Scientific Community weitgehend vom Tisch gewischt oder nicht zur Kenntnis genommen.

Wie die Memorandumsgruppe festgestellt hat, sind die Ergebnisse vorläufig. Aber es ist in Anbetracht der anstehenden und bereits erfolgten Kommerzialisierungen dringend notwendig, gezielt Untersuchungen zur gesundheitlichen Unbedenklichkeit transgener Pflanzen durchzuführen, da Pusztais Ergebnisse eine Reihe von Fragen aufgeworfen haben. Es werden Versuche gefordert, die zur Klärung der offenen Sachverhalte beitragen. Besondere Bedeutung erhält diese Forderung vor dem Hintergrund, dass nach einem Bericht der in Brüssel erscheinenden Zeitung European Voice vom Juli 1999, der aus internen Papieren der FDA zitiert, die amerikanische Gesundheitsbehörde transgenen Pflanzen entgegen dem Rat ihrer eigenen Berater in einem 1992 veröffentlichten Policy-Statement weitgehende Unbedenklichkeit bescheinigt. Damit wurden für die Firmen bisher kostenaufwendige Sicherheitsüberprüfungen zur gesundheitlichen Unbedenklichkeit vermieden. Auch 1999 sieht die FDA keinen Grund, diese Praxis zu verändern, bestätigt dafür aber, dass bisher keine entsprechenden Untersuchungen stattgefunden haben (<http://vm.csfan.fda.gov/lrd/fr92529b.html>).

³ Alle Daten und die zugeordneten Versuchsinterpretationen sind den beiden Berichten entnommen, die anlässlich der Entlassung Pusztais von der eingesetzten Untersuchungskommission und ihm selber verfasst wurden. Beide Berichte können über das Internet bezogen werden <<http://plab.ku.dk/tcbh/Pusztai/bh.htm>>

2 Weizenanbau in der Schweiz

2.1 Der nachhaltige Weizenanbau: ein Idealszenario

Unter dem Begriff Weizen werden verschiedene *Triticum*-Arten zusammengefasst, von denen der Weichweizen (*Triticum aestivum*) mit rund 90 % des weltweiten Weizenanbaus die wirtschaftlich bedeutendste Art ist¹ (Geisler 1988; Hoffmann *et al.* 1985). Weichweizen hat grosse Ansprüche an Nährstoffversorgung und Wasserspeicherkapazität der Böden. Die Winterform² kann in der Schweiz bis auf 800 m.ü.M. angebaut werden, während die Sommerform bis auf 1400 m.ü.M. gute Erträge bringt.

Um dem Idealbild eines nachhaltigen Anbaus gerecht zu werden, wird Weizen in einer Fruchtfolge angebaut, wobei sein Anteil nicht über 50 % liegen sollte, damit Schädlinge und Krankheiten auf natürliche Weise reguliert werden. Da der Weizen grosse Anforderungen an die Nährstoffversorgung stellt, sollte er innerhalb der Fruchtfolge an bevorzugter Stelle nach Klee gras oder Körnerleguminosen stehen³. Eine ausgewogene Düngung vermindert die Krankheitsanfälligkeit der Pflanzen⁴, bei einer nachhaltigen Düngungsstrategie wird ferner die Stickstofffreisetzung aus den Ernteresten der Vorkultur⁵ berücksichtigt. Nachhaltig wirtschaftende Bauern verwenden mit biologischen Mitteln gebeiztes Weizensaatgut. Auf den Einsatz von Pestiziden und Herbiziden wird verzichtet, Schädlinge werden mit biologischen Pflanzenschutzmitteln und Unkräuter mit mechanischen Methoden reguliert.

2.2 Der real existierende Weizenanbau

Der real existierende Weizenanbau reicht vom unökologischen, intensiven Dauerweizenanbau ohne Fruchtfolge mit massivem Pestizid- und Herbizideinsatz, der in der Schweiz in seiner extremsten Form jedoch nicht vorkommt, bis zum Anbau nach biologischen Richtlinien, der dem Ideal der Nachhaltigkeit recht gut entspricht. Im Intensivanbau konnten die Erträge in den letzten Jahrzehnten bis über 7000 kg/ha gesteigert werden, wie beispielsweise in England, Frankreich oder Deutschland, während die durchschnittliche Welternte 1998 bei rund 2600 kg/ha lag. In der Schweiz lag der Ertrag 1998 durchschnittlich bei rund 6200 kg/ha (FAO 1999), während die Erträge im Biolandbau bei rund 4000 kg/ha lagen (Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau, LBL *et al.* 1998). Dem nachhaltigen Weizenanbau, der in der Schweiz dank dem verbreiteten Anbau in Fruchtfolge relativ gut vertreten ist, kommt besonders der biologische Landbau nahe. Biobauern verzichten auf die Verwendung chemischer Saatgutbeizen und auf den Spritzmitteleinsatz.

2.3 Die Schlüsselprobleme des Weizenanbaus

Die wichtigsten Probleme im Weizenanbau in der Schweiz sind Infektionen mit Pilzen der Gattung *Fusarium*, insbesondere wenn die Ähren befallen werden, die Halmbruchkrankheit, die zu Schäden an Lagergetreide führt und die *Septoria*-Spelzenbräune, welche die oberirdischen Pflanzenteile des Weizens derart schädigen kann, dass die Pflanzen absterben (Tabelle 5).

¹ Ausserdem wird in trockeneren und wärmeren Regionen der Subtropen auch Hartweizen (*T. durum*) angebaut. Dinkel (*T. spelta*) wird heute noch wenig angebaut, während die Vorgänger Emmer (*T. dicoccon*) und Einkorn (*T. monococcum*) keine Bedeutung mehr haben.

² Der Weizen wird im Herbst gesät und überwintert im Dreiblattstadium, im Frühjahr erfolgt die Bestockung.

³ Leguminosen können in Symbiose mit den Rhizobien (Bakterien) Stickstoff aus der Luft (N₂) binden. Auf diese Weise kann Stickstoff dem Boden zugeführt werden.

⁴ Zu geringe Düngung: die Pflanzen sind zu schwach zur Krankheitsabwehr – zu starke Düngung: der Bestand wird zu dicht und Krankheiten, insbesondere Pilze, finden gute Ausbreitungsbedingungen.

⁵ Starke Stickstoff-Mineralisierung im Boden, die durch Bearbeitungsmassnahmen im Herbst gefördert wird, kann zu einem Überangebot an Stickstoff (Nitrat) im Boden im Winter führen. Da Winterweizen bis zum Frühjahr nur sehr wenig Stickstoff aufnimmt, wird das Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen und steht der Kultur im nächsten Frühling nicht mehr zur Verfügung.

Tabelle 5: Bedeutung und Verbreitung einer Auswahl von Schaderregern im Weizenanbau

Problem/Krankheit	Schaderreger	Bedeutung	Verbreitung
Fusariosen	<i>Fusarium spp.</i>	***	weltweit
Halmbruchkrankheit	<i>Pseudocercospora herpotrichoides</i>	***	weltweit
Septoria-Spelzenbräune und -Blattflecken	<i>Septoria nodorum</i>	***	weltweit
Braunrost	<i>Puccinia recondita</i>	**	weltweit
Echter Mehltau	<i>Erysiphe graminis</i>	**	weltweit
Blattdürre	<i>Septoria tritici</i>	*	weltweit
Gelbrost	<i>Puccinia striiformis</i>	*	lokal ^b
Scharfer Augenfleck	<i>Rhizoctonia cerealis</i>	*	weltweit
Schwarzbeinigkeit	<i>Gaeumannomyces graminis</i>	*	weltweit
Schwarzrost	<i>Puccinia graminis</i>	*	weltweit
Stink- oder Steinbrand	<i>Tilletia caries</i>	*	weltweit
Typhula-Fäule	<i>Typhula spp.</i>	*	regional ^a
Weizenflugbrand	<i>Ustilago nuda/Ustilago tritici</i>	*	weltweit
Virosen	Barley Yellow Dwarf Virus	**	weltweit
Hafernematode	<i>Heterodera avenae</i>	*	weltweit
Stengelnematode	<i>Ditylenchus dipsaci</i>	*	weltweit
Wurzelläsionsnematode	<i>Pratylenchus spp.</i>	*	regional ^c
Getreideblattläuse	<i>Metopolophium dirhodum, Sitobion avenae, Rhopalosiphum padi</i>	**	weltweit
Getreidehähnchen	<i>Oulema spp.</i>	*	regional ^d
Gelbe Weizenhalmfliege	<i>Chlorops pumilionis</i>	*	regional ^e
Fritfliege	<i>Oscinella frit</i>	*	regional ^f
Drahtwürmer	<i>Agriotes spp.</i>	*	regional ^g
Brachfliege	<i>Phorbia coarctata</i>	*	regional ^h
Getreidethripse	<i>Limothrips spp., Haplothrips spp.</i>	*	weltweit
Sattelmücke	<i>Haplodiplosis equestris</i>	*	regional ⁱ
Weizengallmücken	<i>Contarinia tritici, Sitodiplosis mosellana</i>	*	regional ^k
Schnecken	<i>Deroceras spp.</i>	*	regional ^l
Unkräuter		**	weltweit

^a kühl-feuchte und gemässigte Klimazonen; ^b kühl-feuchte Mittelgebirgs- und Küstenlagen; ^c v.a. Europa und N-Amerika; ^d Europa, Vorderasien, Nordafrika, östl. N-Amerika; ^e Europa, Asien; ^f Europa, W-Asien; ^g Europa, Asien, N-Afrika, Neuseeland; ^h Europa, Russland, Kanada; ⁱ Europa; ^k Europa, Asien, N-Afrika, N-Amerika; ^l N-Hemisphäre

Mit "Bedeutung" sind die volkswirtschaftlichen Kosten gemeint, die durch das Problem entstehen; die Schaderreger bis zum Doppelstrich sind am problematischsten.

2.4 Die Lösungsstrategien

Im Weizen muss das Schwergewicht der Problembewältigung bei der Prävention liegen, da sich jeder zusätzliche Arbeitsschritt im Weizen wirtschaftlich kaum lohnt.

Prävention – In einjährigen Kulturen wie Weizen werden die natürlichen Feinde der Schaderreger durch die Anlage von Krautstreifen und durch das Belassen einer Restverunkrautung gefördert (Habitat management). Eine mehrjährige Pause im Weizenanbau im Rahmen der Fruchtfolge trägt zur Prävention sogenannter Fusskrankheiten⁶ bei. Der Verzicht auf leichtlösliche Stickstoffdünger beugt dem Befall durch zahlreiche Schädlinge und

⁶ Bodenbürtige, d.h. im Boden, oder auf Ernterückständen überdauernde Krankheiten (z.B. *Fusarium spp.*)

Krankheitserreger vor. Untersaaten⁷ dienen der Unkrautunterdrückung und ermöglichen eine rasche Futternutzung nach der Ernte (FiBL 1998).

Krankheits- und Schädlingstoleranz – Neben der Ertragshöhe wird mit der Züchtung auf Qualität und Krankheitsresistenz gezielt. Im Getreideanbau werden mit Erfolg Sortenmischungen angebaut (siehe auch Kapitel Sortenmischungen Seite 39). Dabei werden Sorten mit guten Resistenzeigenschaften und solche mit guten Ertrags- oder Qualitätseigenschaften gemischt. In der Schweiz sind diverse solche Sortenmischungen im Handel, sie werden insbesondere im Biolandbau empfohlen, weil die direkten Bekämpfungsmöglichkeiten limitiert sind.

Schaderregerbekämpfung – Konventionelles Saatgut wird mit Fungiziden gegen den Befall mit samen- und bodenbürtigen Krankheiten wie Fusarien, der Halmbruchkrankheit und anderen Pilzkrankungen gebeizt. Für die biologische Saatgutbeizung ist in der Schweiz ein Mittel namens Tillecur zugelassen. Es besteht zum 85 % aus Gelbsenfmehl. Zur Bekämpfung von Weizenschädlingen und -krankheiten sind keine mikrobiellen Antagonisten praxisreif und kommerzialisiert.

2.5 Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau

Züchtung – Die Ziele der Züchtung sind die Ertragsleistung, die sich aus dem Ertrag pro Ähre und der Bestandesdichte zusammensetzt, und die Ertragssicherheit, also die Fähigkeit, die Ertragsleistung unter gegebenen Umweltbedingungen zu verwirklichen, zu verbessern. Dazu gehören Standfestigkeit, Frühreife, Dürre- und Winterfestigkeit und pH-Verträglichkeit sowie Krankheits- und Schädlingsresistenz. Ferner wird auf hohe Qualitätseigenschaften⁸ hin gezüchtet (Hoffmann *et al.* 1985). Die Schweiz verfügt über eine eigene Getreidezüchtung (Landwirtschaftliche Forschungsanstalten Changings (RAC) und Reckenholz (FAL) sowie Delley Samen und Pflanzen AG). Mit systematischen Resistenzzüchtungs-Programmen werden die Krankheiten Braunrost, Gelbrost, Echter Mehltau, Blatt- und Spelzenbräune und Ährenfusariosen angegangen.

In Sortenversuchen mit praxisüblicher Düngung ohne Einsatz von Fungiziden, Insektiziden und Wachstumsregulatoren werden neue in- und ausländische Getreidesorten nach den wichtigsten Eigenschaften untersucht. Nur wenn neue Sorten die Bestehenden übertreffen, werden sie in die Sortenliste aufgenommen. 1998 wurden drei neue Winterweizen- und zwei neue Sommerweizensorten in den Katalog aufgenommen (Valenghi *et al.* 1998).

Sortenmischungen – In den letzten Jahren wurde im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte gezeigt, dass die Weizenerträge durch eine Aussaat als Sortenmischungen deutlich gesteigert werden konnten. Diversität im Bestand schränkt die Ausbreitung der Krankheitserreger ein. Finckh & Wolfe (1998) führen verschiedene Gründe für dieses Phänomen auf. Durch den vergrößerten Abstand zwischen den Pflanzen der anfälligen Sorte verringert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Krankheit. Resistente Pflanzen übernehmen auch eine Art Barrierenfunktion für den Krankheitserreger. Mit zunehmender Diversität der Krankheitserregerpopulation, die mit einer erhöhten Wirtsdiversität einhergeht, verringert sich der Krankheitsdruck. Wenn die Krankheitserreger auf die Wirtsgenotypen spezialisiert sind, kann durch avirulente Pilzsporen induzierte Resistenz eine folgende Infektion mit der virulenten Pathogenrasse verhindern oder verzögern. Ferner können Interaktionen zwischen Pathogenrassen wie der Wettkampf um verfügbares Pflanzengewebe die Ausmasse der Krankheit vermindern. Der Befall mit Halmbruchkrankheit und Gelbrost (Akanda & Mundt 1997; Mundt *et al.* 1996; Mundt *et al.* 1995b), mit Gelb- und Braunrost (Lannou *et al.* 1994) und mit Septoria (Mundt *et al.* 1995a) konnte durch den Anbau von Sortenmischungen signifikant reduziert werden.

Biologischer Pflanzenschutz – Die Forschung nach Antagonisten wird vor allem im Bereich der Bekämpfung von Fusarien intensiv betrieben. Knudsen *et al.* (1995) untersuchten die Eigenschaften dreier verschiedener im Labor als Antagonisten ausgewiesener Pilze als biologische Bekämpfungsmittel von *Fusarium culmorum* in Feldversuchen. Dabei konnte das Pathogen am besten mit *Gliocladium roseum* kontrolliert werden. Die Keimungsfähigkeit des Erntegutes wurde um 170 % gesteigert und das Ausmass der Krankheit verringerte sich um 73 %. Bei der Ernte betrug die Ertragsverbesserung 160 %. Ferner erzielten das antifungale Bakterium *Pseudomonas fluorescens* CHA0 (Maurhofer *et al.* 1995) und ein Stamm des Bakteriums *Burkholderia cepacia* (Huang & Wong 1998) gute Resultate. Zwei Stämme von *Pseudomonas fluorescens* und ein Pilz der Gattung *Trichoderma* sowie *Streptomyces griseoviridis* (Clarkson & Lucas 1993a, Clarkson & Lucas 1993b) besitzen ein Potential als Antagonisten gegen die Halmbruchkrankheit. Gegen Braunrost sind zwei Hyperparasiten der Gattung *Verticillium* bekannt und gegen den Mehltau wurden im Labor Erfolge mit dem antibiotischen Pilz *Sporotrix flocculosa* erzielt, während gegen die Septoria-Krankheit keine Forschungsergebnisse über biologische Bekämpfungsmittel vorliegen.

Induzierte Resistenz – Über Induzierte Resistenz wird vor allem im Rahmen der Bekämpfung des echten Mehltaus (*Erysiphe graminis*) geforscht. Durch die Entwicklung des synthetisch erzeugten Esters namens BTH⁹ wurde das Spektrum der möglichen chemischen Resistenzinduktoren Salicylsäure und 2,6-Dichloroisonicotin Säure erweitert (Gorlach *et al.* 1996). BTH bewirkte die Expressierung von Genen in der Weizenpflanze, die für

⁷ Zwischen dem Bestocken und dem Schossen des Weizens wird zwischen den Reihen eine Kleegrasmischung oder Rotklee eingesät. Neben der Unterdrückung ungewünschten Unkrauts dienen Untersaaten auch dem Erosionsschutz.

⁸ Proteingehalt, Mahlfähigkeit (Sorten mit geringem Rohfaseranteil, Kornform) und Backfähigkeit (Kleberqualität der Eiweisse).

⁹ Benzo(1,2,3)thiadiazole-7-carbothioic acid-S-methylester

ein schwefelhaltiges Protein und für eine Lipoxygenase kodieren und induzierte somit die pflanzeigenen Resistenzmechanismen. Laut Schaffrath *et al.* (1997) funktioniert die Geninduktion bei einkeimblättrigen Pflanzen allerdings nicht nach einer erfolgten Resistenzinduktion mit inkompatiblen Pathogenformen. BTH wurde 1996 von Ciba-Geigy (heute Novartis) unter dem Handelsnamen Bion® eingeführt.

Ferner konnte erhöhte Abwehrbereitschaft bei einer Infektion mit dem virulenten Stamm des Braunrosterregers hervorgerufen werden, nachdem die Weizenpflanzen zu einem früheren Zeitpunkt mit einem avirulenten Stamm des Pathogens behandelt wurden.

Prognosesysteme – EIPRE ist ein Prognosemodell, das in den siebziger Jahren in den Niederlanden entwickelt wurde. Im Frühjahr werden die Basisdaten der Weizenfelder erhoben (Sorte, Ertragsersparungen, Standortdaten). Während der Vegetationszeit werden vom Bauern die Verläufe allfälliger Krankheiten beobachtet. Auf diese Weise kann EIPRE das Ausmass der Epidemie und entsprechende Ertragsausfälle vorausberechnen. EIPRE lässt sich zur Prognose der wichtigsten Pilzkrankheiten *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Puccinia striiformis*, *P. recondita*, *Septoria nodorum* und *Erysiphe graminis* sowie von Blattläusen verwenden. In der Schweiz könnten mit EIPRE die Zahl der Fungizidanwendungen um 30 % und die Fungizidmenge um 50 % reduziert werden (Forrer 1992) (zu Prognosesystemen siehe auch Seite 69).

Saatgutbehandlung – Als Alternative für die aus ökologischer Sicht problematische Saatgutbeizung mit Fungiziden, die jedoch in den letzten Jahren in der konventionellen Landwirtschaft ein wesentlicher Bestandteil der Bekämpfung boden- und samenbürtiger Krankheiten geworden war, wurden von Winter *et al.* (1997) und Winter *et al.* (1998) Warm- und Heisswasserbehandlungen des Saatgutes getestet. Sie erreichten damit einen mit der Saatgutbeizung vergleichbaren Schutz. Für den biologischen Weizenanbau wurde ein Mittel auf Senfmehlbasis entwickelt, das zur Saatgutbeizung gegen den Stinkbrand verwendet wird. Es ist seit 1999 in der Schweiz unter dem Namen Tillecur erhältlich.

2.6 Hauptforschungsgebiete Gentechnik

2.6.1 Status Quo

Weizen kann, wie die meisten anderen Getreidearten, aufgrund methodischer Schwierigkeiten erst seit kurzem gentechnisch verändert werden. Die Entwicklung transgener Weizensorten ist deshalb noch nicht so weit fortgeschritten wie bei anderen Kulturpflanzenarten. Dies spiegelt sich auch in den Freisetzungstatistiken wider. In der EU gab es erst acht, in den USA 52 Anträge auf Freisetzungen von transgenem Weizen (siehe Tabelle 6).

Herbizidtolerante Weizensorten - Auch bei Weizen ist die Herbizidtoleranz eines der dominierenden Veränderungsziele. Die Firma Monsanto hat angekündigt, im Jahre 2002 eine herbizidtolerante Weizensorte in den Markt einzuführen (Transgen 1999).

Produktqualität - Ein weiteres Hauptziel der gentechnischen Veränderung von Weizen ist die Veränderung der Inhaltsstoffe für eine verbesserte Anpassung an industrielle Prozesse. So soll eine veränderte Stärkezusammensetzung die Backeigenschaften von Weizenmehl verbessern. Weiter wird auch daran gearbeitet, den Anteil an wasserlöslichen Ballaststoffen zu erhöhen oder bestimmte Eiweisse, wie z.B. Prolamine, die für Menschen, die an der Krankheit Zöliakie leiden, unverträglich sind, zu unterdrücken.

Pilzresistenz - In den USA haben 13 Freisetzungen stattgefunden, die das Merkmal Pilzresistenz (*Septoria*, *Fusarium*) betreffen. Aus den Unterlagen der USDA-Datenbank geht jedoch nicht hervor, welche Gene kloniert wurden. Aus verschiedenen Literaturartikeln lässt sich jedoch erschliessen, dass die Pilzresistenz in den meisten Fällen durch die Klonierung von Chitinasen vermittelt werden soll¹⁰. Im Labor zeigten diese transgenen Weizensorten eine erhöhte Resistenz gegen Echten Mehltau (Bliffeld *et al.* 1999).

Virusresistenz - Ein weiteres Ziel gentechnischer Veränderungen ist die Erzeugung von Virusresistenzen gegen die Viren Wheat Streak Mosaic Virus (WSMV) und Barley Yellow Dwarf (BYDV). Dabei wird ein Hüllprotein in die Pflanzen eingeführt, um so eine Resistenz gegen die entsprechenden Viren zu erzeugen.

¹⁰ Chitinasen sind Enzyme, die Chitin-haltige Pilzzellwände auflösen können.

Tabelle 6: Freisetzungsanträge für transgenen Weizen in der EU und den USA: eingeführte Eigenschaften (nach RKI 1999, APHIS-USDA 1999).

Eingeführte Eigenschaft	Anzahl Anträge EU	Anzahl Anträge USA
Produktqualität/Agronomische Eigenschaften		15
Herbizidtoleranz	1	14
Herbizidtoleranz, Inhaltsstoffe	2	
Herbizidtoleranz; Männlich steril	2	
Herbizidtoleranz; Pilzresistenz	1	
Pilzresistenz		13
Virusresistenz		8
Krankheitsresistenz		2
Markergene	2	

2.6.2 Potential

Bei Weizen liegen die Schwerpunkte der gentechnischen Veränderungen in der Erzeugung von Herbizidtoleranzen, Pilzresistenzen und der Veränderung des pflanzeigenen Metabolismus. Toleranzen gegen Totalherbizide sollen das Spritzmanagement verbessern, die Aufwandmengen verringern und zum Einsatz umweltfreundlicherer Herbizide führen. Alle drei Punkte haben sich bisher im Praxiseinsatz bei anderen Pflanzen aber nicht durchgängig bestätigt (siehe Seite 79). Auch wenn marktreife pilzresistente Weizenpflanzen in naher Zukunft nicht zu erwarten sind, könnten entsprechende Resistenzen in der Zukunft zu einer Fungizid-Reduktion führen. Entscheidend dabei ist aber, wie spezifisch die entsprechenden Resistenzen wirken. Durch Fungizidspritzungen werden heute mehrere Pilzarten bekämpft. Die gentechnischen Ansätze wirken bisher in vielen Fällen spezifischer, so dass bei der Vielzahl pilzlicher Erreger im Weizen auch bei transgenen pilzresistenten Weizensorten nicht auf Fungizide verzichtet werden kann. Durch diese Weizenveränderungen soll eine Optimierung der verarbeitungstechnisch wichtigen Eigenschaften erzielt werden.

Insektenresistente Weizensorten sind bisher nicht entwickelt worden. Der Anbau virusresistenter Weizenpflanzen könnte dazu führen, dass weniger Insektizide gegen die Virus-übertragenden Insekten eingesetzt werden. Allerdings gilt dies nur, wenn diese Insekten keine direkten Frassschäden am Weizen verursachen. Hauptüberträger für BYDV sind verschiedene Blattläuse, u.a. die Haferblattlaus (*Rhopalosiphum padi*) und die Grosse Getreideblattlaus (*Sitobion avenae*) (Kegler & Fried 1993). Beide Arten verursachen auch direkte Schäden auf Weizen. Eine drastische Verringerung des Insektizideinsatzes ist also auch beim Anbau virusresistenter Weizenarten nicht zu erwarten. Ausserdem birgt der Anbau von transgenen virusresistenten Weizenpflanzen Risiken, die in ihrer Tragweite bisher nicht abgeschätzt werden können (siehe Virusresistente Pflanzen Seite 23).

2.6.3 Risiken

Verwilderung - Weizen ist eine relativ konkurrenzschwache Pflanze und kommt in der Schweiz ausschliesslich in Kultur vor. Auf Flächen mit geringer Unkrautkonkurrenz wie Bahndämme und Ackerränder kann er allerdings kurzfristig auswildern. Eine langfristige Etablierung wird allerdings für ausgeschlossen gehalten (Neuroth 1997, Torgersen 1996).

Auskreuzung - Weizen ist selbstbefruchtend, ein geringer Anteil (<5%) wird jedoch auch fremdbefruchtet, weshalb eine Auskreuzung von transgenem Weizen in konventionelle Weizenfelder wahrscheinlich ist (Raps *et al.* 1998). Ausserdem ist ein spontanes Auskreuzen auf Roggen möglich (Torgersen 1996).

Weizen als Nahrungsmittel - Es lässt sich bisher nicht abschätzen, ob transgener Weizen als Nahrungsmittel vollkommen unbedenklich ist. Da bisher der Insertionsort für Fremdgene nicht festgelegt werden kann, lässt sich nicht ausschliessen, dass es zu Nebenwirkungen der Klonierung kommen kann (siehe Positionseffekte Seite 93). Ebenso wenig lässt sich das allergene Potential neu eingeführter Gene mit Sicherheit abschätzen (siehe Allergien Seite 41).

Herbizidtoleranter Weizen - Neben den grundsätzlichen Überlegungen zur Herbizidtoleranz (siehe Seite 79) ist bei Weizen vor allem die ungeklärte Rückstandsproblematik der verwendeten Totalherbizide zu beachten.

Pilzresistenter Weizen - Auch bei natürlichen Abwehrreaktionen von Weizen gegen pilzliche Erreger sind endogene Chitinasen beteiligt, deren Bildung nach Pilzbefall induziert wird. Durch die Klonierung von weiteren artfremden Chitinase-Genen, die dauerhaft exprimiert werden, liegt der absolute Chitinase-Gehalt im transgenen Weizen sehr viel höher als bei nicht-transgenem Weizen. Für die Risikoanalyse von transgenem Weizen sollte daher zunächst das toxische und allergene Potential der klonierten Chitinasen geprüft werden. Chitinasen schädigen alle Organismen, die Chitin in ihren Zellwänden enthalten, d.h. Pilze und manche Insekten. Der Einfluss eines erhöhten Chitinase-Gehaltes auf diese Organismen muss dringend geklärt werden. Da einige niedere Pilze kein Chitin in ihrer Zellwand enthalten, können diese auf Chitinase-Weizen einen Selektionsvorteil besitzen und

sich vermehrt ausbreiten. Möglicherweise werden dadurch Pilzarten auf Chitinase-Weizen zu Schaderregern, die im konventionellen Weizen aufgrund des dort vorhandenen Pathogendrucks keine Rolle gespielt haben. Auch im Boden kann sich die Zusammensetzung der verschiedenen Pilzartenpopulationen ändern, wenn genügend grosse Chitinasemengen freigesetzt werden. Es muss daher untersucht werden, ob beim Einarbeiten von Pflanzenresten oder auch mit dem Wurzelexudat grössere Chitinasemengen freigesetzt werden, und wenn ja, wie diese auf Pilz- und Insektenpopulationen im Boden wirken. Wird die rekombinante Chitinase über das Wurzelexudat ausgeschieden, kann auch die Mykorrhizabildung beeinflusst werden (Raps *et al.* 1998, Vierheilig *et al.* 1995).

Virusresistenz - Bisher wurden bei Weizen Resistenzen gegen BYDV und WSMV gentechnisch erzeugt. Weizen kann aber auch von einer Reihe weiterer Viren infiziert werden (Kegler & Friedt 1993). Mit diesen Viren besteht das Risiko, dass durch heterologe Enkapsidierung oder Rekombination neue Infektionswege oder neue Virusvarianten erzeugt werden könnten (siehe Virusresistenz Seite 23).

2.7 Bewertung der heutigen Situation und Ausblick

Weizen ist heute am stärksten durch **Fusariosen**, die **Halmbruchkrankheit** sowie die **Septoria-Spelzenbräune und -Blattflecken** bedroht. Alle drei werden sowohl über den Boden und Erntereste als auch über infiziertes Saatgut übertragen. Ferner können Ernteauffälle durch **Braunrost**, den **Echten Mehltau**, **Virosen** und **Blattläuse** entstehen.

Ökologische Ansätze: Pflanzenschutzstrategien im Weizen setzen stark auf präventive Massnahmen, da jeder zusätzlich Arbeitsschritt im Feld – wie beispielsweise die Spritzung eines Pestizids – sich aus wirtschaftlichen Gründen nicht lohnt. Zur Prävention gehört die Einhaltung einer weitgestellten Fruchtfolge, die gerade bodenbürtigen Krankheiten wie den drei wichtigsten im Weizenanbau (**Fusariosen**, die **Halmbruchkrankheit** und **Septoria-Spelzenbräune und -Blattflecken**), einen grossen Teil ihrer Brisanz nimmt. Grosse Bekämpfungserfolge werden im Getreideanbau mit der Verwendung von Sortenmischungen erzielt. Sortenmischungen wirken sich bremsend auf Krankheitsepidemien und teilweise auch unabhängig von Krankheiten steigernd auf den Ertrag aus. Forschungsbedarf besteht für den Weizenanbau in der Züchtung, wo nach neuen Sorten mit guten Resistenzeigenschaften gesucht wird und in der Optimierung der Sortengemische. Denkbar ist auch ein Anbau als interspezifische Mischkultur, beispielsweise mit einer Klee gras-Untersaat. Ferner dürfte auch eine verstärkte Forschung nach biologischen Pflanzenschutzmitteln noch Horizonte erweitern. Allerdings muss hier die wirtschaftliche Machbarkeit im Auge behalten werden. Gerade zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit von korrigierenden Eingriffen im Feld – sei es mit Pestiziden oder biologischen Pflanzenschutzmitteln – ist eine weitere Optimierung und Verbreitung von Prognosesystemen zur Entscheidungsfindung und damit Aufklärungsarbeit unter den Landwirten vonnöten.

Gentechnische Ansätze: Gentechnisch wird zwar versucht, pilzresistente Weizensorten gegen **Fusariosen** und **Septoria** zu erzeugen. Da die Pilz/Pflanze-Interaktionen sehr komplex sind und bisher keine Freisetzungsdaten publiziert worden sind, muss erst noch gezeigt werden, ob die Gentechnik tatsächlich in den nächsten Jahren einen Beitrag zur Verminderung der Pilzprobleme beitragen kann. Vermutlich wird eine angewendete Strategie die Klonierung von Chitinasen sein. Diese Strategie birgt das Risiko der Schädigung von Bodenpilzen, Insekten und auch der Mykorrhiza. Weiter entwickelt als die Pilzresistenz ist die Entwicklung transgener **herbizidtoleranter Weizensorten**, die aber im Vergleich zur heutigen Situation keinen Vorteil bieten. Bei Getreide kann und wird Unkraut schon jetzt im Nachauflauf nach dem Schadschwellenprinzip bekämpft. Mit der Herbizidtoleranz-Technik ist eine noch spätere Bekämpfung zwar möglich, wegen der Ertragsverluste durch Unkrautkonkurrenz aber nicht sinnvoll (Hurle 1994). Ein weiteres Ziel gentechnischer Veränderungen bei Weizen, die Veränderung der Inhaltsstoffe, bietet aus Sicht der landwirtschaftlichen Anbaupraxis keine Vorteile.

2.8 Schadorganismen im Weizenanbau

2.8.1 Fusariosen (*Fusarium spp.*)

Unter den Fusariosen werden verschiedene Fuss-, Blatt- und Ährenkrankheiten zusammengefasst. Die Pathogene sind Vertreter der Pilz-Gattung *Fusarium*¹¹ und befallen als wenig spezialisierte Parasiten¹² neben den Hauptgetreidearten gleichermaßen Mais, zahlreiche andere Gräser und teilweise Leguminosen (Obst & Paul, 1993). Der Weizen kann während der Periode vom Ährenschieben bis zum Erntezeitpunkt infiziert werden.

Die grössten Schäden durch Fusarien entstehen beim Befall der Ähren. Es zeigt sich das als Weiss- oder Taubährigkeit bekannte Krankheitsbild. Die Ertragsverluste werden durch Herabsetzung der Kornzahl pro Ähre und durch Verminderung des Tausenkorngewichts hervorgerufen, die Backqualität¹³ des Weizens wird verschlechtert. Fusarien können für Mensch und Tier gefährlich werden wegen der bereits im Feld oder im Lager erzeugten Mykotoxine¹⁴ (Obst & Paul 1993). Auch die Qualität als Saatgut wird durch Fusarienbefall massiv verschlechtert, da die Keimfähigkeit markant zurückgeht.

Insbesondere die gefährlichen Ährenfusariosen werden durch hohe Getreide- und Maisanteile in der Fruchtfolge gefördert. Ferner nimmt deren Bedeutung durch die vermehrte Strohdüngung, die nichtwendende Bodenbearbeitung, die erhöhte Stickstoffdüngung und durch die Halmverkürzung¹⁵ zu (Obst & Paul 1993).

Strategien in der Praxis – Da Fusarien vor allem über die Samen übertragen werden, muss befallsfreies Saatgut verwendet werden. Im konventionellen und integrierten Anbau wird das Saatgut gegen Fusarien mit Fungiziden gebeizt. Diese Massnahme ist allerdings nicht wirksam gegen eine spätere Infektion der Wurzeln und der Stengelbasis (Hoffmann & Schmutterer 1983). Wirksame Vorbeugung kann wegen dem breiten Wirtsspektrum der Fusarien nur über Fruchtfolgemassnahmen erfolgen. Die Ernterückstände müssen gut untergepflügt werden. Um der Schneefäule (*Fusarium nivale*) vorzubeugen, wird die Düngung im Herbst so bemessen, dass der Weizenbestand nicht zu üppig in den Winter geht (Obst & Paul 1993). Nach der Ernte muss das Getreide unter trockenen Bedingungen gelagert werden – durch Feuchtigkeit wird die Toxinbildung gefördert. Ein Verzicht auf halmverkürzende Massnahmen verringert ebenfalls die Gefahr eines Befalls mit Fusarien. Durch eine geeignete Sortenwahl¹⁶ oder den Anbau von Sortenmischungen¹⁷ können Ährenfusariosen vorgebeugt werden. Die Bekämpfung von Ährenfusarien mittels Fungiziden kann laut Wiese (1987) wirksam sein, ist jedoch unwirtschaftlich. Im biologischen Weizenanbau kann das Saatgut mit einem auf Gelbsenf basierendem Beizmittel gegen Fusariosen behandelt werden.

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Knudsen *et al.* (1995) untersuchten die Eigenschaften dreier verschiedener im Labor als Antagonisten ausgewiesener Pilze als biologische Bekämpfungsmittel von *Fusarium culmorum* in Feldversuchen. Die besten Resultate erzielte *Gliocladium roseum*. Die Keimungsfähigkeit des Erntegutes wurde um 170 % gesteigert und der Krankheitsindex verringerte sich um 73 %. Bei der Ernte betrug die Ertragsverbesserung 160 %. Auch Teperi *et al.* (1998) fanden bei einem Screening von 210 Pilzisolaten auf ihre antagonistische Wirkung gegen *F. culmorum* im Feld die besten Resultate mit *Gliocladium spp.*

¹¹ Die wichtigsten Erreger heissen *Fusarium avenaceae*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum* (*Gibberella zeae*) und *Microdochium nivale* (nach alter Taxonomie: *Fusarium nivale*).

¹² Fusarien sind nicht auf lebendes Pflanzenmaterial angewiesen und übernehmen als Zelluloseersetzer eine wichtige Aufgabe im Nährstoffkreislauf des Bodens. Fusarien werden vor allem über Erntereste und über infiziertes Saatgut übertragen. Als weitere Quellen des Inokulums kommen die organische Bodensubstanz und Gräsernebenwirte (Obst & Paul 1993) in Frage.

¹³ Gut backfähiges Mehl soll ein möglichst hohes Gebäckvolumen ergeben. Dies wird erreicht, wenn die im Teig sich bildende Eiweissmatrix (Kleber) elastisch und dehnbar ist (Kleberqualität), um während der Teigbildung nicht zu kleben und beim Gär- und Backprozess dem Gasdruck zu widerstehen (Porung des Gebäcks).

¹⁴ Mykotoxine sind von Pilzen gebildete giftige Substanzen, im Falle der Fusarien z.B. Deoxynivalenol oder Zearalenon.

¹⁵ Chemische Halmverkürzer werden im konventionellen Anbau eingesetzt, um das durch intensive Stickstoffdüngung und dichte Bestände gesteigerte Längenwachstum der Pflanzen zu bremsen und so das „Lagern“ der Pflanzen zu verhindern. Die Standfestigkeit der Weizenpflanzen wird erhöht.

¹⁶ Gute Resistenzeigenschaften gegen Ährenfusarien weisen gemäss dem nationalen Sortenkatalog der Schweiz die Winterweizen-Sorten Titlis und Arina auf. Letztere ist allerdings sehr anfällig auf Braunrost und Halmbruch. Sommerweizen-Sorten mit guten Resistenzeigenschaften sind nicht verfügbar (Valenghi *et al.* 1998). Hochresistente Weizensorten gibt es laut Wiese (1987) nicht.

¹⁷ Die Mischungen Arina/Tamaro und Titlis/Tamaro sind für den Herbstanbau empfehlenswert. Für den Sommerweizenanbau kommt die Mischung Toronit/Golin in Frage. Ihre Resistenzeigenschaften gegen Fusarien wird als mittel bis gut bewertet (Valenghi *et al.* 1998).

Ein weiterer Antagonist gegen verschiedene bodenbürtige pilzliche Pathogene des Weizens und anderer Kulturpflanzen ist der *Pseudomonas fluorescens*-Stamm CHA0¹⁸. Seine antagonistische Wirkung beruht auf der Produktion antifungaler Metabolite¹⁹.

In Glashaus- und Feldversuchen konnten Huang & Wong (1998) den Befall von Weizen mit *F. graminearum* durch einen Stamm des Bakteriums *Burkholderia cepacia* signifikant verringern. Die Aktivität des antagonistischen Bakteriums war dabei von der Bodenart abhängig²⁰.

Forschung Saatgutbehandlung – Die Behandlung des Saatguts mit heissem Wasser bietet laut Winter *et al.* (1997) und Winter *et al.* (1998) vergleichbaren Schutz gegen samenbürtige Auflauf- und Keimlingskrankheiten wie *Fusarium nivale* und *F. graminearum* wie eine Beizung mit chemischen Fungiziden.

Forschung Gentechnik – In den USA wurden von der Firma Monsanto fünf Weizenfreisetzungen beantragt, die das Merkmal Fusarienresistenz betrafen. Aus den Freisetzungsunterlagen geht jedoch nicht hervor, welche Gene verwendet wurden. Da auch die Ergebnisse dieser Freisetzungsversuche bisher nicht publiziert worden sind, ist bisher keine Aussage zu Potential und Risiko dieser Pflanzen möglich (APHIS/USDA 1999).

2.8.2 Halmbruchkrankheit (*Pseudocercospora herpotrichoides*)

Die Halmbruchkrankheit (auch Augenflecken- oder Medaillonfleckenkrankheit) wird durch den fakultativen Parasiten *Pseudocercospora herpotrichoides* verursacht. Ein Befall äussert sich durch ovale, augenförmige Flecken (Läsionen) an den Blattscheiden oder am Halmgrund. Die Vermorschung des Halmgewebes führt dann zum typischen Umknicken der Halme. Die Pflanzen fallen wirt durcheinander und lagern nesterweise. Tritt der Befall erst sehr spät ein, kommt es zu Weissährickeit (Obst & Paul 1993, Wiese 1987). Die Ertragsausfälle werden vor allem durch die Lagerung verursacht, auch wenn die Ähren nicht befallen sind. Lagernde Pflanzen reifen schlecht aus, werden von anderen Pilzen befallen und werden beim Dreschen schlecht erfasst.

Der Pilz überdauert bis zwei Jahre lang als Dauermycel auf Ernteresten, somit ist die Halmbruchkrankheit eine typische Fruchtfolgekrankheit. Die Primärinfektion geht von verseuchten Stoppeln am Boden, von Ausfallgetreide oder von Wildgräsern aus. Die Ausbreitung im Bestand erfolgt hauptsächlich über Regenspritzer (Obst & Paul 1993).

Strategien in der Praxis – Die wichtigste vorbeugende Massnahme gegen *P. herpotrichoides* ist eine mindestens zweijährige Anbaupause für anfällige Getreidearten sowie die Bekämpfung von Wildgräsern und Ausfallgetreide. Eine sorgfältige und konsequente Stoppelbearbeitung und eine späte und flache Saat des Winterweizens halten die Gefahr einer Infektion im Herbst gering (Obst & Paul 1993). Ferner sollten Halmbruch-tolerante Sorten gewählt werden, auch wenn laut Wiese (1987) keine resistenten Sorten verfügbar sind. Laut Valenghi *et al.* (1998) weisen die Winterweizen-Sorten Tamaro und Titlis einigermassen gute Toleranz gegen Halmbruch auf. Nicht zu frühe Düngergaben im Frühling vermindern die Befallshäufigkeit und verhindern frühzeitiges Lagern. Wachstumsregler können ebenfalls der Schadwirkung durch Halmbruch vorbeugen (Obst & Paul 1993). Laut Obst & Paul (1993) sollte bei einer Befallshäufigkeit im frühen Schosstadium von 20 bis 30 % ein gezielter Fungizideinsatz erfolgen.

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – In einem Screening mit verschiedenen Pilzen und Bakterien, die von Weizensamen isoliert wurden, suchten Clarkson & Lucas (1993a) und Clarkson & Lucas (1993b) nach möglichen Antagonisten gegen *Pseudocercospora herpotrichoides*. Als potentielle biologische Bekämpfungsmittel gegen das Pathogen wurden zwei Stämme des Bakteriums *Pseudomonas fluorescens* und ein Pilz der Gattung *Trichoderma* sowie ein bereits gegen andere Krankheitserreger erfolgreich getesteter Antagonist namens *Streptomyces griseoviridis* gefunden. In weiteren Versuchen konnte gezeigt werden, dass das Wachstum von *P. herpotrichoides* mit dem Stamm 220 des Pilzes *Pseudomonas fluorescens* aufgrund dessen Produktion von antifungalen Substanzen gehemmt wird (Clarkson & Lucas 1997).

Hinton & Parry (1993) wiesen in Labor- und Gewächshausversuchen die Pilze *Microdochium bolleyi*, *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma viride* und *Fusarium culmorum* als effektivste Antagonisten des Halmbrucherregers nach. Sowohl *M. bolleyi* als auch *F. culmorum* (siehe Kapitel 2.8.1) kommen als praxistaugliche Pflanzenschutzmittel jedoch nicht in Frage, da sie selber Pathogene des Weizens sind (Wiese 1987).

Forschung Gentechnik – Nach den Freisetzungsunterlagen der USDA und der OECD sind bisher keine transgenen Weizenpflanzen freigesetzt worden, die Halmbruch-resistent sind (USDA/APHIS 1999, OECD Bio-track 1999).

¹⁸ *P. fluorescens* CHA0 wird seit mehreren Jahren u.a. von einer Forschungsgruppe um G. Defago am Institut für Pflanzenwissenschaften der ETH Zürich untersucht. Mit gentechnischen Methoden wird versucht, die Produktion dieser Substanzen zu erhöhen (Maurhofer *et al.* 1995).

¹⁹ Pyoluteorin und 2,4-Diacetylphloroglucinol

²⁰ Untersucht wurden lehmige bis sandige Böden. Die Bedingungen für *B. cepacia* waren am besten bei feinkörnigeren Böden (schluffiger Lehm).

2.8.3 Septoria-Spelzenbräune und -Blattflecken (*Septoria nodorum*)

Der Erreger der Septoria-Spelzenbräune *Septoria nodorum* ist einer der weltweit wichtigsten Blatt- und Ährenparasiten des Weizens. Seit den sechziger Jahren bewirkt *S. nodorum* auch Auflaufschäden. Neben Weizen werden auch andere Getreidearten und zahlreiche Gräser befallen (Obst & Paul 1993). Die Symptome entwickeln sich während der Vegetationsperiode auf allen oberirdischen Pflanzenteilen des Weizens. In der Anfangsphase entstehen Chlorosen²¹ auf den unteren Blättern, die sich zu unregelmässig geformten Läsionen²² ausweiten, die zu Beginn gelb und feucht und später trocken und rötlich- bis grau-braun aussehen und sich zu Nekrosen²³ auswachsen (Wiese 1987). Die Verbreitung auf der Pflanze geschieht durch Sekundärinfektionen mit Pyknosporen²⁴, die bei Regen höher liegende Blätter und die Ähren infizieren (Obst & Paul 1993) können.

Die Quellen des Inokulums sind befallene Ernterückstände, infiziertes Saatgut und Ausfallgetreide. Eine weitere Verbreitung kann durch den Windtransport von Ascosporen²⁵ erfolgen. Nebenwirte spielen nur eine unwichtige epidemiologische Rolle (Wiese 1987).

Durch einen Befall mit *S. nodorum* kann es über eine Reduktion des Tausendkorngewichts und der Kornzahl pro Ähre laut Obst & Paul (1993) zu Ernteeinbussen bis 30 % kommen. Durch den Befall wird die Assimilationsfläche der Pflanze verringert. Der Weizen wird ferner durch Mycotoxine geschwächt.

Strategien in der Praxis – Laut Wiese (1987) sind mittelmässig resistente Sorten verfügbar. In der Schweiz werden die Winterweizen-Sorten Arina, Lona, Runal und Titlis als resistent gegen *S. nodorum*-Befall der Ähren empfohlen, resistente Sorten gegen Blattbefall sind nicht verfügbar (Valenghi *et al.* 1998). Ferner ist infektionsfreies Saatgut zu verwenden. Ernterückstände sollten sorgfältig untergepflügt und Ausfallgetreide sollte bekämpft werden. Jegliche Beschädigung der Pflanzen durch Kulturmassnahmen und Schwächung durch andere Pathogene ist zu minimieren, weil abgestorbenes Gewebe als Eintrittspforte für *S. nodorum* fungiert (Obst & Paul 1993). In der Fruchtfolge sollte eine mindestens dreijährige Anbaupause von Weizen eingehalten werden. Ferner verschlechtert ein nicht zu dichter Pflanzenbestand und eine angemessene Düngung die Voraussetzungen zur Ausbreitung des Pilzes. Die Beizung des Saatgutes vermindert saaubürtiges Inokulum. Laut Wiese (1987) fördert der Einsatz von CCC (Halmverkürzer)²⁶ einen Befall mit *S. nodorum*. Für den Anbau in integrierter Produktion wird der Einsatz von Fungiziden im Bestand nach dem Überschreiten der Schadschwelle²⁷ oder mit einem Prognose-system empfohlen. Routinemässiger Einsatz von Fungiziden wird abgelehnt (Häni *et al.* 1988). Die Diagnose der Krankheit ist jedoch schwierig, da die Symptome vor dem Ährenschieben nur wenig auffällig sind (Hoffmann & Schmutterer 1983).

Forschung Gentechnik – In den USA wurden von der Firma Novartis drei Weizenfreisetzungen beantragt, die das Merkmal Septoriaresistenz betrafen. Aus den Freisetzungsunterlagen geht jedoch nicht hervor, welche Gene verwendet wurden (APHIS/USDA 1999). Da auch die Ergebnisse dieser Freisetzungsversuche bisher nicht publiziert worden sind, ist bisher keine Aussage zu Potential und Risiko dieser Pflanzen möglich.

2.8.4 Braunrost (*Puccinia recondita*)

Der Erreger des Weizen-Braunrostes *Puccinia recondita* befällt neben Weizen auch Triticale²⁸, Gerste, Roggen und einige Gräser, wobei für jede Wirtsart eine Spezialform existiert. Der Name Braunrost rührt von den charakteristischen Rostpusteln her, die vor allem auf der Blattoberseite, aber auch auf Blattscheiden, Ähren und Grannen erscheinen. Als obligater Parasit benötigt *P. recondita* zur Ernährung und Fortpflanzung ganzjährig eine lebende Wirtspflanze. Der Pilz überwintert auf Ausfallgetreide, Herbstsaaten und Gräsern. Braunrostbefall beeinträchtigt neben dem Ertrag über das Tausendkorngewicht und die Kornzahl pro Ähren auch die Erntequalität, unter anderem durch Herabsetzung des Eiweissgehalts. Braunrost vermindert die Winterfestigkeit des Weizens und macht ihn anfälliger für fakultative Parasiten wie *Septoria nodorum* (Obst & Paul 1993).

Strategien in der Praxis – Da *P. recondita* ein obligat biotropher Organismus ist, kann eine vorbeugende Bekämpfung über eine sorgfältige Kontrolle der Nebenwirte wie Gräser und Ausfallgetreide erfolgen. Die Vermeidung eines zu dichten Bestandes durch zurückhaltende Stickstoffdüngung vermindert die Ausbreitungschancen des Pathogens (Obst & Paul 1993). Ferner sind Sorten mit guten Resistenzeigenschaften verfügbar, die Züchtung hat in den letzten Jahren intensiv an Braunrost-Resistenzen gearbeitet (z.B. Cox *et al.* 1997, Sawhney & Sharma

²¹ Beschädigte Zellen, die eine gelblich-bräunliche Farbe annehmen.

²² Flecken auf dem Pflanzengewebe, die durch den Befall eines Pathogens hervorgerufen werden.

²³ Abgestorbenes Gewebe, braun bis schwarz.

²⁴ werden in den Pyknidien (Sporenlager des Pilzes) gebildet, die sich auf vollständig abgestorbenen Gewebeteilen entwickeln.

²⁵ Ascosporen sind das „Produkt“ der sexuellen Vermehrung der Ascomyceten (Schlauchpilze). Die Ascosporen werden z.B. durch Wind transportiert und können auf einem geeigneten Substrat ein neues Mycel (Pilzgeflecht) bilden.

²⁶ Chlor-cholin-chlorid, wird in konventionellen und integrierten Systemen eingesetzt zur Halmverkürzung, die der Getreidelagerung vorbeugen soll.

²⁷ Bei trockener Witterung 15 bis 40 % Befall der drei obersten Blätter am Ende des Ährenschiebens, bei feuchter Witterung 5-15 % Befall.

²⁸ Ein gezüchteter Bastard aus Weizen (*Triticum*) und Roggen (*Secale*).

1997). Dabei sollte nach Möglichkeit auf polygenetische, nicht-spezifische Resistenzen gezielt werden, wie zum Beispiel das sogenannte „slow-rusting“ (Wiese 1987, Smale *et al.* 1998). Wenn die Toleranz auf monogenetischen Resistenzen beruht, sollten nach Obst & Paul (1993) in einer Region verschiedene Sorten oder Sortenmischungen angebaut werden, um eine zu rasche Verstärkung der Virulenz seitens des Pilzes zu vermeiden. Die Bekämpfungsschwelle für den Fungizideinsatz liegt laut Häni *et al.* (1988) bei einem Befall der obersten 3 Blätter von 5 bis 15 % im Fahnenblattstadium oder von mehr als 1 % im Endstadium des Ährenschiebens.

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Leinhos & Buchenauer (1992) zeigten, dass der Pilz *Verticillium chlamydosporium*, in Malz-extrakt gezüchtet, gegen *Puccinia recondita* antifungale Aktivität aufweist. *Verticillium psalliotae* und *V. tenuipes* kommen als Hyperparasiten²⁹ von *P. recondita* in Frage, wie Leinhos & Buchenauer (1992) in Laborexperimenten beobachteten. Laut Obst & Paul 1993 kann *P. recondita* auch durch den Pilz *Darluca filum* parasitiert werden (Casulli 1990), sein Aufbau erfolgt für eine wirkungsvolle Bekämpfung allerdings zu spät.

Forschung Induzierte Resistenz – Nach der Inokulation mit einem avirulenten Stamm von *Puccinia recondita* konnte in Weizen Resistenz gegen virulente Stämme des Pathogens bei einer späteren Inokulation induziert werden. Laut Asch *et al.* (1992) veränderte sich dabei weder die Latenzzeit noch der Infektionstyp des Krankheitserregers, jedoch konnte die Infektionshäufigkeit um etwa 60 % reduziert werden.

Forschung Gentechnik – Nach den Freisetzungsergebnissen der USDA und der OECD sind bisher keine transgenen Weizenpflanzen freigesetzt worden, die auf Braunrost-Resistenzen zielen (USDA/APHIS 1999, OECD Biotrack 1999).

2.8.5 Echter Mehltau (*Erysiphe graminis*)

Der obligat biotrophe Pilz³⁰ *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* bildet auf allen oberirdischen Pflanzenteilen, aber insbesondere an den Oberseiten der Blätter des Weizens weisse, watteartige Pilzgeflechte, die sich zu Polstern und schliesslich zu einem mehligem, abwaschbaren Belag verdichten. Neben dem Weizen befällt das Pathogen auch Gerste, Roggen, Hafer und die meisten Futter- und Wildgräser, allerdings sind die Erreger wirtsspezifisch³¹ (Obst & Paul 1993).

Zur Überdauerung der Nachernteperiode bis zum Auflaufen des Wintergetreides im Spätherbst dienen die kleinen, runden Fruchtkörper (Kleistothezien) des Pilzes auf Ernterückständen, die bei kühlem und nassem Wetter aufreissen und ihre Ascosporen (siehe Fussnote 25) auf die jungen Pflanzen schleudern. Ferner kann diese Periode auch auf Ausfallgetreide überdauern werden (Hoffmann & Schmutterer 1983; Obst & Paul 1993). *E. graminis* nutzt die Nährstoffe seines Wirtes, reduziert die Photosyntheseleistung und verstärkt die Atmung und Transpiration des Weizens (Wiese 1987). So wird die Pflanze geschwächt und wird anfälliger für andere Pathogene wie *Septoria nodorum*. Die bis zu 25-prozentigen Ertragsausfälle entstehen beim Befall der Ähren durch Verringerung des Tausendkorngewichts (Obst & Paul 1993).

Strategien in der Praxis – Dem echten Mehltau kann durch eine rechtzeitige Beseitigung des Ausfallgetreides nach der Ernte und eine nicht zu frühe Saat des Winterweizens bzw. eine möglichst frühe Aussaat des Sommergetreides vorgebeugt werden. Ferner sollten Sorten mit unterschiedlichen Resistenzeigenschaften oder geeignete Sortenmischungen angebaut werden (Obst & Paul 1993). Laut Valenghi *et al.* (1998) sind in der Schweiz mehrere Winterweizensorten und -sortenmischungen³² verfügbar. Eine zurückhaltende Stickstoffdüngung und eine nicht zu dichte Saat vermindert das Infektionsrisiko. Wegen der unterschiedlichen ökologischen Ansprüche von Parasit und Hyperparasit findet die Nutzung von Hyperparasitierung durch *Ampelomyces*-Arten nur beschränkte Anwendung (Hoffmann & Schmutterer 1983). Eine Bekämpfung mittels Fungiziden geschieht im integrierten Pflanzenbau nach der Erreichung einer bestimmten Schadschwelle (Häni *et al.* 1988). Für den biologischen Getreideanbau sind keine direkten Bekämpfungsalternativen verfügbar (FiBL 1998).

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Der Pilz *Sporothrix flocculosa* bewirkt laut Hajlaoui & Belanger (1993) eine schnelle Degeneration der Konidien und des Mycel von *E. graminis* f. sp. *tritici*, gefolgt von einer Desintegration des Cytoplasmas und dem Tod der Wirtszellen. Die Forscher führten den Antagonismus auf Antibiose³³ und nicht auf Hyperparasitismus zurück.

Forschung Induzierte Resistenz – Durch die Inokulation von Weizenpflanzen mit der inkompatiblen³⁴ Spezialform *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* wurde bei nachfolgender Inokulation mit der kompatiblen Spezialform *E. graminis* f. sp. *tritici* induzierte Resistenz beobachtet (Schaffrath *et al.* 1997). Die Situation beim Hafer wurde von Willems *et al.* (1994) genauer betrachtet, und es wurde festgestellt, dass die Vor-Inokulation mit dem

²⁹ Hyperparasiten befallen andere Parasiten.

³⁰ Obligater Parasit, braucht zur Ernährung und Vermehrung lebendes (im speziellen Fall grünes) Pflanzengewebe.

³¹ Für jede Getreideart gibt es eine Spezialform (f. sp.), die nicht auf andere Wirtspflanzen übergehen kann.

³² Tamaro, Lona, Runal, Titlis oder Tamaro/Runal, Titlis/Runal, Titlis/Tamaro

³³ Antibiose wird das Zusammenleben zweier Lebewesen genannt, wobei eines der beiden geschwächt oder geschädigt wird, dies im Gegensatz zur Symbiose, die Beziehungen zum gegenseitigen Vorteil zweier Partner bezeichnet.

³⁴ *E. graminis* weist wirtsspezifische Stämme auf. Der auf Gerste spezialisierte Stamm (*E. graminis* f. sp. *hordei*) kann Weizen nicht infizieren, er ist mit anderen Worten inkompatibel.

inkompatiblen Pathogen eine erhöhte Produktion von Phytoalexinen³⁵ induzierte. Durch die Entwicklung des synthetisch erzeugten Esters namens BTH³⁶, das 1996 von Ciba-Geigy (heute Novartis) unter dem Handelsnamen Bion[®] eingeführt wurde, wurde das Spektrum der möglichen chemischen Resistenzinduktoren Salicylsäure und 2,6-Dichloroisonicotin Säure erweitert (Gorlach *et al.* 1996) (siehe Induzierte Resistenz Seite 90).

Forschung Prognosesysteme – Laut Hoffmann & Schmutterer (1983) wäre im Fall des echten Mehltaus die Entwicklung von epidemiologischen Prognosenmodellen sinnvoll. Dazu wären eine Beurteilung der Reaktion der Pflanzen und Sorten, der Einflüsse örtlicher Anbaubedingungen, meteorologischer Faktoren, der epidemiologischen Potenz der Erregerpopulation und der Effektivität von Pflanzenschutzmassnahmen notwendig.

Forschung Gentechnik – Nach den Freisetzungsunterlagen der USDA und der OECD sind bisher keine transgenen Weizenpflanzen freigesetzt worden, die auf eine Resistenz gegen Echten Mehltau zielen (USDA/APHIS 1999; OECD Biotrack 1999). In der wissenschaftlichen Literatur berichten aber Biffeld *et al.* (1999), dass die Klonierung einer Gersten-Chitinase II zu einer erhöhten Resistenz gegen *E. graminis* führt. Die Auswirkungen auf andere Pilzarten wurde nicht untersucht.

2.8.6 Gelbverzwergung (Barley Yellow Dwarf Virus)

Unter dem Namen Gelbverzwergungsvirus werden mindestens fünf verschiedene eng verwandte Getreideviren zusammengefasst, die alle von Blattläusen übertragen werden. Jedes Virus wird von einer oder mehreren Blattlausarten bevorzugt übertragen. Die wichtigsten Vektoren sind die Grosse Getreideblattlaus (*Sitobion avenae*), die Haferblattlaus (*Rhopalosiphum padi*) und die Bleiche Getreideblattlaus (*Metopolophium dirhodum*) (siehe Kapitel 2.8.7). Weizen ist weniger anfällig auf das BYD-Virus als Gerste und Hafer; Roggen und Triticale sind widerstandsfähiger. Das Virus kann auch mehr als 100 andere Gräserarten und Mais infizieren. Das BYD-Virus gehört zu den Luteoviren, die bei ihren Wirtspflanzen Wachstumsstauungen und eine von den Blättern begrenzte Vergilbung oder Rotfärbung der Blätter, Blätterrollen sowie ein Sprödwerden infizierter Blätter verursachen (Obst & Paul 1993).

Strategien in der Praxis – Die effektivste vorbeugende Massnahme gegen das BYD-Virus ist eine späte Aussaat im Herbst, respektive bei Sommerweizen eine frühe Aussaat im Frühling, dadurch wird eine Überlapung des anfälligen Keimlingsstadiums des Weizens mit den Perioden grösster Aktivität der Blattläuse vermieden (Wiese 1987). Weitere Strategien versuchen, das Virus über eine direkte Bekämpfung der Blattläuse unter Kontrolle zu halten (siehe Kapitel 2.8.7). Ferner wird ein sorgfältiges Beseitigen von Ausfallgetreide empfohlen (Obst & Paul 1993). Laut Wiese (1987) ist auch die Sortenwahl von Bedeutung, obwohl keine hochresistenten Sorten verfügbar sind.

Forschung Gentechnik – In den USA wurden bereits Freisetzen mit transgenen BYDV-resistenten Weizenpflanzen durchgeführt (USDA/APHIS 1999). Dabei wurde das entsprechende BYDV-Hüllproteingen übertragen. Diese Strategie birgt das Risiko der heterologen Enkapsidierung und Rekombination (siehe Seite 23).

2.8.7 Getreideblattläuse

Unter der Bezeichnung Getreideblattläuse werden zahlreiche Blattlausarten zusammengefasst, die verschiedene Gräser und Getreidearten als Haupt- oder Nebenwirte besiedeln. Wirtswechselnde Arten sind für die Eiablage auf Rosen bzw. Traubenkirschen angewiesen. Die wichtigsten Getreideblattläuse, die in Mitteleuropa Schaden anrichten können, sind die Grosse Getreideblattlaus (*Sitobion avenae*), die Haferblattlaus (*Rhopalosiphum padi*) und die Bleiche Getreideblattlaus (*Metopolophium dirhodum*). Blattläuse vermehren sich bei günstigen Bedingungen explosionsartig. Bei schwachem Befall verursachen Blattläuse durch ihr Saugen an Blättern und Ähren kein spezifisches Schadbild. Starker Befall führt zu Vergilbungs- und Vertrocknungserscheinungen an den Blättern und zu einer Minderung des Tausendkornengewichts. Die Ausscheidungen der Blattläuse werden von Schwärzepilzen besiedelt, die die Photosyntheseleistung der Pflanze vermindern. Eine weitere indirekte Schädigung von Blattläusen ist ihre Funktion als Vektoren des BYD-Virus (siehe Kapitel 2.8.6). In der Schweiz treten durch Getreideblattläuse nur sehr geringe Schäden auf.

Strategien in der Praxis – Der Anbau von Traubenkirschen und Rosensträuchern an Strassenböschungen und in Feldgehölzen sollten vermieden werden, wenn Blattläuse örtlich ein sehr grosses Problem darstellen. Artenreiche Feldgehölze und Hecken sind in einer nachhaltigen Landwirtschaft jedoch erwünscht, da sie ökologisch wertvoll sind. Durch solche Landschaftselemente werden die natürlichen Feinde der Blattläuse gefördert. Sie sind ein wichtiger Beitrag zur Regulierung. Über die Sortenwahl kann Ernteeinbussen durch Blattläuse ebenfalls vorgebeugt werden, laut Wiese (1987) sind frühreifende Sorten weniger anfällig als spätreifende.

Forschung ohne Gentechnik – In Versuchen mit verschiedenen Getreidearten und Getreideblattläusen konnten Pettersson *et al.* (1995) feststellen, dass durch nicht näher bezeichnete luftübertragene Stoffe in nicht befallenen Pflanzen Resistenzmechanismen induziert werden konnten, wenn sich in direkter Nähe Pflanzen mit Blattlausbefall befanden. Dieser Effekt wurde auch beobachtet, wenn in direkter Nähe Pflanzen mit *Eurysiphe graminis*-Befall standen. Das Feld der Kommunikation zwischen Pflanzen über die Ausscheidung von spezifischen

³⁵ Von der Pflanze produzierte Abwehrstoffe.

³⁶ Benzo(1,2,3)thiadiazole-7-carbothioic acid-S-methylester

Stoffen und der auf diese Weise hervorgerufenen Resistenzinduktion in unbefallenen Pflanzen ist noch sehr wenig erforscht, bietet aber möglicherweise neue Lösungsansätze in der Pflanzenschutzproblematik.

Forschung Gentechnik – Die Entwicklung von insektenresistenten Weizenpflanzen steht noch am Anfang, bisher haben keine Freisetzungen stattgefunden. In der wissenschaftlichen Literatur wird aber von Versuchen berichtet, transgene insektenresistente Weizenpflanzen durch die Klonierung von Gerste-Proteinaseinhibitoren oder Schneeglöckchenlektin zu erzeugen (Altpeter *et al.* 1999; Stoger *et al.* 1999). Sowohl Proteinase-Inhibitoren als auch Lektine gehören zu den Proteinen, denen ein erhöhtes allergenes Potential zugesprochen wird (Franck-Oberspach & Keller 1996). Ausserdem zeigen Ergebnisse aus der Risikoforschung, dass diese Transgene auch unerwünschte Einflüsse auf Nichtzielorganismen ausüben könnten.

Literatur

- Altpeter F., Diaz I., McAuslane H., Gaddour K., Carbonero P., Vasil I.K. (1999): Increased insect resistance in transgenic wheat stably expressing trypsin inhibitor CMe. *Molecular Breeding*, 5, 53-63.
- Akanda S.I. & Mundt C.C. (1997): Effect of two-component cultivar mixtures and yellow rust on yield and yield components of wheat. *Plant Pathology*, 46 (4), 566-580.
- Aphis/USDA(1999): <http://www.aphis.usda.gov/biotech/>
- Asch M.A.J.v., Rijkenberg F.H.J., Coutinho T.A. & Van Asch M.A.J. (1992): Resistance induced in wheat by an avirulent race of *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*. *Plant Disease*, 76 (4), 412-415.
- Bliffeld M., Mundy J., Potrykus I., Futterer J. (1999): Genetic engineering of wheat for increased resistance to powdery mildew disease. *Theoretical & Applied Genetics*, 98, 1079-1086.
- Casulli F. (1990): *Darluca filum*: a possible agent for biological control of rusts. *Phytopathologia Mediterranea*, 29 (3), 196-201.
- Clarkson J.P. & Lucas J.A. (1993a): Screening for potential antagonists of *Pseudocercospora herpotrichoides*, the causal agent of eyespot disease of cereals 1. Bacteria. *Plant Pathology*, 42 (4), 543-551.
- Clarkson J.P. & Lucas J.A. (1993b): Screening for potential antagonists of *Pseudocercospora herpotrichoides*, the causal agent of eyespot disease of cereals 2. Fungi. *Plant Pathology*, 42 (4), 552-559.
- Clarkson J.P. & Lucas J.A. (1997): The role of antibiotic production by a strain of *Pseudomonas fluorescens* in the suppression of *Pseudocercospora herpotrichoides*, the causal agent of eyespot disease of cereals. *Journal of Applied Microbiology*, 82 (4), 499-506.
- Cox T.S., Bequette R.K., Bowden R.L. & Sears R.G. (1997): Grain yield and breadmaking quality of wheat lines with the leaf rust resistance gene Lr41. *Crop Science*, 37 (1), 154-161.
- FAO (1999): FAOSTAT statistics database. (<http://apps.fao.org/>).
- FiBL (1998): Merkblatt Getreide. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick.
- Finckh M.R. & Wolfe M.S. (1998): Diversification Strategies. - In: Jones D.G. (Hrsg.): *The Epidemiology of Plant Diseases*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 231-259.
- Forrer H.R. (1992): Experiences with the cereal disease forecast system EIPRE in Switzerland and prospects for the use of diagnostics to monitor the disease state. *Brighton Crop Protection Conference, Pests and Diseases*, 2, 711-720.
- Franck-Oberspach S.L., Keller B. (1996): Produktsicherheit von krankheits- und schädlingsresistenten Nutzpflanzen: Toxikologie, allergenes Potential, Sekundäreffekte und Markergene. In: Schulte E, Käppeli O (Hrsg.). *Genetisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft?* Band I, Materialien. Eine Publikation des Schwerpunktprogramms Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern.
- Geisler G. (1988): *Pflanzenbau. Ein Lehrbuch - Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion*. Paul Parey, Berlin und Hamburg, 530 S.
- Gorlach J., Volrath S., Knauf Beiter G., Hengy G., Beckhove U., Kogel K.H., Oostendorp M., Staub T., Ward E., Kessmann H. & Ryals J. (1996): Benzothiadiazole, a novel class of inducers of systemic acquired resistance, activates gene expression and disease resistance in wheat. *Plant Cell*, 8 (4), 629-643.
- Hajlaoui M.R. & Belanger R.R. (1993): Antagonism of the yeast-like phylloplane fungus *Sporothrix flocculosa* against *Erysiphe graminis* var *tritici*. *Biocontrol Science and Technology*, 3 (4), 427-434.
- Häni F., Popow G., reinhard H., Schwarz A., Tanner K. & Vorlet M. (1988): *Pflanzenschutz im Integrierten Ackerbau*. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale Zollikofen, 335 S.
- Hinton M.J. & Parry D.W. (1993): Screening selected fungi for antagonism towards *Pseudocercospora herpotrichoides* (Fron) Deighton, the cause of eyespot disease of cereals. *Biocontrol Science and Technology*, 3 (1), 13-19.
- Hoffmann G.M. & Schmutterer H. (1983): *Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen*. Ulmer, Stuttgart.
- Hoffmann W., Mudra A. & Plarre W. (1985): *Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen*. (Vol. 2: Spezieller Teil), Paul Parey, Berlin und Hamburg, 433 S.
- Huang Y. & Wong P.T.W. (1998): Effect of *Burkholderia* (*Pseudomonas*) *cepacia* and soil type on the control of crown rot in wheat. *Plant and Soil*, 203 (1), 103-108.
- Kegler H., Friedt W. (1993): *Resistenz von Kulturpflanzen gegen pflanzenpathogene Viren*. Fischer Verlag, Jena.
- Knudsen I.M.B., Hockenhuil J. & Jensen D.F. (1995): Biocontrol of seedling diseases of barley and wheat caused by *Fusarium culmorum* and *Bipolaris sorokiniana*: effects of selected fungal antagonists on growth and yield components. *Plant Pathology*, 44 (3), 467-477.

- Lannou C., Vallavieille Pope C.d., Biass C., Goyeau H. & De Vallavieille Pope C. (1994): The efficacy of mixtures of susceptible and resistant hosts to two wheat rusts of different lesion size: controlled condition experiments and computerized simulations. *Journal of Phytopathology*, 140 (3), 227-237.
- LBL, SRVA & FiBL (1998): Deckungsbeiträge. Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau.
- Leinhos G.M.E. & Buchenauer H. (1992): Hyperparasitism of selected fungi on rust fungi of cereal. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 99 (5), 482-498.
- Maurhofer M., Keel C., Haas D. & Defago G. (1995): Influence of plant species on disease suppression by *Pseudomonas fluorescens* CHA0 with enhanced antibiotic production. *Plant Pathology*, 44 (1), 40-50.
- Mundt C.C., Brophy L.S. & Kolar S.C. (1996): Effect of genotype unit number and spatial arrangement on severity of yellow rust in wheat cultivar mixtures. *Plant Pathology*, 45 (2), 215-222.
- Mundt C.C., Brophy L.S. & Schmitt M.S. (1995a): Choosing crop cultivars and cultivar mixtures under low versus high disease pressure: a case study with wheat. *Crop Protection*, 14 (6), 509-515.
- Mundt C.C., Brophy L.S. & Schmitt M.S. (1995b): Disease severity and yield of pure-line wheat cultivars and mixtures in the presence of eyespot, yellow rust, and their combination. *Plant Pathology*, 44 (1), 173-182.
- Neuroth B. (1997): Kompendium der für Freisetzen relevanten Pflanzen. UBA Texte 62/97, Umweltbundesamt Berlin, S. 206-235.
- Obst A. & Paul V.H. (1993): Krankheiten und Schädlinge des Getreides. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen-Buer.
- OECD Biotrack (1999): <http://www.olis.oecd.org/biotrack>
- Pettersson H., Hedman R., Engstrom B., Elwinger K. & Fossum O. (1995): Nivalenol in Swedish cereals - occurrence, production and toxicity towards chickens. *Eighth international IUPAC symposium on mycotoxins and phycotoxins, held in Mexico City, Mexico, 6-13 November, 1992*, 12 (3), 373-376.
- Raps A., Hilbeck A., Bigler F., Fried P. M., Messmer M. (1998): Konzept und praktische Lösungsansätze zur anbaubegleitenden Forschung beim Einsatz transgener Kulturarten. Publikation der Fachstelle Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des Schwerpunktprogrammes Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Basel, TA-Projekt Nachhaltige Landwirtschaft, 1997-1999, Band 2/6.
- RKI (1999): Produkte für die ein Inverkehrbringen in der Europäischen Union (EU) gemäss Richtlinie 90/220/EWG beantragt oder genehmigt wurde. Stand 30.6.1999. <http://www.rki.de/GENTEC/INVERKEHR/INVKLIST.htm>
- Sawhney R.N. & Sharma J.B. (1997): Novel gene for adult plant resistance to *Puccinia recondita* in the wheat cultivar 'Arjun'. *Plant Breeding*, 116 (6), 598-599.
- Schaffrath U., Freydl E. & Dudler R. (1997): Evidence for different signaling pathways activated by inducers of acquired resistance in wheat. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 10 (6), 779-783.
- Smale M., Singh R.P., Sayre K., Pingali P., Rajaram S. & Dubin H.J. (1998): Estimating the economic impact of breeding nonspecific resistance to leaf rust in modern bread wheats. *Plant Disease*, 82 (9), 1055-1061.
- Stoger E., Williams S., Christou P., Down R.E., Gatehouse J.A. (1999): Expression of the insecticidal lectin from snowdrop (*Galanthus nivalis* agglutinin GNA) in transgenic wheat plants effects predation by the grain aphid *Sitobion avenae*. *Molecular Breeding*, 5, 65-73.
- Teperi E., Keskinen M., Ketoja E. & Tahvonen R. (1998): Screening for fungal antagonists of seed-borne *Fusarium culmorum* on wheat using in vivo tests. *European Journal of Plant Pathology*, 104 (3), 243-251.
- Torgersen H. (1996): Ökologische Effekte von Nutzpflanzen - Grundlagen für die Beurteilung transgener Pflanzen, UBA Monographie, Band 74, Umweltbundesamt, Wien.
- Transgen (1999): www.transgen.de.
- Valenghi D., Anders M., Boller S., Menzi M., Saurer W., Schachermayr G., Streckeisen P., Winzeler M. & Weilenmann F. (1998): Nationaler Getreidesorten-katalog 1998. *Agrarforschung*, 5 (6), I-XII.
- Vierheilig H., Alt M., Lange J., Gut-Rella M., Wiemken A., Boller T. (1995): Colonization of transgenic tobacco constitutively expressing pathogenesis-related proteins by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mossae*. *Applied & Environmental Microbiology*, 61, 3031-3034.
- Wiese M.V. (Hrsg.) (1987): Compendium of Wheat Diseases. St. Paul, Minnesota, 112 S.
- Willems G.H., Cetinkaya N. & Schlosser E. (1994): Induced resistance in oats, barley and wheat through pre-inoculation with incompatible f.spp. of *Erysiphe graminis* DC. *46th International symposium on crop protection, Gent, Belgium, 3 May, 1994*, 59 (3a), 961-969.
- Winter W., Banziger I., Krebs H. & Ruedger A. (1997): Water treatments against damping-off diseases of cereals. *Agrarforschung*, 4 (11-12), 467-470.
- Winter W., Banziger I., Ruedger A. & Krebs H. (1998): Wheat seed: practical experience with warm water treatment. *Agrarforschung*, 5 (3), 125-128.

Exkurs: Räumliche Diversifizierungsstrategien (Sortenmischungen)

Monokultur

Standorte, die nur eine Pflanzenart aufweisen, sind in natürlichen Ökosystemen äusserst selten. Wenn sie vorkommen, sind sie klein, und die Individuen am Standort sind wenigstens genetisch differenziert. Monokultur³⁷ ist ein Erzeugnis der Landwirtschaft, die sich aus zweckmässigen Gründen des Anbaus und der Ernte durchgesetzt hat. Diese Vorteile fielen in den letzten Jahrhunderten der landwirtschaftlichen Entwicklung stärker ins Gewicht als die Einschränkung, dass in einheitlichen Beständen der Wettbewerb zwischen den einzelnen Pflanzen am stärksten ist. In diesem Jahrhundert wurden landwirtschaftliche Kulturpflanzen auf immer grösseren Flächen immer intensiver angebaut. Unter diesen Bedingungen wurden auch die Nachteile der Monokultur deutlicher: Sie fördert die Evolution, Vervielfachung und Verbreitung angepasster Schädlinge und Krankheitserreger und widerspricht den Prinzipien einer nachhaltigen Landwirtschaft (siehe Seite 94).

Diversifizierungsstrategien

Unter Diversifizierungsstrategien fallen verschiedene Ansätze, den Trend zur Monokultur in Richtung einer funktionalen Diversität umzudrehen, und damit zu nachhaltigeren Formen der landwirtschaftlichen Produktion zu gelangen.

Diversifizierungsstrategien werden in Polykultursystemen verwirklicht. Dabei kann zwischen zeitlicher Diversifizierung und räumlicher Diversifizierung (Intercropping und Sortenmischungen) unterschieden werden. Unter zeitliche Diversifizierung fallen alle Formen von Fruchtfolgen, das heisst der Anbau verschiedener Kulturen auf derselben Parzelle in einem jährlichen (oder auch kürzeren) Turnus. Fruchtfolgen sind ein zentrales Element des biologischen Ackerbaus³⁸ und dort unverzichtbar zur Krankheits- und Schädlingsbekämpfung. Ein weiterer Effekt von Fruchtfolgen ist die langfristige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und der physikalischen Bodenstabilität³⁹. Unter Intercropping wird der gleichzeitige Anbau zweier oder mehrerer Kulturpflanzenarten auf dem selben Feld verstanden⁴⁰. Sortenmischungen (genotype mixtures) bezeichnen den gleichzeitigen Anbau mehrerer Sorten einer Kulturpflanzenart auf dem selben Feld. In nachhaltigen Ackerbausystemen werden Sortenmischungen idealerweise nicht als Monokultur (auf der Ebene Art) geführt sondern in eine Fruchtfolge integriert.

Auswirkungen von Sortenmischungen

Ertrag und Ertragsstabilität

Die wichtigsten Prozesse, die in Pflanzenpopulationen auftreten sind, Kompensation und Konkurrenz. Beide haben einen Einfluss auf Ertrag und Ertragsstabilität.

In verschiedenen Studien wurde beobachtet, dass sich der Ertrag von geeigneten Sortenmischungen gegenüber dem durchschnittlichen Ertrag der einzelnen Reinbestände der Mischkomponenten leicht erhöht (z.B. Finckh & Mundt (1992); Review siehe Finckh & Wolfe (1998)). Solche Ertragssteigerungen werden mit ökologischer Nischen-Differenzierung der einzelnen Mischungskomponenten erklärt (Kompensation). Anders ausgedrückt wird die Effizienz der Landnutzung gesteigert. Forscher gehen davon aus, dass auch Allelopathie und Synergismen eine noch nicht näher geklärte Rolle spielen. Es wurde beobachtet, dass von sogenannten „nurse plants“ ein direkter Schutz ausgehen kann. Von Finckh & Wolfe (1998) werden Beispiele aufgeführt, wo Gemische unterschiedlich kälteresistenter Roggen- bzw. Weizensorten die Überlebensfähigkeit der anfälligeren Sorte deutlich verbesserten.

In Sortenmischungen kann *inter-* oder *intra*genotypische Konkurrenz auftreten. Überwiegt letztere, so bringt die Sortenmischung einen höheren Ertrag als die Reinbestände im Durchschnitt. Der Wettbewerb zwischen den Pflanzen ist aber schwierig zu bestimmen, da sich die Verhältnisse je nach Bestandesdichte und dem Entwicklungsstand der Pflanzen ändern. Die Selektion zu wettbewerbsfähigeren Pflanzen verbessert die Ertragsbedingungen (Wolfe & Finckh 1997).

Der grösste Vorteil von Sortenmischungen liegt in der Steigerung der *Ertragsstabilität*⁴¹. Unterschiedliche Sorten tolerieren unterschiedliche Veränderungen der Umweltbedingungen, demnach muss die Mischung von verschie-

³⁷ Als Monokultur wird üblicherweise der kontinuierliche Anbau einer einzigen Kultur auf einer grossen Fläche bezeichnet. Werden epidemiologische Sachverhalte betrachtet, muss der Begriff enger gefasst werden. Es gibt demnach Monokultur auf den drei Ebenen *Art*, *Sorte* und *Gen*. Während die Monokultur auf der Ebene *Art* noch eine gewisse Diversifizierung zulässt, entsteht in einer Monokultur auf der Ebene *Gen* (bzw. Resistenz) das höchste Risiko des Verlustes der Resistenz.

³⁸ Die biologische Standardfruchtfolge gibt es nicht, als Beispiel sei aber die folgende genannt: Kartoffeln - Zwischenfrucht (Gelbsenf) - Winterweizen - Zwischenfrucht (Sonnenblume/Wicke) - Zuckerrüben - Wintergerste - Klee gras - Klee gras. Die Wahl der Fruchtfolgeglieder wird auf den Boden-Pflanze-Nährstoffhaushalt abgestimmt.

³⁹ z.B. durch Abwechseln zwischen flach und tief wurzelnden Kulturpflanzen.

⁴⁰ Darunter fallen Untersaaten (Klee gras unter Getreide) bis zu Agroforestryssystemen, wo mehrjährige mit einjährigen Kulturen kombiniert werden.

⁴¹ Ertragsstabilität ist definiert als hoher Ertrag bei unterschiedlichen Umweltbedingungen.

denen Sorten stabiler sein als der Reinbestand irgendeiner ihrer Komponenten (Wolfe & Finckh 1997). In einem Vergleich in verschiedenen Feldversuchen in England über 11 Jahre wurde bei den Sortenmischungen im Vergleich mit Feldern mit einer Sorte ein um fast 8 % höherer Ertrag festgestellt. Die höhere Stabilität von Weizenmischungen verglichen mit dem Durchschnitt der Reinbestände an unterschiedlichen Standorten war auf variable Interaktionen zwischen den Sorten je nach Umweltbedingungen zurückzuführen (Finckh & Mundt 1996).

Krankheitsbekämpfung

Diversität spielt eine wichtige Rolle bei der Bekämpfung von Krankheiten und Schädlingen, vorausgesetzt es handelt sich um funktionale Diversität⁴². Der Nutzen von Sortenmischungen für die Krankheitsbekämpfung wird auf folgende Mechanismen zurückgeführt:

- Reduktion des Befalls durch grössere räumliche Distanz zwischen den Individuen der anfälligen Sorte.
- Eingeschränkte Ausbreitung des Krankheitserregers durch Barrierewirkung resistenter Pflanzen, reziprok bei wirtsspezifischen Erregergenotypen.
- Allgemein geringere Krankheitsstärke durch Wirtsselektion zu wettbewerbsfähigeren und/oder resistenteren Pflanzen.
- Verringerung der Krankheitsstärke durch ein breiteres Erregerspektrum (hervorgerufen durch das breitere Wirtsspektrum), z.B. infolge Interaktionen zwischen den Erregern, wie Konkurrenz um „freies“ Pflanzengewebe.
- Resistenzinduktion durch avirulente Sporen ermöglicht durch das breitere Erregerspektrum.

In Experimenten mit Sorten- und Artmischungen von Getreide wurden substantielle Verringerungen verschiedener Blattkrankheiten erreicht (Finckh & Wolfe 1998). Zum Beispiel verringerte sich in Sortenmischungen der Mehltaubefall gegenüber Reinbeständen um 10 bis 26 % (Wolfe und Finckh (1997)). Neuere Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass auch der Befall von Kartoffeln mit Kraut- und Knollenfäule in Sortenmischungen reduziert wird (Andrivoon & Lucas 1998).

Sortenmischungen in der Praxis

Getreidesortenmischungen werden kommerziell in den USA, Dänemark, Finnland, Polen und der Schweiz angebaut, um Gelbrost des Weizens, Haferkronenrost und den echten Mehltau der Gerste zu bekämpfen. In der früheren DDR konnte mit Gerstensortenmischungen der Befall mit dem echtem Gerstenmehltau auf grossen Flächen innert fünf Jahren um 80 % reduziert werden. In Kolumbien wird Kaffee zur Bekämpfung des Kaffeerostes auf rund 400'000 ha erfolgreich in Sortenmischungen angebaut. In Entwicklungsländern sind Sortenmischungen im Reisbau eher die Regel als die Ausnahme (Review siehe Finckh & Wolfe 1998).

Literatur

- Andrivoon D. & Lucas J.M. (1998): Mixtures of varieties for control of potato late blight: is it possible? First transnational workshop on biological, integrated and rational control: status and perspectives with regard to regional and European experiences, Lille, France, 55-56.
- Finckh M.R. & Mundt C.C. (1992): Stripe rust, yield, and plant competition in wheat cultivar mixtures. *Phytopathology*, 82 (9), 905-913.
- Finckh M.R. & Mundt C.C. (1996): Temporal dynamics of plant competition in genetically diverse wheat populations in the presence and absence of stripe rust. *Journal of Applied Ecology*, 33 (5), 1041-1052.
- Finckh M.R. & Wolfe M.S. (1998): Diversification Strategies. - In: Jones D.G. (Hrsg.): *The Epidemiology of Plant Diseases*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 231-259.
- Wolfe M.S. & Finckh M.R. (1997): Diversity of host resistance within the crop: effects on host, pathogen and disease. - In: Hartleb H., Heitefuss R. & Hoppe H.-H. (Hrsg.): *Resistance of Crop Plants against Fungi*. Gustav Fischer, Jena, 378-400.

⁴² Funktionale Diversität macht sich Kenntnisse um Wirt-Pathogen-Beziehungen derart zu Nutze, dass die Evolution der Krankheitserreger in eine bestimmte Richtung gelenkt werden kann.

Exkurs: Allergien

Allergien werden in den meisten Fällen durch Proteine (Eiweisse) oder Glykoside (Eiweisse mit einem Zuckerteil) hervorgerufen. Der Anbau von transgenen Pflanzen ist aus dem Blickwinkel der Allergieproblematik aus verschiedenen Gründen kritisch zu beurteilen:

Transgene Pflanzen enthalten häufig rekombinante Proteine, die bisher nicht Bestandteil der Nahrung waren. Ihr allergenes Potential ist unbekannt (Weber 1998).

Bei vielen pflanzlichen Proteinen, die in der Gentechnik genutzt werden, um Insekten- oder Pilzresistenzen zu vermitteln, ist bekannt, dass sie potentielle Allergene sein können. So sind einige Proteaseinhibitoren und manche Lektine selber Allergene oder weisen zumindest grosse Ähnlichkeiten zu Allergenen auf (Franck-Oberaspach & Keller 1996).⁴³ Werden die entsprechenden Proteaseinhibitor- und Lektine mittels Gentechnik in Nutzpflanzen übertragen, besteht die Gefahr, dass neue allergene Nahrungsmittel geschaffen werden.

Schliesslich können unbeabsichtigte Nebenwirkungen der gentechnischen Veränderung den Stoffwechsel von Pflanzen so verändern, dass eine bereits vorhandene Allergenität gesteigert wird. Möglicherweise können dadurch auch bisher nicht als Allergene aufgefallene pflanzliche Lebensmittel allergen wirken (Weber 1998, siehe auch Positionseffekte Seite 93).

Befürworter und Befürworterinnen der Gentechnik halten diese Risiken zwar ebenfalls für problematisch. Sie sind aber der Meinung, dass die Sicherheitsuntersuchungen, die vor einer Vermarktung durchgeführt werden, ausreichen, um potentielle neue allergene Eigenschaften rechtzeitig vor Beginn der Vermarktung zu erkennen.

Sicher können Allergene allerdings nur identifiziert werden, wenn es bereits Allergiker gibt, die auf das entsprechende Protein allergisch reagieren. Diese Allergene können dann mit Hilfe von Blutseren der entsprechenden Allergiker identifiziert werden. Eindeutige Tests, die die Allergenität neuer Allergene ermitteln, gibt es bisher dagegen nicht. In diesem Fall können nur indirekte Methoden angewendet werden, mit denen das allergene Potential der neu in die Lebensmittel eingebrachten Proteine abgeschätzt wird. Dabei werden die rekombinanten Eiweisse mit unbekanntem allergenem Potential mit den Eigenschaften von Eiweissen, deren allergene Eigenschaften bekannt sind, verglichen (ausführlich dargestellt in Weber 1997, 1998). Allerdings ist die Aussagekraft dieser Tests sehr begrenzt. Eine sichere Voraussage, ob ein neu eingeführtes rekombinantes Protein in Zukunft allergen sein wird oder nicht, ist damit nicht möglich. Eine Vielzahl von Nutzpflanzen, aus denen jeweils wieder eine Vielzahl verschiedener Nahrungsmittel hergestellt werden, enthalten die gleichen rekombinanten Eiweisse, z.B. die Herbizidtoleranzen gegen "Roundup" oder "Liberty" oder das Bt-Toxin. Menschen, die in Zukunft Allergien gegen diese Eiweisse entwickeln, müssten eine sehr grosse Anzahl von Lebensmitteln meiden (Tappeser 1997). Die Situation solcher AllergikerInnen wäre noch weit komplizierter als bisher.

Häufig wird von Befürwortern der Gentechnik behauptet, dass es mit Hilfe der Gentechnik möglich sein wird, Lebensmittel herzustellen, die allergenfrei sind (z.B. Jany & Greiner 1998, Stadler 1997). Um solche Pflanzen zu erzeugen, soll die Synthese von allergenen Eiweissen mit Hilfe der Gentechnik unterdrückt und damit die Ursache der Allergie beseitigt werden. Bisher sind entsprechende Versuche, Allergene in transgenen Pflanzen auszuschalten, allerdings gescheitert. So konnte eine japanische Forschungsgruppe, die versucht hatte, mit gentechnischen Methoden ein Hauptallergen von Reis auszuschalten, die Bildung dieses Proteins nur auf ca. ein Fünftel reduzieren (Tada *et al.* 1996). Zudem wurde diese Verminderung nicht stabil weitervererbt (Tada 1997). Allergene Reaktionen bei sensibilisierten Menschen werden aber bereits durch Spuren des betreffenden Allergens ausgelöst. Da Reis zudem mehrere Allergene enthält, wurde das Projekt "antiallergener Reis" aufgegeben (Tada 1997). Bevor die Gentechnik in Zukunft in der Lage ist, hypoallergene Pflanzen zu erzeugen, müssen also noch grosse technische Hürden überwunden werden. Ob ein solcher Ansatz aber überhaupt sinnvoll ist, scheint ebenfalls fraglich. Viele der Eiweisse, die Allergien auslösen, sind an der Abwehr von pflanzlichen Schädlingen beteiligt (Franck-Oberaspach & Keller 1996). Eine erfolgreiche Ausschaltung solcher Eiweisse würde also vermutlich die Anfälligkeit gegen Schädlinge und Krankheiten erhöhen und hätte daher negative Folgen für den landwirtschaftlichen Anbau.

Literatur

- Franck-Oberaspach S., Keller B. (1996): Produktesicherheit von krankheitsresistenten Nutzpflanzen: Toxikologie, allergenes Potential, Sekundäreffekte und Markergene. In: Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft? Schulte, E., Käppeli, O. (Hrsg.) Band I. Materialien. Eine Publikation des Schwerpunktprogrammes Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern.
- Jany K.-D., Greiner R. (1998): Gentechnik und Lebensmittel. Berichte der Bundesforschungsanstalt für Ernährung, Karlsruhe.
- Stadler B.M. (1997): Es gibt keine menschlichen Gene. Hans Huber Verlag, Bern.
- Tada Y. (1997): Brief vom 13.08.1997 an Hartmut Meyer, BUND Niedersachsen, Hannover, zitiert nach Meyer H. (1997) Reis für Allergiker? In: Gen-ethischer Informationsdienst 123, 14-16.
- Tada Y., Nakase M., Adachi T., Nakamura R., Shimada H., Takahashi M., Fujimura T., Matsuda T. (1996): Reduction of 14-16 kDa allergenic proteins in transgenic rice plants by antisense gene. FEBS Letters 391, 341-345.
- Tappeser B. (1997): Allergierisiko und Resistenzprobleme - ist die Gentechnik in der Nahrungsmittelproduktion nachhaltig? In: Hessen im Dialog - Zukunft der Gentechnik: Welcher Nutzen? Welche Risiken? Hessische Landesregierung (Hrsg.).
- Weber B. (1997): Hintergrundpapier zu einigen Aspekten der glyphosatresistenten Sojabohnen von Monsanto und den von Monsanto vorgelegten Antragsunterlagen zur Inverkehrbringung. Öko-Institut Freiburg.
- Weber B. (1998): Werden transgene Pflanzen vermehrt Allergien verursachen? Gesundheitliche Risiken gentechnisch veränderter Lebensmittel. Soziale Medizin, 3/98, S. 38ff.

⁴³ Proteaseinhibitoren sind Eiweisse, die Enzyme im Verdauungstrakt hemmen können.

3 Maisanbau in der Schweiz

3.1 Der nachhaltige Maisanbau: ein Idealszenario

Mais wurde ursprünglich aus Mittelamerika nach Europa gebracht. Der nachhaltige Anbau von Mais würde also idealerweise in tropischen und subtropischen Regionen stattfinden. Die herausragende Eignung als Futterpflanze und die gute Energieausnutzung¹ sind neben der enormen Ertragssteigerung durch die Hybridzüchtung wichtige Gründe für die weltweite Verbreitung von Mais als Kulturpflanze.

Wegen des hohen Nährstoffbedarfs sollte Mais an bevorzugter Stelle in der Fruchtfolge stehen, zum Beispiel nach Leguminosen. Idealerweise wird im nachhaltigen Maisanbau auf den Einsatz von Pestiziden und Herbiziden verzichtet, Schädlinge werden mit biologischen Pflanzenschutzmitteln und Unkräuter mit mechanischen oder thermischen Methoden reguliert. Sorten, die Integration in der Fruchtfolge und Saatzeitpunkte werden so gewählt, dass der Schädlings- und Krankheitsdruck auf natürliche Weise unter der entsprechenden Schadschwelle bleibt.

3.2 Der real existierende Maisanbau

Mais ist in unseren Breitengraden nicht standortgerecht – seine Vegetationsperiode ist für mitteleuropäische Klimata zu lang – schon deshalb ist ein Anbau aus nachhaltiger Sicht fragwürdig. So ist der real existierende Maisanbau heute in den meisten Fällen weit entfernt von den Forderungen der Nachhaltigkeit. Die hohen Ansprüche an die Nährstoffversorgung erfordern beim Anbau von Mais in Monokultur Höchstensätze an Düngern, die insbesondere durch die spät schliessende Vegetationsdecke zu hohen Auswaschungsverlusten und Kontamination des Trinkwassers mit Nitrat führen. Mais ist gegenüber Unkräutern relativ konkurrenzschwach; dem wird im konventionellen Anbau mit massiven Herbizideinsätzen entgegen gehalten. Das Herbizid Atrazin, das in grossen Mengen ins Grundwasser ausgewaschen wurde, ist ein Beispiel, das in der Öffentlichkeit diskutiert wurde. Beim Maisanbau kann es zu erheblicher Bodenerosion kommen².

Bei einer nachhaltigeren Maisproduktion werden alternative Anbauverfahren wie Streifenfrässaat verwendet. Auf diese Weise kann die Erosionsgefahr minimiert werden und Bodenverdichtungen durch den Einsatz schwerer Erntemaschinen verringert werden. Durch alternative Anbauverfahren werden Nützlinge gefördert und Schädlinge und Krankheiten auf natürliche Weise reguliert. Auch die Nitratauswaschung wird dadurch reduziert (Bigler *et al.* 1995a). In einer ausgewogenen Fruchtfolge, wie sie im Biolandbau praktiziert wird, wird Mais mit Vorteil nach Leguminosen angebaut, damit der hohe Stickstoffbedarf gedeckt werden kann. Das Belassen einer Restverunkrautung durch den Verzicht auf Herbizide und der Anbau in Mischkultur³ bereichern die ökologische Vielfalt innerhalb der Parzellen.

3.3 Die Schlüsselprobleme des Maisanbaus

Die wichtigsten Probleme im Maisanbau sind die Pilzkrankheit Stengel- und Kolbenfäule, die Larve des Maiszünslers und die Nährstoff- und Wasserkonkurrenz durch Unkräuter, vor allem im Jugendstadium des Maises. Weitere Probleme sind in Tabelle 7 aufgeführt.

Ferner kann die natürlicherweise in unseren Klimaten zu lange Vegetationsperiode des Maises als Schlüsselproblem aufgeführt werden. Dieses Problem hat seine Ursache darin, dass der Mais in Mitteleuropa nicht standortgerecht ist und hier auch nicht zu maximalen Erträgen führen kann. Als Standortproblem wurde die „zu lange“ Vegetationsperiode nicht in Tabelle 7 aufgenommen.

¹ Als sogenannte C-4-Pflanze besitzt Mais ein sehr wirkungsvolles CO₂-Assimilationssystem und kann daher die Sonnenenergie effizienter nutzen als unsere einheimischen Kulturpflanzen, die zu den C-3-Pflanzen gehören (Zscheischler *et al.* 1984). C-4-Pflanzen bilden als erstes CO₂-Fixierungsprodukt Oxalessigsäure, ein Molekül mit vier C-Atomen, während C-3-Pflanzen als erstes CO₂-Fixierungsprodukt Phosphoglycerinsäure bilden, die nur drei C-Atome aufweist. Letztere gehen bereits bei einer Unterschreitung der CO₂-Konzentration in der Luft unter 40 - 50 ppm zum Abbau der assimilierten Stoffe über, während Mais als C-4-Pflanze noch bei 5 - 10 ppm CO₂ zur Assimilation fähig ist.

² Zu starker Bodenerosion kommt es, wenn folgende Faktoren zusammenwirken: 1. Erosionsanfällige Bodenart, 2. starke Reliefunterschiede, 3. starker Regen im Mai und Juni, solange keine geschlossene Vegetationsdecke vorhanden ist, 4. Pflugfurche in Fallinie.

³ Von Mischkultur spricht man, wenn mehrere Kulturen in alternierenden Reihen auf der selben Parzelle angebaut werden. Diese wird teilweise in der tropischen Landwirtschaft realisiert, wo z.B. Mais und Reis (Asien) oder Hirse und Erdnüsse (Afrika) in Mischkultur (mixed intercropping) angebaut werden. In Europa wird diese Anbaumethode im Ackerbau aus arbeitswirtschaftlichen Gründen nicht angewendet.

Tabelle 7: Bedeutung und Verbreitung von Schaderregern im Maisanbau (nach Hoffmann & Schmutterer 1983 und Oerke *et al.* 1994).

Problem/Krankheit	Schaderreger	Bedeutung	Verbreitung
Stengel- und Kolbenfäule	<i>Fusarium culmorum</i> , <i>Gibberella zeae</i>	***	weltweit
Maiszünsler	<i>Ostrinia nubilalis</i> ; <i>O. furnacalis</i>	***	regional ^a
Unkräuter		***	weltweit
Helminthosporiosen	<i>Trichometasphaerica turcica</i> , <i>Cochliobolus heterostrophus</i> , <i>Cochliobolus carbonus</i>	**	weltweit, regional ^a , regional ^b
Maisbeulenbrand	<i>Ustilago maydis</i>	**	weltweit
Maisrost	<i>Puccinia sorghi</i>	**	regional ^c
Kopfbrand	<i>Sphacelotheca reiliana</i>	*	weltweit
Mais-Hexenbesen	<i>Sclerophthora macrospora</i>	*	lokal ^d
Bakterielle Blatt- und Stengelkrankheiten	<i>Erwinia stewartii</i> , <i>Pseudomonas</i> spp.	*	weltweit
Maize dwarf mosaic	MDMvirus	*	weltweit
Wheat streak mosaic	WSMvirus	*	weltweit
Hafernematode	<i>Heterodera avenae</i>	*	weltweit
Stengelnematode	<i>Ditylenchus dipsaci</i>	*	weltweit
Wurzelläsionsnematode	<i>Pratylenchus</i> spp.	*	regional ^e
Fritfliege	<i>Oscinella frit</i>	**	regional ^g
Blattläuse	<i>Metopolophium dirhodum</i> , <i>Sitobion avenae</i> , <i>Rhopalosiphum padi</i>	*	weltweit
Erdraupen	<i>Agrotis</i> spp., <i>Euxoa tritici</i>	*	regional ^h
Drahtwürmer	<i>Agriotes</i> spp.	**	regional ⁱ
Engerlinge	<i>Melolontha melolontha</i> (u.a.)	*	regional ^k
Erdschnakenlarven	<i>Tipula</i> spp.	*	regional ^l
Schnecken	<i>Deroceras</i> spp.	*	regional ^m
Krähen	<i>Corvus corone</i>	**	regional ⁿ

^a Europa, Vorderasien, N-Afrika, N-Amerika; ^b Subtropen, Tropen; ^c Subtropen; ^d Subtropen, Tropen, z.T. Mitteleuropa; ^e an Einzelpflanzen; ^fv.a. Europa und N-Amerika; ^g Europa, W-Asien; ^h Europa, Asien, Afrika; ⁱ Europa, Asien, N-Afrika, Neuseeland; ^k Europa; ^l Europa, W-Asien; ^m N-Hemisphäre; ⁿ N-Hemisphäre

Mit "Bedeutung" sind die volkswirtschaftlichen Kosten gemeint, die durch das Problem entstehen; die Schaderreger bis zum Doppelstrich sind am problematischsten.

3.4 Die Lösungsstrategien

Prävention – In Mais werden die natürlichen Feinde der Schaderreger durch Krautstreifen und durch das Tolerieren eines gewissen Beikrautbestandes gefördert (Habitat management). Um der Selektion einer hartnäckigen Unkrautflora vorzubeugen (z.B. Amaranth oder Hirsearten), wird in der Fruchtfolge eine Anbaupause eingelegt: der Fruchtfolgeanteil von Mais sollte 20 % nicht überschreiten. Um Drahtwürmern vorzubeugen, wird Mais nicht nach mehrjährigen Kunstwiesen angebaut. Sauberes Häckseln und Unterpflügen der Ernterückstände beugt sowohl dem Maiszünsler als auch bodenbürtigen Pilzkrankheiten wie Stengelfäule und Maisbeulenbrand vor.

Der Anbau von Mais im Streifenfrässaatverfahren⁴ bringt laut Bigler *et al.* (1995a) vor allem bezüglich Erosionsschutz und Verminderung der Herbizid- und Nitratbelastung der Gewässer erhebliche Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren. Der Befall mit dem Maiszünsler wird durch den Anbau in Maiswiese verringert, während die

⁴ Der Mais wird in abfrierende oder überwinternde Zwischenkulturen wie z.B. Gelbsenf oder Grünschnittroggen gesät. Die Zwischenkultur wird kurz vor der Maissaat geschnitten. Die Saat des Maises erfolgt in 30 cm breite, aus der Zwischenfrucht ausgefräste Bänder. Wenn es sich bei der Zwischenfrucht um eine überwinternde Kultur wie Grünschnittroggen handelt, muss sie vor der Saat des Maises mit Herbiziden abgetötet werden. Aus diesem Grund können im biologischen Landbau nur abfrierende Zwischenkulturen (z.B. Gelbsenf) verwendet werden oder solche, die nach dem Schnitt nicht mehr nachwachsen (z.B. Chinakohlrüben oder Inkarnatkleie). Das Schnittgut kann als Mulch dienen oder als Futter verwendet werden.

konventionellen Verfahren bezüglich des Ertrags etwas besser abschneiden. Auf etwa 8 % der Maisanbaufläche – insgesamt wurde in der Schweiz 1997 auf 42'300 ha Silomais und auf 20'200 ha Körnermais angebaut (SBV 1997) – wird mit modernen Anbautechniken gearbeitet (C. Bohren, schriftliche Mitteilung).

Krankheits- und Schädlingstoleranz – Als zweite Möglichkeit wird versucht, die Befallshäufigkeit durch den Anbau von krankheitstoleranten Maissorten zu vermindern. Die Resistenzen sind in der Maishybridzüchtung allerdings ein untergeordnetes Ziel.

Schaderregerbekämpfung – *Trichogramma*-Schlupfwespen, welche die Eigelege des Maiszünslers parasitieren, sind in der Schweiz zugelassene **Antagonisten** zur Bekämpfung des Maiszünslers. Die Anwendung in der Praxis ist mehrfach erprobt und weitgehend standardisiert, so dass im Zusammenspiel mit einem Frühwarnsystem ein effizientes direktes Bekämpfungsmittel gegen den Maiszünsler vorliegt. Ferner ist neuerdings ein Präparat mit dem entomopathogenen Pilz *Beauveria bassiana* zur Anwendung freigegeben. Konventionelles Saatgut wird mit **Fungiziden** gegen den Befall mit Fusariosen gebeizt⁵.

Unkrautbekämpfung – Hackfrüchte, zu denen auch der Mais gehört, haben ihren Namen von der mechanischen Unkrautregulierung mit Hackgeräten, die mehrmals während der Vegetationszeit den Unkrautdruck vermindert. In biologischen Anbauverfahren, wo auf den Herbizideinsatz verzichtet wird, erfolgt die Unkrautregulierung auf diese Weise und mit thermischen Unkrautregulierungsverfahren⁶. In konventionellen Verfahren ist der Mais von der Hackfrucht zur "Spritzfrucht" geworden. Der massive Einsatz von Herbiziden in den letzten Dekaden hat den Mais als Feldfrucht in Verruf gebracht, nachdem Kontaminationen mit dem mittlerweile nur unter Auflagen erlaubten Atrazin⁷ im Trinkwasser bekannt wurden.

3.5 Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau

3.5.1 Sorten/Züchtung

In der Maiszüchtung wird heute meist nur noch nach dem Verfahren der Hybridmaiszüchtung⁸ gearbeitet. Hybride zeichnen sich gegenüber ihren Ausgangseltern in einer gesteigerten Lebenskraft und Leistung aus. Das prioritäre Zuchtziel ist es, ein Gleichgewicht zwischen den einander entgegengesetzten Eigenschaften Ertrag und Frühreife⁹ zu finden. Ferner werden Pflanzen gezüchtet, die zwei Kolben tragen. Kältetoleranz, Standfestigkeit gegen Krankheiten und Schädlinge sowie eine Verbesserung der Qualität der Ernteprodukte als Futter für Mastschweine werden ausserdem angestrebt (Zscheischler *et al.* 1984).

In der Schweiz werden jährlich neue in- und ausländische Maissorten im Hinblick auf ihre Eignung als Körner- und Silomais im schweizerischen Maisanbaugebiet getestet. Die Versuche werden von der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) und von der Station fédérale de recherche agronomique de Changins (RAC) durchgeführt. 1999 werden gemäss einer Pressemitteilung von der FAL neun Körnermais¹⁰- und vier Silomaissorten neu in die Sortenliste aufgenommen und gleichzeitig 19 Sorten gestrichen. Die neuen Körnermaissorten zeichnen sich vor allem durch ihre guten Eigenschaften als Futter für die Schweinemast aus. Ebenso wurde bei den neuen Silomaissorten stärker als in den vorangegangenen Jahren auf ihre Qualität als Futter, das heisst auf ihren Anteil an verdaulicher Substanz geachtet.

3.5.2 Biologischer Pflanzenschutz

Forschungsaktivitäten mit antagonistischen Mikroorganismen und Nützlingen betreffen vor allem die Bekämpfung von bodenbürtigen Pilzen wie *Fusarium* oder *Pythium* und den Maiszünsler. Die Forschung auf dem Gebiet der biologischen Pflanzenschutzmittel hat in neuerer Zeit verschiedene Präparate gegen den Maiszünsler hervorgebracht, darunter die Schlupfwespe *Trichogramma brassicae*, das Insektengift aus dem Bakterium *Bacillus thuringiensis* und den entomopathogenen Pilz *Beauveria bassiana*. Eine Behandlung mit letzterem ist laut Lewis *et al.* (1995) vor allem effektiv in Kombination mit *B. thuringiensis*. Präparate mit allen drei Antagonisten sind praxiserprobt und auf dem Markt. Die Forschung versucht, die Anwendung zu optimieren, neue effizientere Antagonistenstämme zu züchten und andere Antagonisten zu finden. Gegen *Fusarium*-Krankheiten können laut For-

⁵ Eine Saatgutbeizung ist nur gegen bodenbürtige Pilze, die den Keimling befallen, wirksam.

⁶ Das Unkraut wird unter Einsatz von Gasbrennern durch Hitze vernichtet. Thermische Unkrautregulierung kann im Voraufbau oder auch im Nachaufbau zwischen den Reihen erfolgen.

⁷ Atrazin ist ein Totalherbizid aus der Klasse der Triazine. Totalherbizide wirken systemisch (auf alle Pflanzenteile) und gegen ein- und zweikeimblättrige Pflanzen. Atrazin ist nur unter folgenden Auflagen zugelassen: Maximal eine Anwendung pro Jahr bis zum 30. Juni (FAW & BUWAL 1998).

⁸ Als Hybride bezeichnet man die erste Generation aus einer kontrollierten systematischen Kreuzung von besonders ausgewählten Partnern. Dabei werden Inzuchtlinien mit guten Eigenschaften miteinander gekreuzt. Die verbesserten Eigenschaften treten nur in der ersten Nachkommenschaftsgeneration auf, deshalb muss zur Aufrechterhaltung der Erträge stets neues Saatgut gekauft werden.

⁹ Da in Mitteleuropa die Vegetationszeit für Mais zu kurz ist, müssen Sorten gezüchtet werden, die frühzeitig ausreifen.

¹⁰ Körnermais lässt sich als Verkaufsfrucht oder zur Veredelung über Brennerei oder Mast verwerten.

schungsergebnissen Stämme von *Pseudomonas fluorescens* und *Burkholderia cepacia* als Unterdrücker eingesetzt werden (siehe Kapitel 3.8.1).

3.5.3 Resistenzinduktion

Induzierte Resistenz kann durch die Applikation einer Substanz ausgelöst werden und lokal Abwehrreaktionen hervorrufen (lokale induzierte Resistenz) oder Abwehrmechanismen in der ganzen Pflanze bewirken (systemische induzierte Resistenz). Mit einer apathogenen Rasse von *Cochliobolus carbonum* und anderen Pathogenen behandelte anfällige Maispflanzen zeigen laut (Cantone & Dunkle 1990a; Cantone & Dunkle 1990b) bei einer späteren Infektion mit der virulenten *C. carbonum*-Rasse resistente Eigenschaften. Mit Blattspritzungen von Düngersalzen konnten Reuveni *et al.* (1994) und Reuveni *et al.* (1996) bei Maispflanzen eine systemische Resistenz gegen Maisrost (*Puccinia sorghi*) und Helminthosporiosen (*Trichometasphaerica turcica*) induzieren.

3.5.4 Alternative Anbausysteme

Alternative Anbauverfahren wie Direktsaat oder Streifenfrässaat wurden in den letzten Jahren intensiv erforscht und werden in der Praxis angewendet (siehe Kapitel 3.4). An der eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) werden solche Anbausysteme weiter optimiert und in Praxisversuchen getestet.

3.6 Hauptforschungsgebiete Gentechnik

3.6.1 Status quo

Mais ist die transgene Pflanze, die in den USA und Europa bisher am häufigsten freigesetzt wurde (s. Tabellen 8 und 9). In der EU sind die Mehrzahl der Freisetzungen mit herbizidresistenten, in den USA mit herbizid- sowie insektenresistenten Maislinien erfolgt.

1998 betrug der Anteil von transgenem Mais an der Fläche, die weltweit mit transgenen Nutzpflanzen bebaut wurde, 30 % (James 1998).¹¹ Die EU hat bisher die Bt-exprimierenden Maislinien Bt-176 (Novartis), MON 810 (Monsanto) und die Phosphinotricin-tolerante Maislinie T-25 (AgrEvo) genehmigt. Bt 11 (Novartis) wurde für den Import und die Verarbeitung genehmigt. Ausserdem wurden von Novartis (Bt 11), Monsanto (GA21, Herbizidtoleranz) und Pioneer Maislinie (MON810x25, Zünslerresistenz plus Herbizidtoleranz) Anträge auf Anbau, Import und Vermarktung gestellt (RKI 1999). Die Schweiz erlaubt Import, Lagerung und Verarbeitung der Maislinie Bt-176, nicht aber deren landwirtschaftlichen Anbau. In den USA sind schon 11 Maislinien auf dem Markt (Tabelle 10).

Trotz grundsätzlicher Genehmigung der oben genannten transgenen Maislinien sind in der EU bisher keine endgültigen Sortenzulassungen erfolgt. Transgener Mais kann daher nicht von den EU-Landwirten kommerziell erworben werden. Trotzdem wurde 1998, zum Teil im Zuge von Ausnahmegenehmigungen, die Bt-176 Maislinie in der EU angebaut. In Frankreich z.B. wurden 1500 ha mit dem Bt-176 Mais bebaut. Allerdings darf dieser Mais bisher nicht vermarktet werden¹². Auch in anderen Ländern ist der Widerstand gegen die Bt-176 Maislinie aufgrund der eingebauten Antibiotikaresistenz gross¹³.

Transgener Bt-Mais – Die grössten Anteile bei den Mais-Anbauflächen in den USA entfallen auf Mais mit gentechnisch erzeugten Resistenzen gegen den Maiszünsler, die durch synthetische Konstrukte der cry-Toxingene aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* vermittelt werden (Transgen 1998). Bisher wurden in Mais drei Toxinvarianten verwendet¹⁴.

¹¹ Ausgewertet wurde der Anbau in folgenden Ländern: USA, Kanada, Australien, Argentinien, Mexiko, Spanien, Frankreich und Südafrika (James 1998).

¹² Der oberste französische Gerichtshof hob die Zulassung der drei neuen Bt-176-Maissorten am 25.9.1998 auf; die Maisernte musste vom übrigen Mais getrennt und bis zur endgültigen Entscheidung eingelagert werden (Billig 1998).

¹³ Österreich und Luxemburg haben z.B. schon 1997 ein Importstopp gegen den Novartis-Bt-176-Mais verhängt. Österreich, Frankreich, Griechenland und Dänemark haben den Anbau von Bt-176 Mais untersagt.

¹⁴ Besonders häufig ist das Cry1Ab-Gen in Maispflanzen eingebracht worden. Dieses Bt-Konstrukt enthalten die Maislinien Bt-176 (Novartis: *Maximizer* und Mycogen: *NatureGard*), Bt-11 (Novartis) und MON 810 (Monsanto: *YieldGard*). Monsanto/DeKalb Genetics vermarkten daneben die Maislinie DBT-418, die mit einem Cry1Ac-Gen transformiert wurde. Erst 1998 wurde von AgrEvo/PGS die Maislinie CBH-351 mit einem neuen Bt-Genkonstrukt Cry9c in den USA zugelassen. Cry9c soll sich durch eine breite Wirkung gegen den Maiszünsler, Black Cutworm (*Agrotis ypsilon*) und den Southwestern Corn Borer (*Diatraea grandiosella*) auszeichnen (Raps *et al.* 1998). Die verschiedenen Maislinien unterscheiden sich neben den unterschiedlichen Toxingenen auch in ihrem Expressionsmuster. Bt-176 exprimiert das Bt-Toxin in allen grünen Pflanzenteilen, im Pollen und im Maisstengel, nicht aber im Maiskolben. Das Expressionsniveau fällt nach dem Pollenflug stark ab (Klopffer *et al.* in press). Bt-11 und Mon-810 exprimieren das Bt-Toxin Cry1Ab während der gesamten Vegetationsperiode in allen Pflanzenteilen. Linie DBT418 bildet das Cry1Ac Toxin in hoher Konzentration nur in den Blättern; in Stengel, Kolben und Narbenfäden werden nur geringe Mengen und in den Pollen gar kein Toxin gebildet (Raps *et al.* 1998).

Herbizidtolerante Maissorten – Zugelassen wurden in der EU bisher eine Phosphinotricin-tolerante Maislinie der Firma AgrEvo, in den USA ist der Anbau von Phosphinotricin- und Glyphosat-toleranten Maislinien genehmigt (Tabelle 10). In der Schweiz wurde 1999 ein Gesuch der Firma Plüss-Stauffer für die Freisetzung einer gentechnisch veränderten Maissorte, die gegen das Herbizid Liberty® resistent ist, von den schweizerischen Umweltbehörden (BUWAL) abgelehnt.

Pilzresistenter Mais – In Europa gab es eine Freisetzung von pilzresistentem transgenen Mais in den Niederlanden (RKI 1999a; SNIF Notification B/NL/96/13)¹⁵, in den USA bereits 124 (USDA/Aphis 1999)¹⁶. Neben der Pilzresistenzvermittlung im Feld wird auch versucht, die durch Pilze gebildeten Mykotoxine mit gentechnischen Methoden aus Mais zu entfernen¹⁷.

Virusresistenter Mais – Die gentechnische Erzeugung virusresistenter Maislinien spielt in den USA und Europa bisher mit jeweils vier Freisetzungen keine grosse Rolle.

„Produktqualität“ - Bei Mais wird vor allem die Protein- und Kohlehydratzusammensetzung variiert (USDA/Aphis 1999). Obwohl es bisher keine kommerziellen Anbauzulassungen für solche Maispflanzen gibt, sind schon zwei Produkte aus proteinveränderten Maispflanzen in den USA und Europa auf dem Markt¹⁸.

Tabelle 8: Freisetzungen mit transgenen Mais in der EU: eingeführte Eigenschaften (nach BBA 1998; RKI 1999).

Eingeführte Eigenschaft	Anzahl Freisetzungen
Herbizidtoleranz	317
Insektenresistenz	162
Männliche Sterilität	25
Metabolismusveränderungen	11
Virusresistenz	4
Pilzresistenz	1
Bakterienresistenz	1
nur Markergene	1

Tabelle 9: Freisetzungen mit transgenen Mais in den USA: eingeführte Eigenschaften (nach Aphis/USDA 1999).

Eingeführte Eigenschaft	Anzahl Freisetzungen
Herbizidtoleranz	830
Insektenresistenz	826
Produktqualität	321
Agronomische Eigenschaften	186
Pilzresistenz	124
Männliche Sterilität	80
Virusresistenz	4

¹⁵ Die Freisetzung wurde von der Firma van der Have beantragt. Der Mais hat neben der Pilzresistenz noch weitere transgene Eigenschaften: Herbizidtoleranz, Inhaltsstoffe, Insektenresistenz, männliche Sterilität.

¹⁶ Konkret wird versucht, Resistenzen gegen die folgenden Pilzarten zu vermitteln: *Aspergillus*, Helminthosporiosen, *Alternaria*, *Botrytis*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Ustilago maydis*, *Kabatella*, *Cercospora* (USDA/Aphis 1999). Über die verwendeten Gene lassen sich keine Aussagen treffen, da diese Angaben vertrauliche Firmeninformationen (CBI: Confidential Business Information) sind. Lediglich die University of Illinois gibt an, dass sie Chitinase und Glucanase-Gene in die von ihnen freigesetzten Maislinien eingebracht hat, um Resistenz gegen den Pilz *Aspergillus* zu erzeugen. Neben diesen beiden Genen werden Pflanzen generell noch mit Proteinase-, Lectin-, PR-Protein-, und Phytoalexinogenen transformiert, um Pilzresistenz zu vermitteln (Franck-Oberaspach & Keller 1996).

¹⁷ Die Firma Pioneer hat dazu in den USA transgene Maislinien freigesetzt, welche die Entstehung von Mykotoxinen inhibieren bzw. die gebildeten Mykotoxine wieder abbauen können. Zur Transformation wurden Gene verwendet, die aus Fumosin-abbauenden Mikroorganismen isoliert worden sind (Traynor 1998).

¹⁸ Seit 1998 vermarktet die Firma Sigma rekombinante Beta-Glucuronidase (GUS) und Avidin, die nach Freisetzungsversuchen aus den entsprechenden transgenen Maispflanzen gewonnen wurden. Beide Reagenzien wurden von ProdiGene Inc. entwickelt und können für Laboruntersuchungen genutzt werden (Traynor 1998).

Tabelle 10: Zulassungen von transgenem Mais (nach GIBiP 1998; RKI 1999; TransGen 1998; Union of Concerned Scientists 1998)

Unternehmen * <i>Markenname</i>	eingebraachte Gene	USA	EU	Kanada	Andere
AgrEvo * <i>Liberty Link</i>	Herbizidtoleranz ¹	1995	1998		Argentinien Japan ³
AgrEvo/PGS (CBH-351)	Bt/Zünslerresistenz	1998			
AgrEvo/PGS * <i>Seed Link</i>	Männliche Sterilität, Herbizidtoleranz ¹	1996		1997	Japan ³
AgrEvo	Männliche Sterilität, Herbizidtoleranz ¹	1999			
BASF Kanada	Männliche Sterilität, Herbizidtoleranz			1997	
Monsanto (MON 802)	Bt/Zünslerresistenz, Herbizidtoleranz ¹	1996		1997	
Monsanto/ De Kalb (BtXtra)	Bt/Zünslerresistenz	1997		1997	Japan ³
Monsanto/ De Kalb	Herbizidtoleranz ¹	1996	Antrag	1996	
Monsanto/ De Kalb * <i>Roundup-Ready</i>	Herbizidtoleranz ²	1998		1998	Japan ³
Monsanto (MON810) * <i>YieldGard</i>	Bt/Zünslerresistenz, Antibiotikaresistenz (nptII)	1995	1998	1997	
Monsanto	Herbizidtoleranz ²			Antrag	
Mycogen (Bt 176) * <i>NatureGard</i>	Bt/Zünslerresistenz	1996		1995	Japan ³ Schweiz ³
Novartis (Bt 176) * <i>Maximiser (Knock-Out)</i>	Bt/Zünslerresistenz, (Herbizidtoleranz ¹), Antibiotikaresistenz (Ampicillin)	1995	1997	1995	Argentinien, Südafrika. Japan ³
Novartis/ Northrup King (Bt 11)	Bt/Zünslerresistenz	1996	1998 ³	1996	Japan ³
Pioneer/Monsanto (MON809)	Bt/Zünslerresistenz, Herbizidtoleranz ²	1996	Antrag	1996	
Pioneer/Monsanto	Männliche Sterilität, Herbizidtoleranz	1998		1998	
Zeneca Seeds	Herbizidtoleranz			1997	

¹: Phosphinotricin (LibertyLink)

²: Glyphosat (Roundup)

³: Eingeschränkter Zweck (Import, Lagerung, Verarbeitung)

3.6.2 Potential

Der Maiszünsler kann durch den in der EU und den USA zugelassenen Bt-Mais erfolgreich bekämpft werden. Allerdings ist der Anbau dieser Maislinien mit Risiken behaftet (s. unten).

Herbizidtolerante Maissorten sind zwar in den USA im kommerziellen Anbau deutlich weniger verbreitet als Bt-Mais, stellen aber in Europa die grössten Anteil an Freisetzungsversuchen. Neben angeblichen Herbizideinsparungen soll es durch die Möglichkeit, zu einem späteren Zeitpunkt als bisher zu spritzen, einfacher werden, Herbizidbehandlungen nach dem Schadschwellenprinzip vorzunehmen. Beide möglichen Vorteile sind aber bisher noch umstritten.

3.6.3 Risiken

Verwilderung – Mais gehört in die Familie der *Poaceae* (syn. *Gramineae*). Mais ist kälteempfindlich und kommt daher bisher ausschliesslich in Kultur vor (Neuroth 1997). Sukopp und Sukopp (1993) berichten von

kurzfristigen Verwilderungen auf unkrautschwachen Flächen wie Ackerrändern und Bahndämmen. Eine langfristige Auswilderung und Etablierung ist für unsere Regionen auszuschliessen.¹⁹

Auskreuzung – In unseren Breiten kann eine Auskreuzung von Mais in die Wildflora ausgeschlossen werden. Zwar ist Mais mit wilden Verwandten, wie Teosinte (*Zea mexicana*) kreuzbar, diese Pflanzen kommen in Mitteleuropa aber nicht vor.²⁰ Allerdings kann eine Auskreuzung auf benachbarte nicht-transgene Maispflanzen stattfinden. Mais ist überwiegend fremdbestäubt. Der Pollen wird durch den Wind übertragen. Jean Emberlin, Leiterin der U.K. National Pollen Research Unit, geht davon aus, dass die Auskreuzungsrate von GVO-Mais in benachbarte Maisfelder bei mittleren Windgeschwindigkeiten vermutlich in 200 m Entfernung noch einen Wert von 3,2% erreichen wird (Soil Association 1999). Der für die Saatguterzeugung einzuhaltende Sicherheitsabstand von 200 bis 300 m zwischen GVO-Maisfeldern und nicht-transgenen Maisfeldern wird daher vermutlich nicht ausreichen, um eine Kontamination dieser Maissorten mit GVO-Mais zu verhindern. Die in der Schweiz für die „Gentechnikfrei“-Deklaration zugelassene Limite einer unter 1%igen Kontamination mit GVO kann selbst bei diesen Abständen nicht eingehalten werden.

Mais als Nahrungs- und Futtermittel - Positionseffekte (siehe Seite 93) und ein allergenes Potential (siehe Seite 41) können nicht ausgeschlossen werden.

Transgener Bt-Mais - Hauptkritikpunkte an der Klonierung von Bt-Toxinen sind mögliche Wirkungen des verkürzten Bt-Toxins auf Nichtzielorganismen und die Möglichkeit der schnellen Resistenzentwicklung des Maiszünglers (siehe Seite 54).

Risiken der Herbizidtoleranz - Der Anbau von herbizidresistenten Maissorten wird im Moment dazu führen, dass die zwei Herbizide "Liberty" (Wirkstoff Glufosinat, Hersteller AgrEvo) und "Roundup" (Wirkstoff Glyphosat, Hersteller Monsanto), die bisher im Maisanbau nur in geringem Umfang eingesetzt wurden, vermehrt zum Einsatz kommen. In den USA hat die Verwendung der herbizidtoleranten Maissorten bisher nicht zu einer "integrierten" Maisanbauweise geführt (Owen 1998). Da die verwendeten Herbizide zudem nicht grundsätzlich umweltfreundlicher sind als die konventionellen Herbizide ist ihr Nutzen für die Entwicklung der Landwirtschaft in Richtung Nachhaltigkeit unwahrscheinlich (siehe auch Herbizidresistenz Seite 79).

Verbreitung von Antibiotikaresistenzen – Ob Pflanzen, die Antibiotikaresistenzgene tragen, ein Risiko für die VerbraucherInnen und die Umwelt darstellen, ist in der Wissenschaft höchst umstritten (siehe Seite 70).

3.7 Bewertung der heutigen Situation und Ausblick

Die grössten Probleme im Maisanbau stellen die Konkurrenz durch **Unkräuter**, der **Maiszüngler** und die **Stengel- und Kolbenfäule** dar.

Ökologische Ansätze: **Unkräuter** können effizient und nachhaltig durch mechanische Regulierung in Schach gehalten werden. Alternative Anbausysteme wie die Streifenfrässaat erfordern nach dem heutigen Stand zwar noch den Einsatz von Herbiziden; deren Anwendung kann jedoch umweltverträglicher erfolgen, weil durch die Bodenbedeckung die Auswaschung ins Grundwasser und die horizontale Verlagerung durch Erosion vermindert wird. In herbizidfreien Anbausystemen werden abfrierende und nicht nachwachsende Zwischenfrüchte verwendet. Gegen den **Maiszüngler** liegt eine gut etablierte, nachhaltige und schlagkräftige Regulierungsmethode vor: Die Freilassung von *Trichogramma brassicae*-Schlupfwespen, welche die Eigelege des Maiszünglers parasitieren. Die **Stengel- und Kolbenfäule** kann durch eine vielseitige Fruchtfolge, eine genügend lange Anbaupause und ausgewogene Düngung gut in Schach gehalten werden.

Gentechnische Ansätze: Mit gentechnischen Methoden werden in Mais bisher vor allem die **Herbizidtoleranz** und die **Maiszünglerresistenz** bearbeitet. Beide Ansätze bergen Risiken in sich. Der Nutzen herbizidtoleranter Pflanzen für die Umwelt ist umstritten. Die Klonierung von synthetischen Cry-Toxingenen aus dem Bakterium *Bacillus thuringiensis* führt zu einer erfolgreichen Bekämpfung des **Maiszünglers**. Allerdings sind Risiken wie die Schädigung von Nicht-Zielorganismen und die schnelle Entwicklung von Resistenzen gegen das Bt-Toxin wahrscheinlich (siehe Seite 54). Unter sozioökonomische Gesichtspunkten fällt bei der Bewertung von Bt-Mais vor allem das Problem der Patente ins Gewicht (siehe Seite 102).

3.8 Schadorganismen im Maisanbau

3.8.1 Stengelfäule (*Fusarium culmorum*; *Gibberella zeae*)

Die Stengelfäule wird in wärmeren Regionen durch den Pilz *Gibberella zeae* und in Mittel- und Nordeuropa hauptsächlich von *Fusarium culmorum* verursacht. Eine Infektion mit dem Erreger erfolgt hauptsächlich vom Boden her, kann aber auch durch Sporen in Wunden an Stengelbasis und Blattansätzen auftreten. Zuerst wird das Wurzelsystem zum Absterben gebracht, dadurch verringert sich die Standfestigkeit des Maises und die Pflanzen

¹⁹ In Südeuropa allerdings kann Mais als Durchwuchs in Folgekulturen auftreten (Neuroth 1997).

²⁰ Ein anderes Bild ergibt sich für Mexiko, Zentral- und Südamerika. Mais ist dort mit Pflanzen wie den Teosinte-Arten *Zea mays ssp. mexicana* und *Z. perennis* frei kreuzbar und bildet fertile Hybriden (Neuroth 1997).

neigen sich von der Stengelbasis her. Im Falle von *Fusarium culmorum* wächst der Pilz von den Wurzeln her in die Stengelbasis aufwärts bis in die Kolben. Schäden entstehen durch mangelhafte Kolbenausbildung und durch Abbrechen der Pflanzen unterhalb des Kolbens. Bei einem Befall muss durchschnittlich mit Ernteeinbussen von 10 % gerechnet werden, die aber bis zu 35 % betragen können. Im Durchschnitt wird der Verlust der Welternte durch Stengelfäule auf 7 % geschätzt (Hoffmann & Schmutterer 1983; Häni *et al.* 1988). Die Stengel- und Kolbenfäule mindert auch durch von Fusarien gebildeten Mykotoxine (Fumosine) die Maisqualität²¹.

Strategien in der Praxis – Da *Fusarium* hauptsächlich über den Boden übertragen wird, kann der Pilz durch eine möglichst vielseitige Fruchtfolge und längere Anbaupausen im Mais recht gut bekämpft werden. Eine harmonische Düngung wirkt ebenfalls vorbeugend gegen *Fusarium*. In gefährdeten Lagen kann die Stengelfäule durch gezielte Kali-Düngung stark eingeschränkt werden. Direkte Bekämpfungsstrategien sind gegen *Fusarium* nicht verfügbar. Eine Beizung des Saatgutes mit Fungiziden wirkt nur ungenügend gegen den Pilz (Häni *et al.* 1988; Zscheischler *et al.* 1984).

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Botelho *et al.* (1998) konnten eine Wirkung eines *Pseudomonas fluorescens* Stammes gegen *Fusarium oxysporum*, *Fusarium graminearum* und andere bodenbürtige Maispathogene nachweisen. Aus den Resultaten von Hebbbar *et al.* (1998), die eine *Fusarium*-Infektion mit einem Stamm des Bakteriums *Burkholderia cepacia* unterdrücken konnten, ist zu schliessen, dass vor allem eine Kombination zwischen dem Anbau von resistenten Maissorten und der Anwendung eines geeigneten Antagonistenpräparats hilfreich wäre gegen bodenbürtige Pathogene. Neben *Burkholderia cepacia* wurde von Mao *et al.* (1998) auch dem Pilz *Gliocladium virens* eine antagonistische Wirkung gegen *Fusarium* und *Pythium* nachgewiesen.

Forschung Gentechnik – In den USA sind bereits gentechnisch veränderte Maissorten, die gegen Fusarien resistent sein sollen, freigesetzt worden. Es ist jedoch nicht publiziert worden, welche Resultate bei den Feldversuchen erzielt wurden. Über die verwendeten Gene lassen sich ebenfalls keine Aussagen treffen, da diese Angaben vertrauliche Firmeninformationen (CBI: Confidential Business Information) sind (USDA/APHIS 1999).

Ein möglicher gentechnischer Lösungsansatz liegt bisher nur als „Nebenwirkung“ von Bt-Resistenzen vor. Munkvold *et al.* (1997, 1999) prüften, ob Bt- über eine Reduktion des Maiszünslerbefalls indirekt auch Fusarieninfektionen vermindern kann. Fusarien dringen, wie andere phytopathogene Pilze auch, durch kleine Verletzungstellen, wie sie z.B. von beissenden und saugenden Insekten verursacht werden, in die Maispflanzen ein und infizieren diese anschliessend. Als Verursacher solcher Eintrittsstellen kommen alle Insekten in Frage, die Mais befallen können, auch solche, die keine Ernteauffälle verursachen. Gefährlich sind dabei vor allem solche Insekten, die den Kolben verletzen, wie z.B. Maiszünslerlarven. Munkvold *et al.* (1997, 1999) fanden bei Untersuchungen mit Bt-Mais Hybriden, die das Bt-Toxin im Maiskolben exprimieren, dass der Fusarienbefall unter natürlichen Bedingungen vermindert, aber nicht vollständig verhindert werden kann. Bei Maispflanzen, die manuell mit Maiszünslerlarven inokuliert wurden, war der Fusarienbefall erheblich geringer als in den nicht-transgenen Maissorten. Entsprechend war der Gesamtfumosingehalt in den transgenen Maislinien unter diesen Infektionsbedingungen ebenfalls deutlich niedriger. In Bt-Maissorten, die das Bt-Toxin nicht im Kolben exprimieren (z.B. Bt-176 Mais), wurde kein verringerter Fusarienbefall gemessen.

3.8.2 Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*)

Der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) wurde in den letzten dreissig Jahren zum wichtigsten Maisschädling in der Schweiz (Bigler & Bosshart 1992). Der Schaden wird durch die Raupen verursacht. Den Befall durch den Maiszünsler erkennt man an abgeknickten Rispen, die unterhalb der Bruchstelle Bohrlöcher mit Bohrmehl und Raupenkot aufweisen. Die direkten Beeinträchtigungen der Pflanzen betreffen die Ernährung der Kolben. Viel grösser sind jedoch die Ernteeinbussen durch sekundäre Schäden wie Fäulnis und Umbrechen der durchbohrten Stengel und Fäulnis der Kolben. Die Raupen überwintern in Ernterückständen und Stoppeln und verpuppen sich in zahlreichen anderen Kulturpflanzen und Beikräutern (Zscheischler *et al.* 1984).

Strategien in der Praxis – Wird Mais im Rahmen einer Fruchtfolge angebaut, kann der Maiszünsler relativ gut unter Kontrolle gehalten werden. Die Bekämpfung des Maiszünslers geschieht heute vor allem mit indirekten Methoden wie sauberes Unterpflügen der Stoppeln. Die direkte Bekämpfung geschieht durch das Aussetzen des Eiparasiten *Trichogramma brassicae* (Trichogramma-Schlupfwespe) (Häni *et al.* 1988; Zscheischler *et al.* 1984). Diese Methode ist etabliert und ein gutes Instrument für eine nachhaltige Regulierung des Maiszünslers. Neuerdings kann in der Schweiz ein Präparat mit dem entomopathogenen Pilz *Beauveria bassiana* gegen den Maiszünsler eingesetzt werden (Bing & Lewis 1991; FiBL 1999). In der Schweiz sind ausserdem zwei chemische Kontaktgifte²² gegen den Maiszünsler zugelassen. *Bacillus thuringiensis*-Präparate kommen praktisch nicht zum Einsatz.

Forschung Habitat Management - Laut Bigler *et al.* (1995c) kann der Maiszünslerbefall durch den Anbau von Mais als Maiswiese²³ gegenüber konventionellen Verfahren um 40 bis 60 % gesenkt werden. Dyer & Landis

²¹ Die gebildeten Fumosine verursachen bei Pferden und Schweinen schwerwiegende Erkrankungen. Auch der Speiseröhrenkrebs des Menschen konnte mit dem Verzehr von Fusarien-kontaminiertem Mais in Zusammenhang gebracht werden (Munkvold *et al.* 1997).

²² Es handelt sich um Mikrogranulate auf der Basis von Phosphorsäureester und Carbamat.

²³ Maiswiese ist eine Mischkultur. Dabei wird die Wiese kurz vor der Maissaat geschnitten. Der Mais wird mittels Streifenfrässaat in ein 30 cm breites Fräsband gesät. Auf diese Weise wird auch ein guter Erosionsschutz erreicht, weil der Boden das ganze Jahr hindurch bedeckt bleibt (Bigler *et al.* 1995b).

(1997) zeigten, dass Krautstreifen bei der Förderung von natürlichen Feinden²⁴ des Maiszünslers eine Rolle spielen.

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Larven und Puppen des Maiszünslers können mit Nematoden der Art *Steinernema spp.* parasitiert werden (Caroli *et al.* 1996; Eculica *et al.* 1997). Ben Yakir *et al.* (1998) fanden nach der Behandlung mit *Steinernema carpocapsae* drei- bis fünfmal weniger Maiszünslarven. Die Behandlung mit Nematodenpräparaten müsste allerdings über den Boden zu den Stoppeln erfolgen, was anbautechnisch nicht einfach zu bewerkstelligen sein könnte.

Forschung Gentechnik – Zur Bekämpfung des Maiszünslers werden erfolgreich transgene Maislinien mit synthetisch veränderten Toxingenen aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* verwendet. Der Vorteil dieser Methode soll darin liegen, dass gegen den Maiszünsler keine Insektizide mehr eingesetzt werden müssen. Allerdings erfolgt die Zünslerbekämpfung in der Schweiz ausschliesslich mit Trichogramma. Insektizide zur Maiszünslerbekämpfung sind in der Schweiz nicht zugelassen. Die Umweltentlastung durch Insektizideinsparungen sind daher in der Schweiz nicht relevant. Demgegenüber stehen Risiken des Anbaus von Bt-Mais, wie z.B. die Schädigung von Nicht-Zielorganismen, auf die neuere Publikationen von Hilbeck *et al.* (1998 a,b) und Losey *et al.* (1999) einen deutlichen Hinweis geben (siehe Seite 54). Die Entwicklung von Resistenzen gegen Bt wurde als eine der grössten agronomischen Risiken von Bt-transgenen Pflanzen identifiziert. Mit konventionellen Bt-Präparaten konnte bislang lediglich bei einer Insektenart (*Plutella xylostella*) unter Feldbedingungen eine Resistenzentwicklung nachgewiesen werden, die auf einen besonders intensivem Einsatz von Bt-Spritzpräparaten zurückzuführen war. Das komplexe System der Bt-Bakterien, das diese zur Abtötung ihrer Wirtstiere entwickelt haben, dürfte neben der kurzen Wirkungsdauer Grund dafür sein, dass bisher kaum Resistenzentwicklungen stattgefunden haben. Besonders im Zuge des kommerziellen Anbaus von Bt-Mais werden mehr und mehr Befürchtungen laut, dass der Maiszünsler durch den extremen, dauerhaften Kontakt mit dem Bt-Toxin und dem daraus entstehenden hohen Selektionsdruck schnell Resistenzen entwickelt. Setzt sich die Bt-Mais Strategie durch, könnten in Zukunft eine Reihe transgener Bt-Maissorten, die jeweils leicht unterschiedliche CryIA(b)- (und CryIA(c)) Proteine enthalten, auf den Markt kommen. Mit Hilfe von Resistenzmanagementstrategien kann möglicherweise der Zeitraum der Nutzung dieser transgenen Sorten (und damit auch der Bakterienpräparate) verlängert werden. Allerdings erfordert dies eine Anbauplanung und -kontrolle, die deutlich über das übliche Ausmass hinaus gehen muss (siehe Seite 54).

3.8.3 Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*)

Der Maisbeulenbrand zeigt spektakuläre Symptome: An allen oberirdischen Pflanzenteilen des Maises können beulenartige bis faustgrosse Anschwellungen mit weissgrauer Haut entstehen, die beim Aufreissen eine zunächst schmierige, dann pulvrige Sporenmasse freigeben. Der Maisbeulenbrand verursacht nur sporadisch in trockenen Jahren mehr als 5 % Ernteeinbussen (Häni *et al.* 1988). In Jahren mit trockenen Vorsommern sind Epidemien mit Befallshöhen von 50 bis 70 % möglich, im langjährigen Durchschnitt wird der Befall in Deutschland aber lediglich auf 1 % geschätzt (Hoffmann & Schmutterer 1983). Die Fritfliege und der Maiszünsler können als Wegbereiter des Pilzes in Erscheinung treten (Zscheischler *et al.* 1984; Hoffmann & Schmutterer 1983).

Strategien in der Praxis – Der Maisbeulenbrand kann indirekt bekämpft werden durch die Wahl resistenter Sorten, sauberes Unterpflügen des Maisstrohs samt der Brandbeulen und durch Anbaupausen in der Fruchtfolge, eine ausgewogene Düngung sowie die Bekämpfung der Fritfliege. Gegen den Maisbeulenbrand gibt es keine direkten Bekämpfungsmöglichkeiten (Häni *et al.* 1988). In Mitteleuropa sind laut Hoffmann & Schmutterer (1983) jedoch in den meisten Jahren keine Massnahmen notwendig.

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Ragab (1994) zeigte, dass eine biologische Bekämpfung des Maisbeulenbrandes mit Isolaten der antagonistischen *Streptomyces sp.* und *Bacillus subtilis* möglich ist.

Forschung Gentechnik – In den USA sind bereits gentechnisch veränderte Maissorten, die gegen *Ustilago* resistent sein sollen, freigesetzt worden. Es ist jedoch nicht publiziert worden, welche Resultate bei den Feldversuchen erzielt wurden. Über die verwendeten Gene lassen sich ebenfalls keine Aussagen treffen, da diese Angaben vertrauliche Firmeninformationen (CBI: Confidential Business Information) sind (USDA/APHIS 1999).

3.8.4 Helminthosporium-Blattflecken

Unter Helminthosporiosen werden Blattfleckenkrankheiten zusammengefasst, die von drei pathogenen Pilzen verursacht werden, die früher zur Gattung *Helminthosporium*²⁵ gezählt wurden. Das Schadbild unterscheidet sich nur leicht in Form, Grösse und Farbe der Blattflecken. Die Pilze führen zu Verlust an Assimilationsfläche. Die Ertragsausfälle von Helminthosporiosen können bis zu 30 % betragen (Hoffmann & Schmutterer 1983).

Strategien in der Praxis – Helminthosporiosen müssen hauptsächlich vorbeugend bekämpft werden; dies kann durch eine geeignete Sortenwahl geschehen und durch Anbaupausen in der Fruchtfolge sowie durch Unterpflügen der Ernterückstände (Häni *et al.* 1988).

²⁴ Es handelte sich um den parasitoiden Hautflügler *Eriborus terebrans* (Hymenoptera: Ichneumonidae).

²⁵ Nach neuerer Taxonomie heissen die Erreger 1. *Trichometasphaerica turcica* (Konidienstadium: *Bipolaris turcica*), 2. *Cochliobolus heterostrophus* (Konidienstadium: *Bipolaris maydis*) und 3. *Cochliobolus carbonum* (Konidienstadium: *Bipolaris zeicola*).

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Mohamed & Caunter (1995) konnten mit einem *Pseudomonas fluorescens* Stamm den Befall mit dem Schaderreger *Cochliobolus heterostrophus* in vitro und in vivo signifikant unterdrücken.

Forschung Resistenzinduktion – Mit einer apathogenen Rasse von *Cochliobolus carbonum* und anderen Pathogenen²⁶ behandelte anfällige Maispflanzen zeigen laut Cantone & Dunkle (1990a; 1990b) bei einer späteren Infektion mit der virulenten *C. carbonum*-Rasse resistente Eigenschaften. Sowohl die Appressorien²⁷-Bildung, die Penetration als auch das Hyphenwachstum wurden eingeschränkt. Die Wirkung wurde von den Forschern einerseits auf einen generellen Resistenzmechanismus zurückgeführt, der durch die Behandlung mit einem potentiellen Pathogen hervorgerufen wird. Andererseits konnte die Bildung von Stoffen auf der Pflanze beobachtet werden, die die Keimung der Konidien und die Elongation des Keimschlauchs des Pathogens unterdrückten.

Forschung Gentechnik – In den USA sind bereits gentechnisch veränderte Maissorten, die gegen Helminthosporium resistent sein sollen, freigesetzt worden. Es ist jedoch nicht publiziert worden, welche Resultate bei den Feldversuchen erzielt wurden. Über die verwendeten Gene lassen sich ebenfalls keine Aussagen treffen, da diese Angaben vertrauliche Firmeninformationen (CBI: Confidential Business Information) sind (USDA/APHIS 1999).

3.8.5 Maisrost (*Puccinia sorghi*)

Maisrost verursacht nur in wärmeren Regionen (Südeuropa) grosse Ertragsausfälle. Epidemisches Auftreten kann in tropischen Regionen vorkommen. In diesen Gebieten ist daher die wirtschaftliche Bedeutung gross (Hoffmann & Schmutterer 1983).

Strategien in der Praxis – In Befallslagen kann der Schaden durch den Anbau resistenter Sorten gemindert werden (Hoffmann & Schmutterer 1983). Durch Zurückdrängen der Zwischenwirte (Sauerklee), das heisst durch eine gezielte Unkrautbekämpfung kann dem Pilz vorgebeugt werden. Eine chemische Bekämpfung kommt im Rahmen der integrierten Produktion nur bei der Saatmaisproduktion in Frage (Häni *et al.* 1988).

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Leinhos & Buchenauer (1992) zeigten, dass der Pilz *Verticillium chlamydosporium*, in Malz-extrakt gezüchtet, antifungale Aktivität aufweist gegen *Puccinia sorghi* und *P. recondita* auf Mais sowie *P. coronata* auf Hafer.

Forschung Resistenzinduktion – Mit Blattspritzungen von Phosphat-Salzen und NPK-Düngern verschiedener Zusammensetzung konnten Reuveni *et al.* (1994 und 1996) bei Maispflanzen eine systemische Resistenz gegen *P. sorghi* und *Trichometasphaerica turcica* induzieren.

Forschung Gentechnik – Bisher sind keine gentechnischen Ansätze bekannt.

3.8.6 Drahtwürmer (*Agriotes spp.*)

Drahtwürmer sind die Larven der Schnellkäfer (*Agriotes spp.*). Sie fügen den Maispflanzen schon im Jugendstadium Schäden durch Frass an Wurzeln oder Spross zu. Bei grösseren Pflanzen bohren sich die Drahtwürmer in die Stengelbasis ein. Drahtwürmer treten oft in den ersten beiden Jahren nach Wiesenumbruch auf (Häni *et al.* 1988; Zscheischler *et al.* 1984).

Strategien in der Praxis – Es wird empfohlen, Mais nicht nach langen Kunstwiesenperioden (länger als drei Jahre) anzubauen. Bei grosser Gefährdung sollte Mais erst nach zwei Jahren Getreide und einem Zwischenfutter angebaut werden (FiBL 1997). Im integrierten Landbau kann bei grosser Gefährdung vor der Saat eine Behandlung mit Insektizidgranulaten erfolgen. Die Granulate werden zunehmend durch insektizide Saatgutbeizmittel abgelöst.

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Drahtwürmer und ihre Adulte, die Schnellkäfer, können durch Pilze parasitiert werden (*Metarhizium anisopilae* bzw. *Zoophthora elateridiphaga*) (Häni *et al.* 1988).

Forschung Gentechnik – Bisher sind keine gentechnischen Ansätze bekannt.

3.8.7 Fritfliege (*Oscinella frit*)

Die Fritfliege gehört zu den Halmfliegen (Chloropidae; Diptera). Im Lebenszyklus der Fritfliege entstehen drei Generationen. Die erste schädigt den Mais und alle in Mitteleuropa angebauten Getreidearten. Zu den Brutpflanzen gehören auch viele Kultur- und Wildgräser (Häni *et al.* 1988; Hoffmann & Schmutterer 1983). Die Fritfliege beschädigt die jungen noch zusammengerollten Blätter des Mais. Später sind auf den Blattspreiten langgestreckte, helle, vernarbte Frassstellen und unregelmässig geformte Löcher sichtbar. Durch Fritfliegenlarvenbefall werden auch Pilzinfektionen begünstigt. Bei stärkerem Befall wird im Mais mit einem Ertragsverlust an Kornmasse von etwa 10 % gerechnet (Hoffmann & Schmutterer 1983).

Strategien in der Praxis – Maishybriden und Inzuchtlinien mit rascher Jugendentwicklung leiden weniger unter Fritfliegenbefall. Eine optimale Saatbettbereitung wirkt vorbeugend gegen Fritfliegenbefall. Fritfliegen können durch mit der Saat ausgebrachte Insektizidgranulate direkt bekämpft werden. Ein vorbeugender Schutz mit

²⁶ *Cochliobolus victoriae*, *Trichometasphaerica turcica* oder *Alternaria sp.*

²⁷ Appressorien sind Haftorgane, die beim Auftreffen auf die Kutikula der Pflanzen durch Anschwellungen und Verzweigungen der Pilzhyphen entstehen.

Pestiziden ist jedoch aus ökologischen Gründen nicht sinnvoll und wird in integrierten Landbausystemen abgelehnt (Häni *et al.* 1988; Hoffmann & Schmutterer 1983).

Forschung Gentechnik – Bisher sind keine gentechnischen Ansätze bekannt.

Literatur

- BBA (1998): Datenbank. (<http://www.BBA.de>)
- Ben Yakir D., Efron D., Chen M. & Glazer I. (1998): Evaluation of entomopathogenic nematodes for biocontrol of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, on sweet corn in Israel. *Phytoparasitica*, 26 (2), 101-108.
- Bigler F., Ammon H.U., Högger C., Jäggi W., Schubiger F.X., Waldburger M., Walther U., Weisskopf P. & Fried P.M. (1995a): Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993 - Ökologie und Ökonomie in den Verfahren - eine Bilanz. *AgrarForschung*, 2 (9), 389-392.
- Bigler F. & Bosshart S. (1992): The European corn borer in Switzerland - distribution and damage in 1991. *Landwirtschaft Schweiz*, 5 (6), 287-292.
- Bigler F., Waldburger M. & Ammon H.-U. (1995b): Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993 - Die Verfahren im Vergleich. *Agrarforschung*, 2 (9), 353-356.
- Bigler F., Waldburger M. & Frei G. (1995c): Vier Maisanbauverfahren 1990 bis 1993 - Krankheiten und Schädlinge. *AgrarForschung*, 2 (9), 380-382.
- Billig (1998): Wirbel in der EU. Gen-ethischer Informationsdienst (GID) 130, 23-25.
- Bing L.A. & Lewis L.C. (1991): Suppression of *Ostrinia nubilalis* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae) by endophytic *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. *Environmental Entomology*, 20 (4), 1207-1211.
- Botelho G.R., Guimaraes V., Bonis M.D., Fonseca M.E.F., Hagler A.N., Hagler L.C.M. & de Bonis M. (1998): Ecology of a plant growth-promoting strain of *Pseudomonas fluorescens* colonizing the maize endorhizosphere in tropical soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 14 (4), 499-504.
- Cantone F.A. & Dunkle L.D. (1990a): Involvement of an inhibitory compound in induced resistance of maize to *Helminthosporium carbonum*. *Phytopathology*, 80 (11), 1225-1230.
- Cantone F.A. & Dunkle L.D. (1990b): Resistance in susceptible maize to *Helminthosporium carbonum* race 1 induced by prior inoculation with race 2. *Phytopathology*, 80 (11), 1221-1224.
- Caroli L., Glazer I. & Gaugler R. (1996): Entomopathogenic nematode infectivity assay: comparison of penetration rate into different hosts. *Biocontrol Science and Technology*, 6 (2), 227-233.
- Dyer L.E. & Landis D.A. (1997): Influence of noncrop habitats on the distribution of *Eriborus terebrans* (Hymenoptera: Ichneumonidae) in cornfields. *Environmental Entomology*, 26 (4), 924-932.
- Eckelkamp C., Jäger M., Weber B. (1997a): Antibiotikaresistenzgene in transgenen Pflanzen, insbesondere Ampicillin-Resistenz in Bt-Mais. Öko-Institut e.V., Freiburg.
- Eckelkamp C., Jäger M., Tappeser B. (1997b): Verbreitung und Etablierung rekombinanter DNA in der Umwelt. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamt Berlin. Öko-Institut e.V., Freiburg.
- Eculica J.F., Becvar S., Mracek Z. & Kindlmann P. (1997): Laboratory evaluation of control of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hb.) (Lep., Pyralidae) by nematodes of the genus *Steinernema* (Nematoda, Steinernematidae) at low temperature. *Journal of Applied Entomology*, 121 (7), 407-409.
- EPA (1998): The Environmental Protection Agency's white paper on Bt plant-pesticide resistance management (January 14, 1998): US Environmental Protection Agency Washington DC.
- FAW & BUWAL (Hrsg.) (1998): Pflanzenbehandlungsmittel Verzeichnis 1998. Bern, 328 S.
- FiBL (1997): Merkblatt Mais. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, CH-Frick.
- FiBL (1999): Hilfsstoffliste. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, CH-Frick.
- Flanders K.L., Mask P.L. (1997): Update on Bt corn in Alabama. Alabama Cooperative Extension System: <http://www.acesag.auburn.edu/department/grain/tubtca.html>
- Franck-Oberaspach S.L., Keller B. (1996): Produktsicherheit von krankheits- und schädlingsresistenten Nutzpflanzen: Toxikologie, allergenes Potential, Sekundäreffekte und Markergene. In: Schulte E., Käppeli O. (Hrsg.). Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft? Band I, Materialien. Eine Publikation des Schwerpunktprogramms Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern.
- GIBiP (1998): <http://www.gibip.org>
- GRAIN (1998): Patenting, piracy and perverted promises. Patenting life: the last assault on the commons. GRAIN, Girona, Spain.
- Häni F., Popow G., Reinhard H., Schwarz A., Tanner K. & Vorlet M. (1988): Pflanzenschutz im Integrierten Ackerbau. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale Zollikofen, 335 S.
- Hebbar K.P., Martel M.H. & Heulin T. (1998): Suppression of pre- and postemergence damping-off in corn by *Burkholderia cepacia*. *European Journal of Plant Pathology*, 104 (1), 29-36.
- Hilbeck A., Baumgartner M., Fried P.M., Bigler F. (1998a): Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis*-corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology*, 27, 480-487.
- Hilbeck A., Moar W.J., Pusztai-Carey M., Filippini A., Bigler F. (1998b): Toxicity of the *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin on the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) using diet unincorporated bioassays. *Environmental Entomology*, 27, 1255-1263.
- Hoffmann G.M. & Schmutterer H. (1983): Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Ulmer, Stuttgart.

- James C. (1998): Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1998. ISAAA Briefs No. 8 (The International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications); ISAAA: Ithaca NY.
- Kessmann H., Staub T., Ligon J., Oostendorp M. & Ryals J. (1994): Activation of systemic acquired disease resistance in plants. *Eur J Plant Pathology*, 100 (6), 359-369.
- Klöpffer W., Renner I., Eckelkamp C., Tappeser B., Dietrich R. (1999): Life Cycle Assessment gentechnisch veränderter Produkte als Basis für eine umfassende Beurteilung möglicher Umweltauswirkungen. Umweltbundesamt Wien, in press.
- Koechlin, F. (Hrsg.) (1998): Das patentierte Leben. Rotpunktverlag, Zürich.
- Leinhos G.M.E. & Buchenauer H. (1992): Inhibition of rust diseases of cereals by metabolic products of *Verticillium chlamyosporium*. *Journal of Phytopathology*, 136 (3), 177-193.
- Lewis L.C., Berry E.C., Obrycki J.J. & Bing L.A. (1995): Aptness of insecticides (*Bacillus thuringiensis* and carbofuran) with endophytic *Beauveria bassiana*, in suppressing larval populations of the European corn borer. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 57 (1), 27-34.
- Losey J.E., Rayor L.S. & Carter M.E. (1999): Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 399, 214.
- Mao W., Lumsden R.D., Lewis J.A. & Hebban P.K. (1998): Seed treatment using pre-infiltration and biocontrol agents to reduce damping-off of corn caused by species of *Pythium* and *Fusarium*. *Plant Disease*, 82 (3), 294-299.
- Mohamed S. & Caunter I.G. (1995): Isolation and characterization of a *Pseudomonas fluorescens* strain suppressive to *Bipolaris maydis*. *Journal of Phytopathology*, 143 (2), 111-114.
- Munkvold G.P., Hellmich R.L., Rice L.G. (1999): Comparison of fumosin concentrations in kernels of transgenic BT maize hybrids and nontransgenic hybrids. *Plant Disease*, 83, 130-138.
- Munkvold G.P., Hellmich R.L., Showers W.B. (1997): Reduced fusarium ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance. *Phytopathology*, 87, 1071-1077.
- Neuroth B. (1997): Kompendium der für Freisetzen relevanten Pflanzen. UBA Texte 62/97, Umweltbundesamt Berlin, S. 206-235.
- Oerke E.-C., Dehne H.-W., Schönbeck F. & Weber A. (1994): Crop Production and Crop Protection. Elsevier, Amsterdam, 808 S.
- Owen M. (1998): North American Developments in herbicide tolerant crops. ISU Weed Science Online Nov. 1998 (<http://www.weeds.iastate.edu/weednews/brighton.htm>)
- Palm C.J., Schaller D.L., Donegan K.K., Seidler R.J. (1996): Persistence in soil of transgenic plant produced *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* -endotoxin. *Can. J. Microbiol.*, 42, 1258-1262.
- Ragab M.M.M. (1994): Antagonism between epiphytic microorganisms and *Ustilago maydis* causing common smut of maize. *Egyptian Journal of Phytopathology*, 22 (1), 17-37.
- Raps A., Hilbeck A., Bigler F., Fried P. & Messmer M. (1998): Konzept und praktische Lösungsansätze zur anbaubegleitenden Forschung beim Einsatz transgener Kulturarten. Eine Publikation der Fachstelle Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des Schwerpunktprogramms Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds (BATS), Basel.
- Reuveni R., Agapov V. & Reuveni M. (1994): Foliar spray of phosphates induces growth increase and systemic resistance to *Puccinia sorghi* in maize. *Plant Pathology*, 43 (2), 245-250.
- Reuveni R., Reuveni M. & Agapov V. (1996): Foliar sprays of NPK fertilizers induce systemic protection against *Puccinia sorghi* and *Exserohilum turcicum* and growth response in maize. *European Journal of Plant Pathology*, 102 (4), 339-348.
- RKI (1999): Produkte für die ein Inverkehrbringen in der Europäischen Union (EU) gemäß Richtlinie 90/220/EWG beantragt oder genehmigt wurde. Stand 30.6.1999. <http://www.rki.de/GENTEC/INVERKEHR/INVKLIST.htm>
- RKI (1999a): SNIF Notification B/NL/96/13. <http://www.rki.de>
- RKI (1999b): Auf Antibiotikaresistenzmarker in gentechnisch veränderten Pflanzen sollte zukünftig verzichtet werden. Pressemitteilung des deutschen Robert Koch-Instituts vom 26.2.1999.
- SBV (1997): Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung. 74. Jahreshaft 1997. Schweizerischer Bauernverband, Brugg.
- Soil Association (1999): Government advice on genetic contamination challenged by new independent report. Press release 2 March 1999. www.soilassociation.org
- Sukopp U. & Sukopp H. (1993): Das Modell der Einführung und Einbürgerung nicht einheimischer Arten. *GAIA*, 2, 267-288.
- Tabashnik B.E., Liu Y.-B., Finson N., Masson L. & Heckel D.G. (1997): One gene in diamondback moth confers resistance to four *Bacillus thuringiensis*. *PNAS*, 94, 1640-1644.
- Transgen (1998): <http://www.transgen.de>
- Traynor P. (1998): Enzymatic detoxification of mycotoxins in transgenic maize. ISB News Report, March 1998, <http://nbiap.biochem.vt.edu/news/1998/news98.mar.html>
- Uknes S., Vernooij B., Morris S., Chandler D., Steiner H.Y., Specker N., Hunt M., Neuenschwander U., Lawton K., Starrett M., Friedrich L., Weymann K., Negrotto D., Grolach J., Lanahan M., Salmeron J., Ward E., Kessmann H. & Ryals J. (1996): Reduction of risk for growers: Methods for the development of disease-resistant crops. *New Phytol*, 133 (1), 3-10.
- Uknes S., Vernooij B., Williams S., Chandler D., Lawton K., Delaney T., Friedrich L., Weymann K., Negrotto D., Gaffney T., Gutrella M., Kessmann H., Alexander D., Ward E. & Ryals J. (1995): Systemic acquired resistance. *Hortscience*, 30 (5), 962-963.
- Union of Concerned Scientists (1998): What's coming to the market? Gene Exchange, Fall/Winter, 1998, 9-11.
- USDA Aphis (1999): <http://www.aphis.usda.gov/biotech/>
- Zscheischler J., Estler M., Gross F., Burgstaller F., Neumann H. & Geissler B. (1984): Handbuch Mais. Anbau - Verwertung - Fütterung. DLG-Verlag, München, 253 S.

Exkurs: Insektenresistenz durch Bt-Gene

Toxine oder Sporenpräparate des Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis* (Bt) werden seit langem erfolgreich als biologisches Schädlingsbekämpfungsmittel in verschiedenen Pflanzenkulturen angewendet.²⁸ Es gibt unterschiedliche Bt-Stämme, deren Toxinvarianten spezifisch gegen Käfer (Coleopteren), Schmetterlinge (Lepidopteren) und Mücken (Dipteren) wirken. Heute ist die Klonierung von Bt-Toxinen die häufigste gentechnische Methode, um Insektenresistenzen zu erzeugen. In den USA sind verschiedene Bt-Mais-, Kartoffel- und Baumwollsorten zum Anbau und zur Vermarktung zugelassen. Bereits 1996 waren weltweit 432 Patente für Bt beantragt oder bewilligt (GRAIN 1998). In Europa wurden bisher fünf Anträge für Anbau und Vermarktung von Bt-Mais und ein Antrag auf Vermarktungszulassung von transgener Bt-Baumwolle gestellt (RKI 1999).²⁹ In der Schweiz ist der Bt-176 Mais von Novartis als Lebens- und Futtermittel zugelassen.

Bt-Pflanzen sollen dazu beitragen, den Einsatz von chemischen Insektiziden in der Landwirtschaft zu reduzieren. Bisher scheint sich diese Hoffnung allerdings nicht zu bestätigen. Anbaudaten aus den USA zeigen, dass in den dort angebauten Bt-Mais und Bt-Baumwollkulturen bisher keine geringeren Gesamtinsektizidmengen aufgewendet wurden (ERS 1999, Rissler 1999, siehe auch Seite 99). Ausserdem stellt sich die Frage, wie lange die auf Bt-Toxin beruhenden Resistenzen in transgenen Pflanzen bestehen werden. Bisher sind bei den mit biologischen Bt-Präparaten behandelten Insekten kaum Resistenzen aufgetreten, weil die Bt-Präparate mehrere Toxinvarianten enthalten, die aufgrund ihrer UV-Labilität relativ kurzlebig sind. Im Unterschied dazu wird das Bt-Toxin in den transgenen Bt-Pflanzen über einen langen Zeitraum exprimiert. Der Selektionsdruck und das Potential für Resistenzen ist unter diesen Umständen sehr viel höher als bei den biologischen Bt-Sporenpräparaten (Bernhardt *et al.* 1991). In den USA wurde daher beschlossen, Resistenzmanagementpläne zu entwickeln, um die Resistenzentwicklung möglichst lange zu verzögern (EPA 1998). In Europa sind bisher nur zwei Bt-Maislinien prinzipiell zum Anbau zugelassen worden.³⁰ Auflagen für ein Resistenzmanagement gibt es dabei nicht, entsprechende Pläne werden jetzt aber in einer von der EU-Kommission eingerichteten Arbeitsgruppe diskutiert. Wichtige Punkte bei der Ausarbeitung dieser Strategien sind, dass in allen Pflanzenteilen hohe Bt-Konzentrationen gebildet werden, um möglichst alle Schaderreger abzutöten und dass Refugien mit nicht-transgenen Bt-Pflanzen bereitgehalten werden, auf denen sich nichtresistente Schaderreger vermehren können. Es können bisher keine gesicherten Aussagen gemacht werden, ob die in den USA beschlossenen Massnahmen tatsächlich ausreichen, um eine Resistenzentwicklung sehr lange zu verzögern (Mellon & Rissler 1998). So ist bekannt, dass manche Bt-Pflanzen (z.B. Bt-176 Mais) keine gleichmässig hohen Bt-Konzentrationen exprimieren. Ausserdem weisen neue Untersuchungen von Huang *et al.* (1999) darauf hin, dass es Maiszünslerpopulationen geben kann, die ihre Resistenz dominant weitervererben. Alle jetzt entwickelten Konzepte zum Resistenzmanagement gehen davon aus, die Bt-Resistenz rezessiv weitergegeben wird. Gibt es hingegen dominante Schaderregerpopulationen würde das jetzt beschlossene Refugienkonzept die Weiterverbreitung von Resistenzen rasant beschleunigen.³¹ Die Folgen einer Resistenzentwicklung betreffen nicht nur transgene Bt-Pflanzen. Entwickeln die betroffenen Schaderreger Resistenzen gegen Bt-Toxine werden auch die konventionellen Bt-Präparate und damit die wirksamsten biologischen Schädlingsbekämpfungsmittel unwirksam.

Ein weiterer Aspekt bei der Bewertung von transgenen Bt-Pflanzen sind die möglichen Effekte auf Nichtzielorganismen. Die natürlichen Bt-Toxine werden als Sporenpräparate gesprüht und wirken sehr spezifisch, da sie als Protoxine vorliegen, die im Insektdarm gespalten werden müssen, um aktiviert zu werden. Durch den Anbau von Bt-Mais ändert sich diese komplexe Wechselwirkung. Im Vergleich zum konventionellen Bt-Toxin wird eine verkürzte, weitgehend aktivierte Variante in allen Pflanzenteilen exprimiert. Durch die veränderte Applikation und die weitgehende Aktivierung des Bt-Toxins können Organismen geschädigt werden, die bisher von der toxischen Wirkung nicht betroffen waren. Wird das Bt-Toxin im Wurzelbereich exprimiert, könnten z.B. Insekten, die im Boden leben, geschädigt werden. In hoher Konzentration (LD_{50} 250 mg Blattprotein/kg Boden) kann das CryIAb Toxin aus Bt-Mais toxisch auf eine Springschwanzart (*Folsomia candida*) wirken. Die EPA (1995) nimmt zwar an, dass die durch Bt-Mais eingetragenen Bt-Toxinmengen nicht ausreichen, um diese Konzentrationen im Boden anzureichern. Allerdings können Bt-Toxine an Tonminerale und bestimmte Bodenfraktionen binden und werden dadurch vor mikrobiellen Abbau geschützt sein. Dies führt zu einer erhöhten Persistenz und einer Akkumulation

²⁸ In den USA verwenden ca. 50% aller biologisch wirtschaftenden Betriebe Bt-Präparate zur Schädlingsbekämpfung (Gene Exchange 1999; in der Schweiz werden Bt-Präparate von Biobauern praktisch auf 100 % der Betriebe bei den Spezialkulturen sowie ebenfalls häufig im Maisanbau angewendet.

²⁹ In der EU wurde für folgende Bt-Mais Linien die Zulassung beantragt bzw. bereits genehmigt (RKI 1999): Zugelassen sind die Linien Bt176 (Novartis) und MON810 (Monsanto). Zum Import, Lagerung, Verarbeitung, nicht aber zum Anbau zugelassen ist Bt11 Mais (Northrup, Novartis). Beantragt wurde die Vermarktungszulassung für die Maislinien MON 809 (Pioneer) und MON 810 x T25 (Pioneer, Bt und Phosphinotricintolerant).

³⁰ Ein grossflächiger Anbau dieser Maissorten findet bislang nicht statt, da bisher in keinem EU-Land eine Sortenzulassung erfolgt ist.

³¹ In den Refugien soll keine Maiszünslerbekämpfung vorgenommen werden; es herrscht somit kein Selektionsdruck auf die Entwicklung von Bt-Resistenzen. Diese Refugien sollen sicherstellen, dass sich die seltenen resistenten Maiszünslerindividuen aus dem Bt-Mais mit nicht-resistenten Individuen aus den Refugien paaren. Wird die Resistenz rezessiv weitergegeben, könnte diese Strategie ein Weg sein, die Resistenzentwicklung zu verzögern, da sich dann zwei resistente Maiszünslerindividuen paaren müssen, um eine resistente Population zu gründen. Wird die Resistenz allerdings dominant weitergegeben, wird sie sich auch dann phänotypisch ausprägen, wenn nur einer der Paarungspartner resistent ist.

dieser Toxine im Boden. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass die Toxizität dieser Toxine auch bei der Bindung bestehen bleibt und unter Umständen sogar erhöht wird (Jülich & Tappeser 1997)³².

Untersuchungsergebnisse der eidgenössischen Forschungsanstalt Zürich/Reckenholz (FAL) weisen z.B. darauf hin, dass Bt-Mais auch Nützlinge schädigen könnte. In Laborversuchen starben Florfliegenlarven nach der Verfütterung von Maiszünslern, die durch Bt-Mais vergiftet worden waren. Besonders überraschend war, dass die Florfliegenlarven auch nach Fütterung des afrikanischen Baumwollwurms eingingen, wenn dieser zuvor Bt-Mais gefressen hatte, obwohl der Baumwollwurm durch das Bt-Toxin nicht vergiftet wird (Hilbeck *et al.* 1998 a,b). Diese Ergebnisse zeigen, dass nicht nur mit direkten Auswirkungen der Bt-Maispflanzen gerechnet werden muss, sondern auch mit Effekten, die einzelne Glieder der Nahrungskette überspringen. Neuere Studien aus den USA weisen darauf hin, dass durch eine veränderte Bt-Exposition Schmetterlingslarven geschädigt werden können. Dort wurde festgestellt, dass Bt-Toxin-haltiger Maispollen, der auf den Blättern spezifischer Wirtspflanzen verstäubt war, die Larven des Monarchfalters schädigen kann (Hansen & Obricki 1999; Losey *et al.* 1999). Dieser Befund war insofern überraschend, als bisher angenommen wurde, dass nur Schmetterlingslarven wie der Maiszünsler geschädigt werden können, die direkt an den transgenen Bt-Maispflanzen fressen. Die im Labor entdeckten Effekte sind aber ein eindeutiger Hinweis darauf, dass mit unerwarteten Nebenwirkungen beim Anbau von Bt-Pflanzen gerechnet werden muss.

Literatur

- Bernhardt M., Thomas F., Tappeser B. (1991): Gentechnik und biologischer Pflanzenschutz, Analyse und Bewertung gentechnischer Ansätze in der biologischen Schädlingsbekämpfung. Werkstattreihe Nr. 73, Öko-Institut e.V. Freiburg.
- EPA (1995): Pesticide Fact Sheet. CryIA(b) *Bacillus thuringiensis* cry IA (b) delta-endotoxin and the genetic material necessary for its production (plasmid vector pCIB4431) in corn. US EPA, Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances. 10.8.1995.
- EPA (1998): The Environmental Protection Agency's white paper on Bt plant-pesticide resistance management (January 14, 1998). US Environmental Protection Agency Washington DC.
- ERS (1999): <http://www.econ.ag.gov/new-at-ers>.
- Gene Exchange (1999): Bt is number one in organic survey. Gene Exchange April 1999; <http://www.ucusa.org>.
- GRAIN (1998): Patenting, Piracy and perverted promises. GRAIN, Girona, Spain.
- Hansen L., Obrycki J. (1999): Non-target effect of Bt pollen on the Monarch butterfly (Lepidoptera: Danaidae) <http://www.ent.iastate.edu/entsoc/ncb99/prog/abs/D81.html>.
- Hilbeck A., Baumgartner M., Fried P.M., Bigler F. (1998a): Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis*-corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology*, 27, 480-487.
- Hilbeck A., Moar W.J., Pusztai-Carey M., Filippini A., Bigler F. (1998b): Toxicity of the *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin on the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) using diet incorporated bioassays. *Environmental Entomology*, 27, 1255-1263.
- Huang F., Buschman L.L., Higgins R.A., McGaughey W.H. (1999): Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin (Dipel ES) in the European Corn Borer. *Science*, 284, 965-967.
- Jülich R., Tappeser B. (1997): Naturwissenschaftliche und juristische Argumente für eine Genehmigungsbedürftigkeit des Inverkehrbringens von gentechnisch verändertem Mais nach Pflanzenschutzrecht. Öko-Institut e.V., Freiburg.
- Losey J.E., Rayer L.S., Carter M.E. (1999): Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 399, 214
- Mellon M., Rissler J. (eds.) (1998): Now or Never. Serious new plans to save a natural pest control. Union of Concerned Scientists Cambridge, Massachusetts.
- Palm C.J., Schaller D.L., Donegan K.K., Seidler R.J. (1996): Persistence in soil of transgenic plant produced *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* -endotoxin. *Can. J. Microbiol.*, 42, 1258-1262.
- Rissler J. (1999): Analysis of USDA data on benefits of GE crops.
- RKI (1999): Produkte für die ein Inverkehrbringen in der Europäischen Union (EU) gemäss Richtlinie 90/220/EWG beantragt oder genehmigt wurde. Stand 30.6.1999. <http://www.rki.de/GENTEC/INVERKEHR/INVKLIST.htm>.

³² Gereinigte Toxine aus *B. thuringiensis* subsp. *kurstaki* blieben z.B. im Biosassay über den gesamten Untersuchungszeitraum von 7,5 Monaten aktiv. Gereinigtes Bt-Toxin und rekombinantes CryIA(b) aus transgenen Baumwollpflanzen bleiben laut Ergebnissen von Immunabsorptionsmessungen über 140 Tage stabil (dann wurde der Versuch abgebrochen; Palm *et al.* 1996).

4 Rapsanbau in der Schweiz

4.1 Der nachhaltige Rapsanbau: ein Idealszenario

Raps (*Brassica napus* Var. *napus*) gehört zur Gattung *Brassica*, in der sich auch viele andere Kulturpflanzen wie Rübsen, Kohlrabi, Weisskohl, Blumenkohl oder Brokkoli finden. Raps ist eine Ölpflanze mit 40 bis 42 % Öl im Korn, er wird vorwiegend als überwinternde Ackerfrucht bis auf etwa 800 m.ü.M. angebaut. Ein tiefgründiger Boden und gute Wasserversorgung sind günstige Voraussetzungen für den Rapsanbau, der Standort sollte eher kühle Sommertemperaturen aufweisen (Geisler 1988). Im nachhaltigen Rapsanbau wird auf den Einsatz von Pestiziden und Herbiziden verzichtet, Schädlinge werden mit biologischen Methoden reguliert. Auf die Verwendung von mit Fungiziden gebeiztem Saatgut wird verzichtet.

4.2 Der real existierende Rapsanbau (*Brassica napus* var. *napus*)

Die Spannweite von nachhaltigen bis zu unökologischen Verfahren ist im Rapsanbau weniger gross als in anderen Kulturen wie Mais oder Weizen. Raps wird in der Regel in weiten Fruchtfolgen angebaut. Jedoch wird biologischer Raps in der Schweiz heute nur auf etwa 12 ha (1998) produziert¹ (Dierauer 1999). Die gesamte Rapsanbaufläche lag 1997 bei 14'700 ha (SBV 1997). Raps kann im Rahmen der integrierten Produktion als Extensio-Raps² angebaut werden. Dabei wird auf Wachstumsregulatoren, Fungizide und Insektizide verzichtet. Krankheiten und Schädlinge werden durch die Wahl toleranter und frühblühender Sorten und durch eine geregelte Fruchtfolge bekämpft. Der Anbau von Extensio-Raps entspricht den Forderungen einer nachhaltigen Landwirtschaft recht gut.

4.3 Die Schlüsselprobleme des Rapsanbaus

Der Raps ist vor allem durch Schädlinge bedroht. Die wichtigsten sind der Fröhschädling Rapserrdfloh, sowie der Rapsglanzkäfer, der Rapsstengelrüssler und die Kohlschotengallmücke. Der Rapsanbau kann in einzelnen Jahren auch durch Pilzkrankheiten wie die Wurzelhals- und Stengelfäule oder den Rapskrebs bedeutende Ertragsausfälle erfahren.

4.4 Die Lösungsstrategien

Prävention – Laut der landwirtschaftlichen Beratungszentrale Lindau (LBL 1999) sollte der Anbau von Raps und anderen Kreuzblütlern auf dem gleichen Feld höchstens alle vier Jahre stattfinden, um bodenbürtigen Pilzkrankheiten auf nachhaltige Weise vorzubeugen. Auch Schädlinge werden durch einen längeren Unterbruch im Anbau ihrer Wirtspflanzen in ihrer Ausbreitung gehemmt. Durch weitere geeignete Kulturmassnahmen wie eine sorgfältige Saatbettvorbereitung³ und eine ausgewogene Düngung werden Ertragsausfälle vermieden. In Raps werden die natürlichen Feinde der Schaderreger durch die Anlage von Krautstreifen und durch das Belassen einer Restverunkrautung gefördert, zum Beispiel prädatorsche Laufkäfer, die sich von Schneckeneiern ernähren (Habitat management). Die Einsaat von Rübsen⁴ im Randstreifen dient zum Abfangen der gefürchteten Rapsglanzkäfer.

Krankheits- und Schädlingstoleranz – Neben dem Samenertrag werden neue Rapsorten zur Verbesserung der Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge gezüchtet. Zur Zeit stehen auf der schweizerischen Rapsortenliste sieben Sorten, wovon "Express" und "Capitol" gute Toleranzeigenschaften gegen Wurzelhals- und Stengelfäule sowie gegen den Rapskrebs aufweisen (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) 1998).

Schaderregerbekämpfung – Konventionelles Saatgut wird mit **Fungiziden** gegen den Befall mit samen- und bodenbürtigen Krankheiten gebeizt. Für den Rapsanbau sind keine mikrobiellen **Antagonisten** oder **Parasitoiden** als biologische Schädlingsregulierungsmittel zugelassen und kommerzialisiert.

¹ Raps kann wegen seiner hohen Schädlingsanfälligkeit kaum biologisch angebaut werden, die Ertragsausfälle in erster Linie durch den Rapsglanzkäfer sind in der Regel zu gross. Der biologische Anbau von Raps lohnt sich zur Zeit nicht, obwohl Raps als Kulturpflanze für biologische Fruchtfolgen sehr wertvoll wäre, da er tief wurzelt und den Boden lockert.

² Heute IP-Suisse Zertifikat

³ Das Saatbett besteht aus einer dichteren Bodenschicht, auf deren Oberfläche das Saatgut abgelegt wird und die der kontinuierlichen Wasserversorgung dient und einer drüberliegenden Lockerungsschicht, die das Saatgut bedeckt und es vor Austrocknung und Vogel- frass schützt. Der Übergang soll kontinuierlich sein. Das Saatbett sollte auf der ganzen Feldfläche gleichmässig ausgebildet sein (Baeumer 1978).

⁴ Rübsen blühen früher als Raps und locken so die einfliegenden Rapsglanzkäfer an, so kann der Befall auf dem Raps reduziert werden. Der Streifen muss etwa 20 % der Feldfläche betragen. Es sollte eine möglichst früh blühende Rübsensorte verwendet werden.

Tabelle 11: Bedeutung und Verbreitung von Schaderregern im Rapsanbau

Problem/Krankheit	Schaderreger	Bedeutung	Verbreitung
Rapserdflöhen	<i>Psylliodes chrysocephalus</i>	***	regional ^a
Rapsglanzkäfer	<i>Meligethes aeneus</i>	***	regional ^b
Rapsstengelrüssler	<i>Ceuthorrhynchus napi</i>	***	regional ^c
Kohlschotengallmücke	<i>Dasineura brassicae</i>	***	regional ^d
Wurzelhals- und Stengelfäule	<i>Leptosphaeria maculans (Phoma lingam)</i>	**	weltweit
Rapskrebs	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	**	weltweit
Kohlhernie	<i>Plasmodiophora brassicae</i>	*	weltweit
Falscher Mehltau	<i>Peronospora parasitica</i>	*	weltweit
Grausschimmel	<i>Botrytis cinerea</i>	*	weltweit
Rapsschwärze	<i>Alternaria brassicae</i> , <i>A. brassicicola</i>	*	weltweit
Kohlzystennematode	<i>Heterodera cruciferae</i>	*	regional ^e
Gefleckter Kohltriebrüssler	<i>Ceuthorrhynchus pallidactylus</i>	*	regional ^f
Kohlschotenrüssler	<i>Ceuthorrhynchus assimilis</i>	*	regional ^g
Schwarzer Triebrüssler	<i>Ceuthorrhynchus picitarsis</i>	*	lokal ^h
Schnecken	<i>Deroceras spp.</i> , <i>Arion hortensis</i>	**	regional ⁱ

a Europa, Vorderasien; b Europa, Asien; c Europa, N-Afrika; d Europa; e Europa, Asien, Australien, USA; f Europa, N-Afrika, N-Amerika; g Europa, USA; h z.B. in CH: Grosses Moos, Genf, Wallis; i N-Hemisphäre

Mit "Bedeutung" sind die volkswirtschaftlichen Kosten gemeint, die durch das Problem entstehen; die Schaderreger bis zum Doppelpunkt sind am problematischsten.

4.5 Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau

Biologischer Pflanzenschutz – Im Raps bieten vor allem tierische Schädlinge Anlass zu Forschungsanstrengungen. Deshalb ist im Fall von Raps die Forschung nach Parasitoiden und entomophagen und -pathogenen Mikroorganismen wichtig. Verschiedene Vertreter der Schlupfwespen (*Hymenoptera*) aber auch Nematoden und Protozoen sind wichtige Parasiten der Rapschädlinge. Ein Beispiel sind Schlupfwespen der Gattung *Platygaster*, die die Eier der Kohlschotengallmücke parasitieren (Buchi & Keller 1994). Andere sind auf die Larven der Schaderregern spezialisiert, wie eine weitere Schlupfwespenart *Diospilus capito*, der sich von den Larven des Rapsglanzkäfers ernährt (Buchi 1991). In selteneren Fällen werden auch Parasiten der Adulte beforscht, wie die Protozoe *Nosema meligethi* (Lipa & Hokkanen 1991), ein Antagonist des Rapsglanzkäfers oder der entomopathogene Pilz *Conidiobolus coronatus* (Häni *et al.* 1988).

Züchtung – Das primäre Ziel bei der Rapszüchtung ist die Steigerung des Samenertrags bei gleichzeitig hohem Öl- und Proteingehalt der Samen. Ein weiteres wichtiges Zuchtziel vor allem in den nördlichen Bereichen des Anbaubereichs des Rapses ist die Verbesserung seines Überwinterungsvermögens, weil dort keine ähnlich leistungsfähige Ölpflanze verfügbar ist. Es werden also Rapsorten gezüchtet, die vor dem Winter kräftige Pflanzen hervorbringen. Resistenzzüchtung wird vor allem zur Bekämpfung der beiden wichtigen Pilzkrankheiten *Leptosphaeria maculans* und *Sclerotinia sclerotiorum* betrieben. Dank ihres weiten Wirtsspektrums können diese Krankheitserreger jedoch beliebig ausweichen, und eine erfolgreiche Resistenzzüchtung erweist sich als sehr schwierig. Gegen den Schädlingsbefall sind durch interspezifische Kreuzungen Erfolge denkbar; der Rapsverwandte *Brassica juncea* wird beispielsweise nur sehr unbedeutend von der Kohlschotenmücke befallen. Der Gehalt an Glucosinolaten⁵ in den Blättern des Rapses hat laut Forschungsberichten auch einen Einfluss auf die Schädlings- und Krankheitsanfälligkeit des Rapses. Weitere Zuchtziele sind die Qualität des Öls⁶ und des Rapsschrotes (Hoffmann *et al.* 1985).

Resistenzinduktion, Pflanzenkommunikation – Im Bereich der Resistenzinduktion liegen spezifisch für Raps relativ wenig Forschungsergebnisse vor. Rasmussen *et al.* (1992) konnten jedoch nachweisen, dass Rapsorten mit erhöhten Resistenzeigenschaften gegen *L. maculans* nach der Infektion mit dem Pathogen grössere

⁵ Grosse Mengen an Glucosinolaten sind problematisch bei der Verwendung der Pressrückstände der Ölgewinnung als Tierfutter, da toxische Wirkungen auftreten können. Höhere Glucosinolat-Gehalte führen laut Giamoustaris & Mithen (1995) zu stärkerem Befall durch den Rapsglanzkäfer während der Schneckenfrass reduziert wurde.

⁶ Rapsöl wird heute vorwiegend als Speiseöl verwendet oder zu Margarine verarbeitet. Die dazu nötige Qualität konnte nur durch Züchtungserfolge im Bereich der Ölzusammensetzung erreicht werden. Der Anteil an der unerwünschten Erucasäure wurde dabei von einem Anteil von rund 50 % auf nahezu 0 % in neuen Sorten gedrückt.

Mengen einer Chitinase ausschieden als anfälligeren Sorten. Beschädigte Rapspflanzen scheiden laut den Forschungsergebnissen von Alford *et al.* (1995) einen Stoff aus, der einen Larvenparasiten des Schädling Kohlshoengallmücke anzieht (siehe auch Pflanzenkommunikation Seite 117).

Prognosesysteme – Zur Effizienzsteigerung des Fungizideinsatzes gegen die Wurzelhals- und Stengelfäule wurde in Frankreich das Prognosesystem "Phomepi" entwickelt, das Voraussagen über den epidemiologischen Verlauf der Krankheit zulässt. Das zugrundeliegende Modell basiert auf biologischen und klimatischen Daten (siehe auch Seite 69).

4.6 Hauptforschungsgebiete Gentechnik

4.6.1 Status Quo

Mit einem Anteil von 20 % ist Winterraps die Pflanze, die in Europa den zweiten Platz auf der Freisetzungsskala einnimmt. In der EU haben bisher 267 Freisetzungsvorhaben stattgefunden, vor allem in Frankreich, Großbritannien, Deutschland und Belgien (RKI 1999). Einen Überblick über Freisetzungsvorhaben in der EU gibt die Tabelle 12. In der EU sind die Mehrzahl der Freisetzungsvorhaben mit herbizidtoleranten und männlich sterilen Rapslinien erfolgt.

Weltweit wurden 1998 2,4 Mio ha mit transgenem Raps bebaut, davon allein in Kanada 2 Mio. ha (James 1998; Transgen 1999)⁷. Die EU hat bisher Phosphinotricin-tolerante und Phosphinotricin-tolerante plus männlich sterile Rapslinien (PGS/AgrEvo; AgrEvo) zum Anbau zugelassen, die aber bisher nicht kommerziell angebaut werden. Von denselben Firmen wurden weitere Zulassungsanträge gestellt. In den USA und Kanada sind weitere Rapslinien auf dem Markt, die ebenfalls herbizidtolerant, männlich steril und in ihrer Fettsäurezusammensetzung verändert sind (Tabelle 13). Ein Speiseöl aus importiertem gentechnisch verändertem Raps (Herbizidtoleranz, AgrEvo) ist in der EU nach der Novel Food Verordnung zugelassen. Eine Kennzeichnungspflicht für Öle und Fette aus transgenem Raps besteht nicht (Transgen 1999).

Gentechnisch vermittelte Herbizidtoleranz (HT) – ist die Eigenschaft, die bei Raps deutlich dominiert (Tabelle 12, 13). Führend ist dabei die Firma AgrEvo, die in der EU, den USA und Kanada bereits mehrere Zulassungen für den Anbau Phosphinotricin-toleranter Rapslinien erhalten hat.

Männliche Sterilität (MS) – kombiniert mit der Herbizidtoleranz liegt bei den Freisetzungsvorhaben von transgenen Rapspflanzen an zweiter Stelle. Das Verfahren der männlichen Sterilität wird genutzt, um Hybridraps zu erzeugen, der höhere Erträge liefern soll als die elterlichen Sorten⁸.

Produktqualität – Seit 1995 wird in den USA ein von Calgene (heute Monsanto) entwickelter Raps angebaut, der durch die gentechnische Veränderung Laurinsäure bildet. Diese Fettsäure ist normalerweise nicht in Raps, sondern in Kokos- und Palmöl enthalten⁹.

Pilzresistenter Raps – In der EU wurde bisher nur bei 11 Freisetzungsvorhaben das Züchtungsziel Pilzresistenz angegeben.

⁷ Ausgewertet wurde der Anbau in folgenden Ländern: USA, Kanada, Australien, Argentinien, Mexiko, Spanien, Frankreich und Südafrika (James 1998).

⁸ Bei der Hybridzüchtung müssen Rapslinien miteinander gekreuzt werden, die nicht miteinander verwandt sind. Da Raps in hohem Masse selbstfertil ist, war dies bisher schwierig.

⁹ Laurinsäurehaltige Fette werden besonders für die Herstellung von Margarine, Cremefüllungen von Süßwaren oder Schokoladenüberzügen verwendet (Transgen 1999). In Zukunft sollen die teuren Kokos- und Palmöle durch das preiswertere Rapsöl aus transgenen Rapspflanzen ersetzt werden. Ferner sind auch schon stearinsäurehaltige transgene Rapspflanzen freigesetzt worden. Intensiv wird bei Raps auch daran gearbeitet, ihn mit gentechnischen Methoden als nachwachsenden Rohstoff zu optimieren. Prioritäre Ziele dabei sind die Steigerung des Ölsäure- (C18:1) und Erucasäuregehalt, sowie die Entwicklung von kurz- und mittelkettigen Fettsäuren (Dürkopp *et al.* 1999).

Tabelle 12: Freisetzungsanträge für transgenen Raps in der EU: eingeführte Eigenschaften (nach RKI 1999).

Eingeführte Eigenschaft	Anzahl Anträge
Herbizidtoleranz (HT)	112
Herbizidtoleranz, männlich steril (HT, MS)	73
Fettsäuremuster	25
Pilzresistenz	11
Inhaltsstoffe	9
Markierung	3
Insektenresistenz	2
Herbizidtoleranz, männlich steril, Pilzresistenz	2
Herbizidtoleranz, Pilzresistenz	2
Insektenresistenz, Pilzresistenz	1
Herbizidtoleranz, Inhaltsstoffe, Pilzresistenz	1
Männlich steril	1

Insektenresistenter Raps – In Europa gab es erst drei Freisetzungen in Frankreich und Grossbritannien mit insektenresistentem transgenem Raps, bei dem Protease-Inhibitoren kloniert wurde (RKI 1999). Auch in den USA standen von 149 Rapsfreisetzungsanträgen nur 13 in Zusammenhang mit dem Phänotyp Insektenresistenz (USDA, Aphis, 1999). Neben Protease-Inhibitoren wurden dort auch CryIA(C) Toxingene aus dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis* in die transgenen Rapspflanzen eingebracht. Dieses Bt-Toxin richtet sich gegen die Motte *Plutella xylostella*, die in den USA und Kanada zu den Hauptschädlingen gehört.

Tabelle 13: Zulassungen von transgenem Raps (RKI 1998, Union of Concerned Scientists 1998)

Unternehmen * Markenname	eingebrachte Gene	USA	EU	Kanada
AgrEvo / Plant Genetic Systems	MS; HT ¹		1996 ⁴ ; 1997	1995 ⁵
AgrEvo * <i>Liberty Link</i>	HT ¹		1998	1995 ⁵
Monsanto/Calgene * <i>Laurical</i>	veränderte Fettsäure- zusammensetzung	1995 ⁵		
Monsanto * <i>Roundup Ready</i>	HT ²	Antrag ⁵		1995 ⁵ 1997 ⁶
AgrEvo / Plant Genetic Systems	MS	Antrag ⁵		
Pioneer	veränderte Fettsäure- zusammensetzung			1996 ⁵

¹: Phosphinotricin (Liberty Link)

²: Glyphosat (Roundup)

³: Eingeschränkter Zweck (Import, Lagerung, Verarbeitung)

⁴: Eingeschränkter Zweck (Saatguterzeugung erlaubt, nicht für Lebens- und Futtermittelzwecke)

⁵: Sommerraps

⁶: *Brassica rapa*

4.6.2 Potential

Die Hauptanteile bei Freisetzung und Vermarktung transgener Rapspflanzen betreffen Herbizidtoleranz, männliche Sterilität und veränderte Fettsäurezusammensetzung. Zur Lösung der Hauptprobleme des landwirtschaftlichen Rapsanbaus, Schädlings- und Pilzbefall, tragen gentechnische Ansätze bisher nicht bei.

Die männliche Sterilität kann möglicherweise in Zukunft dazu beitragen, ertragreichere Hybridrapssorten herzustellen. Allerdings kann dieser Raps nicht vom Landwirt selber nachgebaut werden, sondern muss jedes Jahr erneut wieder von der Saatgutfirma erworben werden.

Gerade für Raps wird damit zu rechnen sein, dass die Inhaltsstoffe mit gentechnischen Methoden verändert werden. Der bereits in Kanada angebaute "Laurical"-Raps dürfte nur die Spitze des Eisberges sein. Landwirtschaftliche Anbauprobleme werden mit diesen Rapsorten nicht gelöst.

4.6.3 Risiken

Verwilderung - Raps ist eine der transgenen Pflanzen, der ein relativ hohes Potential zur Verwilderung zugesprochen wird (z.B. Mayer *et al.* 1995, Snow & Moran-Palma 1997). So sind Rapssamen bis -20°C winterfest und lange keimfähig. Dies zeigt sich auch darin, dass der Durchwuchs (Ausfallraps) in der Folgekultur beseitigt werden muss und Rapspopulationen seit einigen Jahren häufig ausserhalb von Äckern auf Ruderalstandorten, an Ackerrändern und auch an Verkehrswegen zu beobachten sind (Sebald *et al.* 1990; Torgersen 1996)¹⁰.

Auskreuzung - Raps ist eine in Europa einheimische Pflanze, für die davon ausgegangen werden muss, dass die gentechnisch eingeführten Fremdgene auf benachbarte Rapsfelder, Ruderal- oder Ausfallraps und verwandte Wildpflanzen auskreuzen können.

Lange Zeit wurde die Auskreuzung von Raps auf benachbarte Rapsfelder deutlich unterschätzt. So sind in der Literatur sehr unterschiedliche Daten zur Fremdbefruchtungsrates bei Raps angegeben. In frühen Versuchen mit kleinen Versuchsfeldern wurde ermittelt, dass die Fremdbefruchtungsrates schon nach wenigen Metern drastisch abnimmt (z.B. Scheffler *et al.* 1993). Neuere Untersuchungen von Timmons *et al.* (1995a) zeigen jedoch, dass die Auskreuzungen bei grösseren Versuchsfeldern noch über Entfernungen von mehreren Kilometern nachgewiesen werden können. Die Auskreuzungsrates sind offenbar vom Versuchsdesign abhängig: Mit wachsender Feldgrösse steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Transgene auch über grössere Entfernungen verbreitet werden. Aufgrund dieser Versuchsergebnisse muss davon ausgegangen werden, dass transgene Rapspollen durch Wind oder Insekten verbreitet werden und auch über grosse Distanzen hinweg andere Rapspflanzen sowie Ruderal- bzw. Ausfallrapspopulationen befruchten können (Timmons *et al.* 1995 a,b; Schiemann *et al.* 1997).

Ausserdem belegen die Ergebnisse von Kreuzungsexperimenten, dass ein von Raps ausgehender Genfluss in Wildkrautpopulationen in Europa stattfinden kann. Unter Freilandbedingungen gelang eine Hybridisierung von Raps mit Rübsen (*Brassica rapa*), Sareptasenf (*Brassica juncea*), Schwarzem Senf (*Brassica nigra*), Grausenf (*Hirschfeldia incana*, synonym *Brassica adpressa*), Hederich (*Raphanus raphanistrum*) und Ackersenf (*Sinapis arvensis*) (ausführlich dargestellt in Eckelkamp *et al.* 1997). Die potentiellen Hybridisierungspartner sind im Vergleich zu Raps wahrscheinlich alle in hohem Masse fremdbefruchtet. Diese hohe Fremdbefruchtungsrates erleichtert nach Darmency (1994) die Verbreitung von Trans-Genen aus Raps in die verwandten Beikräuter. Für eine erfolgreiche Kreuzung müssen sich allerdings die Blütezeiten der potentiellen Kreuzungspartner überschneiden. Raps blüht zwischen April und September, wobei die Hauptblüte von Winterraps im April und Mai liegt, bei schlechten Witterungsbedingungen aber auch in den Juni hinein verschoben sein kann (Gerdemann-Knörck und Tegeder, 1997). Ausfall- und Ruderalraps haben keine so synchrone Blüte wie der ausgesäte Winterraps, so dass über den gesamten Zeitraum zwischen April und September blühende Exemplare zu finden sind (Eckelkamp *et al.* 1997).

Raps als Nahrungs- und Futtermittel – Positionseffekte (siehe Seite 93) und ein allergenes Potential können nicht ausgeschlossen werden (siehe Seite 41).

Risiken der Herbizidtoleranz - Die von Industrieseite propagierten Vorteile dieser Technologie, umweltverträglicherer Herbizide und niedrigerer Herbizideinsatz ist in Frage zu stellen. Zudem ist das Problem der Rückstandsproblematik bisher nicht geklärt (siehe Seite 79).¹¹

Männliche Sterilität - Die Firma PGS (jetzt AgrEvo) hat mit dem System der männlichen Sterilität bei Pflanzen ein gentechnisches System entwickelt, um Hybridsaatgut herstellen zu können. Zur Erzeugung des Hybridsaatguts werden zunächst zwei unterschiedliche transgene Elternlinien erzeugt, die entweder das Barnase-

¹⁰ Schlink (1994) fand, dass nach 1,5 Jahren noch bis zu 70% und nach fünf Jahren bis zu 58% der Rapssamen im Boden keimfähig waren. So hohe Überdauerungsrates werden sonst nur von Unkrautsamen erreicht (Mayer *et al.* 1995).

¹¹ Gerade für herbizidtoleranten Raps stellt sich auch das Problem der Verwilderung und Auskreuzung besonders drastisch, da in unseren Breiten eine Reihe von verwandten Wildpflanzen vorhanden sind (s.o.). Raps selber macht schon heute als Durchwuchsraps Probleme auf landwirtschaftlichen Flächen. Da in verschiedenen Untersuchungen mit Liberty-tolerantem Raps keine Selektionsnachteile im Vergleich zu konventionellem Raps festgestellt wurden, muss mit ebensolchen Problemen bei transgenem Raps gerechnet werden (Fredshavn *et al.* 1995). Zudem können gentechnisch veränderte herbizidtolerante Rapspflanzen ihre Transgene auch auf benachbarte Rapspflanzen oder Wildpflanzen/Unkräuter übertragen, die so ebenfalls tolerant gegen die betreffenden Herbizide werden. Herbizidtoleranter Durchwuchsraps und durch die via Auskreuzung tolerant gewordene Ruderalraps- und Wildpflanzenpopulationen stellen die HT-Strategie in Frage, weil solche auf dem Acker unerwünschten HT-Pflanzen durch die entsprechenden Herbizide nicht mehr bekämpfbar sind. Da viele für Europa wichtige Nutzpflanzenarten mit den gleichen Herbizidtoleranzgenen ausgestattet wurden, würden Probleme mit diesen unerwünschten HT-Pflanzen nicht nur Rapskulturen betreffen, sondern auch in einer Vielzahl anderer Ackerkulturen Probleme bereiten. Zudem hätten diese HT-Pflanzen auch einen Selektionsvorteil auf Ackerrandstreifen und anderen Ökosystemen, die durch Wind-Verdriftung mit den ausgebrachten Totalherbiziden belastet werden. In diesen Ökosystemen wäre eine Veränderung der Artenzusammensetzung die Folge, die nicht nur Pflanzenpopulation, sondern würde auch die mit den Pflanzen vergesellschaftete Insektenfauna betreffen (Eckelkamp *et al.* 1997).

oder das Barstar-Gen enthalten.¹² Die männlich sterilen Pflanzen werden dann mit den Restorer Pflanzen gekreuzt. Geerntet werden nur die Samen der männlich sterilen Pflanzen, die dann als Hybridsaatgut vermarktet werden. Die Hybridsamen enthalten die beiden Transgene, Barnase und Barstar, so dass die männliche Sterilität wieder aufgehoben wird. Die Hybridpflanzen sind also voll fertil. Bilden sie Pollen, können die transgenen Eigenschaften auf verwandte Wildpflanzen übertragen werden. Bei einer solchen Auskreuzung ist es sehr wahrscheinlich, dass Barstar und Barnase nicht immer gemeinsam übertragen werden. Es ist daher möglich, dass nur das Gen für die männliche Sterilität übertragen wird. Wildpflanzen, in denen das Barstar-Gen wirksam wird, würden keine bzw. weniger Pollen bilden. Dies kann Auswirkungen auf die Vermehrungsfähigkeit und damit die Fitness der betroffenen Wildpflanzenpopulationen haben. Zusätzlich sind aber auch negative Folgen für Pollen-fressende Insektenarten denkbar.

Insektenresistenz - Der Anbau von insektenresistenten Rapsorten wirft verschiedene Fragen bezüglich der Sicherheit dieser Pflanzen auf. Stewart *et al.* (1997) fanden bei transgenen insektenresistenten Rapspflanzen mit einem Bt-Gen, dass deren Ausbreitungsfähigkeit im Vergleich zu den Elternlinien gesteigert war. Transgene, die Insektenresistenz vermitteln, könnten also das Verwildierungspotential von Raps weiter steigern.

Zur Erhöhung bzw. Erzeugung von Resistenzen gegen Insekten wurden in Europa Protease-Inhibitoren (PI) in Raps eingebracht. Protease-Inhibitoren sind in vielen Pflanzenarten auch natürlicherweise an der Pathogenabwehr beteiligt. In transgenen Pflanzen werden Protease-Inhibitoren aus einer Pflanzenart in eine andere übertragen. Ausserdem sollen sie in relativ hoher Konzentration und über einen langen Zeitraum der Vegetationsperiode in allen Pflanzenteilen exprimiert werden. Dadurch können neue Insektenarten durch Protease-Inhibitoren geschädigt werden. Für die Rapsschädlinge ist dies erwünscht, es gibt aber auch Hinweise auf eine mögliche Schädigung von Nützlingen. Pham-Delegue (1997) fanden, dass die Fütterung von Zuckerlösungen mit gereinigten Protease-Inhibitor-Proteinen die Lebensdauer von Bienen verkürzen und deren Lernverhalten beeinträchtigen kann. Bei weiteren Untersuchungen mit transgenem PI-Raps fanden sie jedoch, dass ein schädlicher Effekt erst bei einer 100-fach höheren PI-Konzentration auftritt als sie in transgenem PI-Raps zu finden ist (Bottino *et al.* 1998). Dennoch sollte in weiteren Langzeitversuchen abgeklärt werden, ob transgener PI-Raps zu sublethalen Beeinträchtigungen führen kann.

Veränderte Fettsäurezusammensetzung - Untersuchungen von Linder & Schmitt (1995) weisen darauf hin, dass gentechnisch veränderte Samenlipide das Verwildierungspotential von Rapspflanzen in manchen Fällen steigern könnte.¹³ Ob Wildtiere durch die veränderte Zusammensetzung geschädigt werden, ist bisher ebenfalls offen.

Werden mit Hilfe von gentechnisch veränderten Rapspflanzen Fette gewonnen, die zuvor aus sogenannten Drittweltländern importiert wurden, sind auch die sozioökonomischen Folgen dieser Substitution zu beachten, da die bisherigen Produzenten ihre Handelsware nicht mehr absetzen können. Dadurch geraten Drittweltländer, die in vielen Fällen nur ein oder wenige Exportprodukte produzieren, wirtschaftlich stark unter Druck. Die Einkommenssituation der Bevölkerung wird sich drastisch verschlechtern, die Ernährungssituation dürfte sich dadurch verschärfen (Korell *et al.* 1997). Unter dem Nachhaltigkeitskriterium "globale Gerechtigkeit" müssten daher Massnahmen eingeleitet werden, damit sie sich selbständig mit Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen versorgen können (Korell *et al.* 1997).

4.7 Bewertung der heutigen Situation und Ausblick

Die Rapsernte ist vor allem durch **Schadinsekten** bedroht. Die wichtigsten sind der **Rapserrdfloh**, der **Rapsglanzkäfer**, der **Rapsstengelrüssler** und die **Kohlschotengallmücke**. Pilzkrankheiten spielen bei Ertragsausfällen im Raps eine eher geringe Rolle.

Ökologische Ansätze: Das Hauptgewicht einer Regulierung der **Schadinsekten Rapserrdfloh, Rapsglanzkäfer, Rapsstengelrüssler** und **Kohlschotengallmücke** besteht in einer weitsichtigen Prävention. Das

¹² Das Verfahren der gentechnischen Erzeugung der männlichen Sterilität beinhaltet zwei Komponenten: Ein sogenanntes Barnase-Gen, das ursprünglich aus dem Bodenbakterium *Bacillus amyloliquefaciens* isoliert wurde, kodiert für ein RNA abbauendes Enzym (RNase). In den transgenen Rapspflanzen steht es unter der Kontrolle einer Steuerungssequenz (Promotor), die dafür sorgt, dass diese RNase nur im männlichen Teil der Blüte (in den Staubbeutel) gebildet wird. Die RNase schaltet das Pollennährgewebe aus und verhindert so die Bildung des Pollens. Die Pflanzen sind männlich steril. Die zweite Komponente des Systems ist ein Gen, das für ein Protein kodiert, welches die Wirkung des Barnase-Gens wieder aufhebt. Dieses "Restorer" Gen wird Barstar genannt und stammt ebenfalls aus *Bacillus amyloliquefaciens* (AgrEvo 1999).

¹³ Bei Freilandversuchen in Georgia mit vergrabenen Rapssamen übertrafen die transgenen Samen mit einem erhöhten Stearinsäuregehalt die Überlebensfähigkeit der Samen nichttransgener Kontrollen. An einem anderen Standort in Kalifornien wurde dagegen kein Unterschied zwischen den transgenen und nichttransgenen Samen gefunden. In Gewächshausversuchen übertrafen die transgenen Samen die Keimungsrate ihrer nichttransgenen Elternpflanzen, die Wachstumsgeschwindigkeit der transgenen Keimlinge blieb aber hinter den Kontrollen zurück. Gewächshausversuche mit gentechnisch veränderten Rapslinien mit einem erhöhtem Laurinsäuregehalt zeigten, dass transgene Hybride mit Rübsen nichttransgene hybride Kontrollpflanzen hinsichtlich der Keimungs- und Wachstumsgeschwindigkeit übertrafen (Linder & Schmitt, 1995).

zentrale Element ist dabei die Einhaltung weitgestellter Fruchtfolgen; Raps darf höchstens alle vier Jahre auf der gleichen Parzelle angebaut werden. Um die Generationsfolgen der Schädlinge zu unterbrechen, sollten die Fruchtfolgen auch lokal aufeinander abgestimmt werden. Einzelne Schadinsekten können auch durch anbautechnische Massnahmen wie die Wahl des Saatzeitpunktes oder die Einsaat eines Rübsenrandstreifens zum „Abfangen“ der **Rapsglanzkäfer** wirksam reguliert werden. In Zukunft werden zur direkten Bekämpfung neben den Insektiziden möglicherweise auch Parasitoide eingesetzt. Aus der Forschung sind Schlupfwespenarten bekannt, die die Eier oder Larven der verschiedenen Rapsschädlinge befallen. Raps kann wegen seiner hohen Schädlingsanfälligkeit kaum biologisch angebaut werden, die Ertragsausfälle in erster Linie durch den Rapsglanzkäfer sind in der Regel zu gross.

Gentechnische Ansätze: Trotz der Brisanz der **Schadinsekten**-Problematik im Rapsanbau, gibt es bisher erst wenige Versuche, mit Hilfe der Gentechnik Resistenzen gegen Schädlinge zu erzeugen. Der Schwerpunkt gentechnischer Forschung liegt vielmehr bei der Vermittlung von **Herbizidtoleranz**, der Herstellung von männlich **sterilen Rapssorten** und in der Veränderung der **Produktqualität**. Herbizidtolerante Rapspflanzen bieten in der Schweiz keine Vorteile, weil bisher das Problem der Beikrautregulierung im Rapsanbau von untergeordneter Bedeutung ist. Mit gentechnisch veränderten männlich sterilen Rapssorten soll Hybridraps hergestellt werden, der höhere Erträge liefert. Allerdings kann dieser Raps dann nicht mehr vom Landwirt selber nachgebaut werden. Ausserdem beinhalten gentechnische Ansätze schwer einschätzbare Risiken. So kann die Substitution von hochwertigen Ölen, die bisher aus Entwicklungsländern importiert wurden, verheerende Auswirkungen auf die ökonomische Situation dieser Länder haben. Ökologisch ist vor allem zu beachten, dass Raps ein hohes Potential zur Verwilderung zeigt und die eingeführten Gene auf eine der zahlreichen wilden Verwandten von Raps auskreuzen können.¹⁴

4.8 Fallbeispiele Schadorganismen

4.8.1 Rapserrdfloh (*Psylliodes chrysocephalus*)

Der Rapserrdfloh entwickelt sich als Larve vor allem an Winterraps und Winterrüben, seltener an Kohle- und Wasserrüben, Kohl, Radieschen und Rettich, ferner an einigen wilden Kreuzblütlern (Cruciferen). Die Käfer verursachen unbedeutende Frassschäden an zarten Blättern, Schoten und Stengeln. Wichtiger ist die Frassstätigkeit der Larven im Innern der Blattstiele, sowie im Herzen und in den Stengeln von Jungpflanzen. Die Blätter können dadurch ganz verfaulen, der Vegetationspunkt wird zerstört und die Pflanzen wintern aus¹⁵. Ein Befall mit *P. chrysocephalus* kann Infektionen mit dem Erreger der Wurzelhals- und Stengelfäule begünstigen. Ferner fungiert der Rapserrdfloh auch als Vektor von Viren¹⁶.

Strategien in der Praxis – Zur Vorbeugung gegen den Rapserrdfloh wird der Raps möglichst früh ausgesät. Mit einer angepassten Düngungsstrategie werden ein rasches Auflaufen und eine gute Jugendentwicklung noch vor der Winterruhe gewährleistet. Auf diese Weise wird der Raps widerstandsfähiger gegen Frassschäden durch den Rapserrdfloh (Hoffmann & Schmutterer 1983; LBL 1999). In der integrierten Produktion (IP) ist bei Erreichung der Schadensschwelle¹⁷ eine Insektizidbekämpfung angezeigt. Laut LBL (1999) bietet auch die Beizung des Saatgutes einen guten Schutz gegen den Rapserrdfloh.

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Rapserrdflohlarven werden natürlicherweise von parasitischen Nematoden und verschiedenen Hautflüglerarten¹⁸ befallen (Hoffmann & Schmutterer 1983). Klingenberg *et al.* 1994 identifizierten die Schlupfwespenart *Tersilochus microgaster* als Larvenparasit des Rapserrdflohes.

Forschung Gentechnik – In der EU wurden erst zwei Freisetzungen mit insektenresistenten Rapspflanzen durchgeführt. Die Entwicklung von insektenresistenten transgenen Rapspflanzen befindet sich noch im Anfangsstadium. Im Labor wurde z.B. die Resistenz einer transgenen Rapslinie getestet, die den Cystein-Protease-Inhibitor "Oryzacystatin I" (OCI) exprimiert. In Fütterungsexperimenten mit transgenen Blattscheiben wurde die Wirksamkeit von OCI-transgenem Raps auf Rapserrdföhe getestet. Dabei wurde keine signifikante Hemmung des Wachstums von Adulten und Larven festgestellt. Bei den Rapserrdfloh-Larven, die OCI-transgene Blattscheiben gefressen hatten, konnte hingegen im Vergleich zur Kontrolle eine zweifache Steigerung der proteolytischen Aktivität im Verdauungstrakt nachgewiesen werden. Diese Steigerung reichte offenbar aus, um die hemmende Aktivität des rekombinanten Oryzacystatin I zu überwinden (Girard *et al.* 1998a,b). Auch für andere Coleopteren wurde festgestellt, dass diese die OCI-vermittelte Resistenz von transgenen Rapspflanzen überwinden können.

¹⁴ Die Auskreuzungsgefahr stellt z.B. die Strategie des herbizidtoleranten Rapses in Frage: Herbizidtoleranter Durchwuchsraps und durch Auskreuzung tolerant gewordene Ruderalraps- und Wildpflanzenpopulationen könnten die bisherige Unkrautproblematik verschärfen.

¹⁵ Auswinterung bezeichnet Frostschäden an Winterkulturen, die zum Absterben der Pflanzen führen. Im konkreten hier erwähnten Beispiel dringt Wasser in die Bohrgänge der Larven in den Blattadern ein, gefriert und lässt diese platzen.

¹⁶ Er überträgt das Wasserrübenkräusel-Virus, das Wasserrübenrosetten-Virus und das Wasserrübelengelmosaik-Virus.

¹⁷ 100 % der Pflanzen mit Frassstellen im Keimblattstadium.

¹⁸ z.B. *Tersilochus melanogaster*, *Diospilus capito* und *D. morosus*.

Coleopteren besitzen offensichtlich ein komplexes System an Proteinasen im Verdauungstrakt (Bonade-Bottino *et al.* 1999). Zumindest mit OCI-vermittelter Resistenz gegen Coleopteren ist daher in nächster Zeit nicht zu rechnen. Zudem ist die Klonierung von Proteinaseinhibitoren mit ökologischen Risiken für Nichtzielorganismen verbunden (s.o.; Ashouri *et al.* 1998; Bottino *et al.* 1998; Pham-Delègue 1997). Zudem haben viele Proteinaseinhibitoren allergene Eigenschaften. Ihre Klonierung birgt daher die Gefahr, die allergenen Eigenschaften von Lebensmitteln zu erhöhen (Franck-Oberaspach und Keller 1996).

4.8.2 Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*)

Rapsglanzkäfer nagen an den Blütenknospen des Rapses. Der Pollen dient dem Käfer als Nahrung. Geschädigte Pflanzen weisen später leere Blüten- und Schotenstiele auf. Junge, verletzte Schoten können eine verdrehte, missgestaltete Form aufweisen. Das Schadensausmass wird von der Zahl der Käfer und deren zeitlichem Auftreten sowie vom Entwicklungszustand der Pflanzen¹⁹ und der Witterung bestimmt. Die Rapsglanzkäfer überwintern in der Streuschicht von Waldrändern und Hecken und fliegen anfangs April in die Rapsfelder ein, wo sie ihre Eier in die Blütenknospen ablegen. Die Larven ernähren sich ebenfalls von Pollen, richten jedoch keinen Schaden an. Neben Raps werden auch Rübsen, Ölrettich, schwarzer und weisser Senf sowie die Samenträger von zahlreichen anderen Kreuzblütlern²⁰ befallen. Bei verzögerter Entwicklung des Rapses vor der Blüte können bei starkem Befall Ertragsausfälle bis zu 50 % entstehen (Häni *et al.* 1988; Hoffmann & Schmutterer 1983).

Strategien in der Praxis – Als vorbeugende Massnahme kommt die Beschleunigung des Auflaufens der jungen Rapspflanzen durch eine ausgeglichene Düngung und eine sorgfältige Saatbettvorbereitung in Frage. Alle Massnahmen, die das Wachstum des Rapses so fördern, dass das Knospenstadium möglichst kurze Zeit anhält, reduzieren den Schaden (Hoffmann & Schmutterer 1983; Meier 1985). Zum Abfangen der Rapsglanzkäfer wird bei LBL (1999) die Einsaat von Rübsen im Randstreifen empfohlen. Ferner sollten möglichst frühblühende Sorten gewählt werden, damit die Blüte des Rapses nicht mit den besten Witterungsbedingungen für den Käfer zusammenfällt. Ist dennoch eine direkte Bekämpfung mit Insektiziden nötig²¹, kann diese auf den Randstreifen beschränkt werden. Die integrierte Produktion verbietet den Einsatz von Insektiziden in offene Blüten²².

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Laut Hoffmann & Schmutterer (1983) sind Marienkäfer (z.B. *Coccinella septempunctata* und *Malachius* spp.) und die Larven von Netzflüglern (*Hemerobius* spp.) natürliche Larvenräuber. Bekannte Larvenparasitoide sind mehrere Schlupfwespenarten der Gattung *Isurgus* und *Diospius capito* (Buchi 1991). Ein weiterer Parasit, der die Adulte des Rapsglanzkäfers befällt, ist die Protozoe *Nosema meligethi* (Lipa & Hokkanen 1991). Dabei werden laut Lipa & Hokkanen (1992) Nutzinsekten wie die Honigbiene (*Apis mellifera*) und Marienkäfer (*Coccinella septempunctata*) nicht befallen.

Forschung Gentechnik – Bisher sind für Raps keine gentechnischen Ansätze publiziert worden.

4.8.3 Rapsstengelrüssler (*Ceuthorhynchus napi*)

Der Rapsstengelrüssler befällt neben Raps und Rübsen verschiedene Kohlarten und wilde Kreuzblütler. Er überwintert als Käfer im Verpuppungskokon in der Erde befallener Raps- und Kohlfelder, von wo aus er im Frühjahr in Winterraps- und -rübsenfelder einfliegt. Die Rapsstengelrüssler legen ihre Eier in kleine mit dem Rüssel genagte Nischen in die Triebspitzen. Pflanzenphysiologisch aktive Stoffe werden dem Ei beigegeben und bewirken gallenartige Verwachsungen, Aufplatzercheinungen und Verkrümmungen. Der aufgeplatzte Haupttrieb der Rapspflanze knickt um und bildet in der Folge viele schwache Seitentriebe, die dem befallenen Raps ein charakteristisch strauchartiges Aussehen verleihen. Die Larven leben bis im Juni im Gewebe des Stengels, von wo sie sich später zur Verpuppung in den Boden begeben. Der Rapsstengelrüssler bildet jährlich nur eine Generation (Hoffmann & Schmutterer 1983).

Strategien in der Praxis – Dem Rapsstengelrüssler kann durch die Förderung der Jugendentwicklung der Pflanzen vorgebeugt werden. Frühreife Sorten sind weniger anfällig. Ferner kann eine regionale Koordinierung des Rapsanbaues in den Fruchtfolgen ("Regionale Fruchtfolgen") zu einer erfolgreichen Prävention beitragen (Helenius 1997). Vorjährige Rapskultur auf einem benachbarten Feld fördert den Befall. In der integrierten Produktion wird nach dem Erreichen der Schadschwelle (40 - 50 % der Pflanzen mit Einstichen) ein Einsatz von Insektiziden empfohlen (Hoffmann & Schmutterer 1983; LBL 1999).

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Laut Hoffmann & Schmutterer (1983) werden die Larven von *C. napi* von der Schlupfwespe *Tersilochus moderator* parasitiert. Offensichtlich wird die Parasitierung von *C. napi* jedoch relativ selten beobachtet²³. Ferner wird *C. napi* vom entomophagen Pilz *Conidiobolus coronatus* befallen (Häni *et al.* 1988).

Forschung Gentechnik – Bisher sind für Raps keine gentechnischen Ansätze publiziert worden.

¹⁹ Eine langsame Entwicklung vor der Blüte begünstigt Rapsglanzkäfer.

²⁰ Kohl, Wasserrüben, Kohlrüben, Rettich und Radies.

²¹ LBL 1999 gibt als Schadschwelle 3 bis 5 Käfer pro Pflanze und/oder 1 Käfer pro Rapspflanze im Randstreifen bei Blühbeginn an.

²² Schädigung der Bienen.

²³ siehe dazu auch Buchi (1991); Klingenberg *et al.* (1994)

4.8.4 Kohlschotengallmücke (*Dasineura brassicae*)

Die Kohlschotengallmücke lebt an Raps, Rübsen, schwarzem und weissen Senf und diversen anderen cruciferen Samenträgern. Die Weibchen der ersten Generation (zur Zeit der Vollblüte des Winterrapses) legen in drei Schüben je etwa 20 Eier in junge Schoten. Dabei sind sie auf die Vorarbeit anderer Schädlinge²⁴ angewiesen, weil ihre Legeröhre meistens zu schwach ist, um die Wände der Schoten zu durchbohren. Die Larven ernähren sich von den Samen und durch Saugen an den Schotenwänden. Dadurch werden die Schoten frühzeitig gelb und schwellen an (Gallbildung). Schliesslich platzen sie auf und die Körner und die Mückenlarven fallen zu Boden, wo diese sich verpuppen und fünf bis acht Tage später die zweite Mückengeneration entlassen. Insgesamt werden jährlich drei Generationen beobachtet (Hoffmann & Schmutterer 1983).

Strategien in der Praxis – Bei starkem Befallsdruck kann statt Winter- Sommerraps angebaut werden. Dieser wird weniger befallen, da seine Schotenbildung erst in die zweite Generation von *D. brassicae* fällt. Eine chemische Bekämpfung nur gegen die Schotenmücke ist nicht gerechtfertigt. Die chemische Bekämpfung des Rapsglanzkäfers erfasst auch den Kohlschotenrüssler und vermindert somit auch den Befall durch die Schotenmücke (Hoffmann & Schmutterer 1983; Meier 1985).

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Es sind verschiedene Parasiten der Kohlschotengallmücke bekannt. Die Schlupfwespe *Platygaster oebalus* parasitiert die Eier von *D. brassicae*. Weitere parasitische Schlupfwespen, die die Kohlschotengallmücke befallen, sind *Pseudotorymus brassicae*, *Tetrastichus brevicornis*, *Aphanogmus abdominalis* und *Ceraphron serraticornis* (Hoffmann & Schmutterer 1983). Der häufigste Larvenparasit der Kohlschotengallmücke ist laut in der Schweiz durchgeführten Untersuchungen *Platygaster tiasis* während laut dänischen Untersuchungen *P. oebalus* der wichtigste Parasit ist, dessen Populationsdynamik von Axelsen (1994) mit einem Computermodell simuliert wurde²⁵. Englische Forscher konnten zeigen, dass von beschädigten Rapspflanzen ein sogenanntes Kairomon²⁶ ausgeschieden wird, das die Schlupfwespen *Platygaster* spp. anzieht (Alford *et al.* 1995). Die von dem Schädling angegriffenen Pflanzen rufen also quasi um Hilfe nach den Schlupfwespen (siehe auch Pflanzenkommunikation Seite **Fehler! Textmarke nicht definiert.**).

Forschung Gentechnik – Bisher sind für Raps keine gentechnischen Ansätze publiziert worden.

4.8.5 Rapskrebs (*Sclerotinia sclerotiorum*)

Rapskrebs tritt hauptsächlich lokal in wintermilden, kühlen und feuchten Lagen auf. In Einzelfällen können die Ertragsausfälle durch vorzeitiges Aufbrechen der Schoten und durch eine Verringerung des Tausendkorngewichtes allerdings bis zu 30 % betragen. Bei Befall zeigen sich im unteren Teil des Haupttriebs erst weissliche Verfärbungen, gelegentlich mit vereinzelt Sklerotien²⁷. Später verdorren die Triebe und sterben ab. *S. sclerotiorum* befällt neben Cruciferen auch Leguminosen, Solanaceen, Chenopodiaceen und Umbelliferen aus dem Spektrum der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Die Sklerotien des Pathogens können im trockenen Boden jahrelang überdauern oder als Verunreinigung mit dem Saatgut ausgesät werden können. Bei der Keimung der Sklerotien treten schmale Stielchen an die Erdoberfläche, die an ihrer Spitze ein trichterförmiges Apothecium²⁸ tragen, von wo aus bei trockener Witterung Ascosporen ausgeschleudert und vom Wind auf die Pflanzen getragen werden (Häni *et al.* 1988; Hoffmann & Schmutterer 1983).

Strategien in der Praxis – Dem Rapskrebs kann durch dreijährige Anbaupausen in der Fruchtfolge, Vermeidung feuchter Standorte, Erhaltung der biologischen Aktivität des Bodens sowie durch eine zurückhaltende Stickstoffdüngung vorgebeugt werden (Häni *et al.* 1988; Hoffmann & Schmutterer 1983). Laut LBL (1999) weisen die Winterrapsorten Libravo, Lirajet, Express und Capitol gute Toleranzeigenschaften gegen *S. sclerotiorum* auf. Es gibt gut wirkende Fungizide (Hoffmann & Schmutterer 1983), deren Einsatz in der integrierten Produktion jedoch während der Blüte nicht erlaubt ist (LBL 1999).

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – Whipps *et al.* (1993) konnten als erste den Hyperparasiten *Coniothyrium minitans* von Blüten und aus Bodenproben isolieren, auch *Phoma nebulosa* konnte als Mycoparasit identifiziert werden. In weiteren Forschungsarbeiten konnte gezeigt werden, dass durch einen Befall mit *Coniothyrium minitans* die Lebensdauer der Sklerotien von *S. sclerotiorum* verringert wurde, sowie eine Hemmung der Keimung und Bildung von Apothecien eintrat. Die beste Wirkung gegen *S. sclerotiorum* konnte erzielt werden, wenn das *C. minitans*-Inokulum mit der Saat im Herbst appliziert wurde. Trotz diesen vielversprechenden Resultaten konnte der Krankheitsverlauf durch einen Einsatz von *C. minitans* in Feldversuchen nicht entscheidend beeinflusst werden (McQuilken *et al.* 1995).

Forschung Prognoseysteme – Zur Optimierung des Fungizideinsatzes wurden Forschungsanstrengungen zur Prognose des Rapskrebsbefalls durchgeführt: Turkington & Morrall (1993) zeigten, dass die Krankheitshäufigkeit bei guten Infektionsbedingungen positiv mit der Verseuchung der Rapsblüten korreliert war. Als Entscheidungsgrundlage für Bekämpfungsmassnahmen könnte demnach der Befall der Korolla in einem frühen, mitt-

²⁴ z.B. Kohlschotenrüssler (*Ceutorhynchus assimilis*)

²⁵ Dabei konnte gezeigt werden, dass die Population von *P. oebalus* am grössten war bei einer leichten Parasitierung der Larven.

²⁶ von Pflanzen unter Stressbedingungen ausgeschiedene Alarmstoffe; in diesem Falle 2-Phenylethyl-Isothiocyanat.

²⁷ Überdauerungsorgane des Pilzes, die in den Stengeln der befallenen Pflanzen gebildet werden

²⁸ Fruchtkörper in dem die Asci (Sporenlager) gebildet werden

leren und späten Stadium abgeschätzt werden. Von Twengstrom *et al.* (1998) wurde ein Computermodell zur Vorhersage von starkem *S. sclerotiorum*-Befall entwickelt, das auf sechs Parametern²⁹ beruht. In einem grossan-gelegten Freilandversuch konnte die benötigte Fungizidmenge sehr gut vorhergesagt werden.

Forschung Gentechnik – Bisher sind für Raps keine gentechnischen Ansätze publiziert worden.

4.8.6 Wurzelhals- und Stengelfäule (*Leptosphaeria maculans*)

Die jungen Rapspflanzen werden im Herbst von *Leptosphaeria maculans*³⁰ befallen. Am Wurzelhals treten dunkle, blaugraue Verfärbungen auf, später zeigt der Wurzelhals trockenfaule, rissige Verkorkungen, die Pflanzen verkümmern, verfärben sich bläulich und die unteren Blätter sterben ab. Die Pflanzen knicken an den vermorschten Stellen um und sterben vorzeitig ab. Ein Befall im Frühjahr führt in der Regel zu den gleichen Symptomen. Eine Infektion wird durch Wunden an den Pflanzen begünstigt. Das Pathogen überwintert im Saatgut und auf Pflanzenrückständen. Er bildet nach der Ernte Perithezien³¹ auf den oberirdischen Stoppelresten. Durch die Sporenbehälter im Boden, durch infiziertes Saatgut und durch Sporenflug wird *L. maculans* übertragen. *L. maculans* befällt neben Raps auch viele andere Cruciferen³² (Häni *et al.* 1988; Hoffmann & Schmutterer 1983).

Strategien in der Praxis – Die Bekämpfung der Wurzelhals- und Stengelfäule gestaltet sich sehr schwierig. Ein Frühbefall durch den Pilz kann verringert werden durch eine drei- bis vierjährige Pause im Anbau von Wirtspflanzen, durch rechtzeitiges und sauberes Unterpflügen der Ernterückstände, ferner durch Beseitigung des Ausfallrapses. Eine starke Ausbreitung der Krankheit kann gehemmt werden durch den Anbau toleranter Sorten³³ (Häni *et al.* 1988; Hoffmann & Schmutterer 1983). Eine direkte Bekämpfung mittels Saatgutbeizung und chemischen Massnahmen während der Vegetationszeit bringt nur unbefriedigende Resultate (Hoffmann & Schmutterer 1983).

Forschung ohne Gentechnik – Fungizideinsätze gegen *L. maculans* sind nur effektiv, wenn sie genau zum Zeitpunkt des Ausstossens der Ascosporen erfolgen (Page *et al.* 1995). Daher wird an der Ausarbeitung exakter Prognoseysteme basierend auf biologischen und klimatischen Daten geforscht, z.B. im Rahmen des französischen Forschungsprogramms "Phomepi" (Penaud 1995). Mit den Resultaten konstruierten Peres & Poisson (1997) ein Modell, das laut eigenen Angaben Vorhersagen über die Populationsdynamik ermöglicht und somit als Entscheidungsgrundlage für den gezielten Einsatz von Fungiziden dienen kann.

Möglichkeiten zum Einsatz von Antagonisten gegen *L. maculans* sind noch wenig erforscht. Novotna (1990) berichtete über Erfolge mit *Pseudomonas fluorescens* und Starzycki *et al.* (1997) zeigten, dass *Trichoderma harzianum* aggressiv gegen das Pathogen ist. Auch im Bereich der Resistenzinduktion konnten im Fall von Raps bisher keine Erfolge erzielt werden³⁴.

Forschung Gentechnik – Wang *et al.* (1999) haben verschiedene Abwehrgene der Erbse in Raps einkloniert, um deren Wirkung auf *L. maculans* zu testen. Sie fanden dabei, dass die Klonierung der Erbsen-Chitinase und des Erbsen-Proteins PR 10 keine erhöhte Resistenz bewirkt. Die Klonierung von "Defensin" erhöhte das Resistenzniveau leicht. Nur die Klonierung des DRR 206-Gens führte zu einem deutlich verminderten Krankheitsbild bei Befall des entsprechenden transgenen Raps mit *L. maculans*. Diese Versuche bewegen sich allerdings bisher auf dem Niveau der Grundlagenforschung. Wie die Resistenz unter Freilandbedingungen aussieht, ist bisher nicht untersucht worden.

4.8.7 Schnecken (*Deroceras spp.*, *Arion hortensis*)

Ackerschnecken (*Deroceras spp.*) und Gartenwegschnecken (*Arion hortensis*) sind polyphage Schädlinge. Als wichtigste Schadschnecke im Ackerbau gilt die genetzte Ackerschnecke (*Deroceras reticulatum*). Schnecken fressen an allen in Mitteleuropa angebauten Kulturpflanzen und bevorzugen dabei das zarte Gewebe von Jungpflanzen. Das Schadbild äussert sich als unregelmässiger Schab- vor allem aber als Loch- oder Blattrandfrass. Bei feuchter Witterung kann Winterraps im Herbst nach dem Auflaufen teilweise so empfindlich geschädigt werden, dass eine Neusaat nötig wird. Ferner können Ackerschnecken Viren und Pathogene übertragen. Schnecken treten besonders häufig auf schweren Böden auf. Sie sind vorwiegend nachtaktiv und halten sich tagsüber an feuchten, schattigen Plätzen³⁵ auf. Diese Verstecke finden sich oft an Grabenrändern, Feldrainen, Hecken sowie in Wiesen und Weiden, von wo aus sich die Schnecken nachts in die Felder ausbreiten. Die Lebensdauer der Ackerschnecken beträgt 6 bis 8 Monate, sie überwintern meistens als Ei, zum Teil aber auch als ausgewachsenes Tier (FiBL 1996; Häni *et al.* 1988; Hoffmann & Schmutterer 1983).

²⁹ Jahre seit dem letzten Rapsanbau, Krankheitshäufigkeit auf dem letzten *Sclerotinia*-Wirt, Bestandesdichte, Niederschlagsmenge der letzten zwei Wochen vor der Rapsblüte, meteorologische Daten und regional spezifisches Risiko der Entwicklung von Apothecien

³⁰ Konidienstadium *Phoma lingam*

³¹ Fruchtkörper (Sporenbehälter)

³² namentlich alle Kohllarten, *Brassica rapa*, *Sinapis alba*, *S. arvensis*, *Armoracia rusticana* und *Cheiranthus cheiri*.

³³ In der Schweiz erhältliche *L. maculans*-tolerante Winterrapsorten sind laut LBL (1999) Jockey, Express und Capitol.

³⁴ siehe z.B. Dixelius (1994)

³⁵ z.B. unter Steinen, Pflanzenresten, in vermoderndem Holz oder unter Erdschollen.

Strategien in der Praxis – Zur Vorbeugung gegen Schnecken sollte auf den Anbau von Raps auf schweren Böden verzichtet werden. Wo die Bodenstruktur es erlaubt, sollte das Saatbett gut abgesetzt werden und oberflächlich fein präpariert werden. Weitere vorbeugende Massnahmen sind laut (FiBL 1996) das rasche Einarbeiten der Rückstände nach der Ernte und das Pflügen im Winter³⁶. Die Förderung von Nützlingen³⁷ begünstigt prädativische Laufkäfer, die sich unter anderem von Schneckeneiern ernähren. Eine direkte Bekämpfung kann in der integrierten Produktion auf befallenen Teilflächen durch Ausbringen von Metaldehyd-Schneckenkörnern erfolgen (LBL 1999). Im biologischen Landbau wird auf den Einsatz von Schneckenkörnern verzichtet.

Forschung ohne Gentechnik – Seit 1994 ist in England ein Nematodenpräparat gegen Schnecken erhältlich. Wilson *et al.* (1994) konnte Schnecken in einem Rapsfeld damit mit dem gleichen Erfolg bekämpfen wie mit dem herkömmlichen Methiocarb. Aus finanziellen Gründen eignet sich diese Bekämpfungsmethode allerdings nur für den Gartenbau. Laut Symondson *et al.* (1996) kommt der polyphage Käfer *Pterostichus melanarius* für die biologische Schneckenbekämpfung in Frage.

Forschung Gentechnik – Bisher sind für Raps keine gentechnischen Ansätze publiziert worden.

³⁶ Diese beiden Massnahmen sind jedoch problematisch: Frühes Pflügen lässt den Boden bis zur Aussaat während längerer Zeit unbedeckt, dadurch ist der Boden schlechter gegen Erosion geschützt. Pflügen im Winter schädigt neben den Schnecken auch Regenwürmer und andere Nützlinge.

³⁷ z.B. durch die Anlage von Habitaten wie Hecken, Ackerrandstreifen werden Laufkäfer gefördert.

Literatur

- AgrEvo (1999): Das Züchtungsverfahren SeedLink: Was ist SeedLink? <http://www.agrevo.de/biotech/sl/slzs.htm>
- Alford G.V., Williams I.H., Murchie A.K. & Walters K.F.A. (1995): The status and potential of parasitoids of seed weevil and pod midge on winter oilseed rape. *HGCA Oilseeds Project Report*, No. OS14, 89 pp.
- Axelsen J.A. (1994): Host-parasitoid interactions in an agricultural ecosystem: a computer simulation. *Ecological Modelling*, 73 (3-4), 189-203.
- Ashouri A., Overney S., Michaud D., Cloutier C. (1998): Fitness and feeding are affected in the two-spotted stinkbug, *Perillus bioculatus*, by the cysteine proteinase inhibitor oryzacystatin I. *Archives of Insect Biochemistry & Physiology*, 38, 74-83.
- Bonade-Bottino M., Lerin J., Zaccomer B., Jouanin L. (1999): physiological adaption explains the insensitivity of *Baris coerulescens* to transgenic oilseed rape expressing oryzacystatin I. *Insect Biochemistry & Molecular Biology*, 29, 131-138.
- Bottino M.B., Girard C., Le Metayer M., Picard-Nizou A.L., Sandoz G., Lerin J., Pham-Delegue M.H., Jouanin L. (1998): Effects of transgenic oilseed rape expressing proteinase inhibitors on pest and beneficial insects. In: Thomas G., Monteiro A.A. (eds) *Brassica 97 : International Symposium On Brassicas (459)*, p. 235-239
- Baeumer K. (1978): Allgemeiner Pflanzenbau. Ulmer, Stuttgart, 264 S.
- Buchi R. (1991): Monitoring of parasitoids in oilseed rape pests during 1989 in Switzerland. *Bulletin SROP*, 14 (6), 54-60.
- Buchi R. & Keller S. (1994): Parasitism of the Brassica pod midge, *Dasineura brassicae*, in Switzerland by beneficial insects. *Agrarforschung*, 1 (9), 400-402.
- Darmency H. (1994): The impact of hybrids between genetically modified crop plants and their related species: introgression and weediness. *Molecular Ecology*, 3, 37-40
- Dixelius C. (1994): Presence of the pathogenesis-related proteins 2, Q and S in stressed *Brassica napus* and *B. nigra* plantlets. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 44 (1), 1-8.
- Dürkopp J., Dubbert W., Nöh I. (1999): Beitrag der Biotechnologie zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung. UBA Texte 1/99; Umweltbundesamt, Berlin.
- Eckelkamp C., Mayer M., Weber B. (1997): Basta-resistenter Raps. Vertikaler und horizontaler Gentransfer unter besonderer Berücksichtigung des Standortes Wölfersheim-Melbach. Werkstattreihe Nr. 100, Öko-Institut e.V., Freiburg.
- FAL (1998): Offizielle Winterraps-Sortenliste für die Aussaat 1998. 8.7.1998, (<http://www.admin.ch/sar/fal/sorten/rskrapd.html>).
- FiBL (1996): Merkblatt Biokulturen vor Schnecken schützen. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, CH-Frick.
- Franck-Oberaspach S.L., Keller B. (1996): Produktsicherheit von krankheits- und schädlingsresistenten Nutzpflanzen: Toxikologie, allergenes Potential, Sekundäreffekte und Markergene. In: Schulte E, Käppeli O (Hrsg.). *Genetechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft? Band I, Materialien. Eine Publikation des Schwerpunktprogramms Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern.*
- Fredshavn J.R., Poulsen G.S., Huybrechts I., Rudelsheim P. (1995): Competitiveness of transgenic oilseed rape. *Transgenic Research*, 4, 142-148.
- Geisler G. (1988): Pflanzenbau. Ein Lehrbuch - Biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. Paul Parey, Berlin und Hamburg, 530 S.
- Giamoustaris A. & Mithen R. (1995): The effect of modifying the glucosinolate content of leaves of oilseed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*) on its interaction with specialist and generalist pests. *Annals of Applied Biology*, 126 (2), 347-363.
- Girard C., Bonade-Bottino M., Pham-Delègue M.H., Jouanin L. (1998b): Two strains of cabbage weevil (Coleoptera: Curculionidae) exhibit differential susceptibility to a transgenic oilseed rape expressing oryzacystatin I. *Journal of Insect Physiology*, 44, 569-577.
- Girard C., Le Metayer M., Zaccomer B., Bartlet E., Williams I., Bonade-Bottino M., Pham-Delègue M.H., Jouanin L. (1998a): Growth stimulation of a beetle larvae retarded on a transgenic oilseed rape expressing a cysteine proteinase inhibitor. *Journal of Insect Physiology*, 44, 263-270.
- Häni F., Popow G., Reinhard H., Schwarz A., Tanner K. & Vorlet M. (1988): Pflanzenschutz im Integrierten Ackerbau. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen, 335 S.
- Helenius J. (1997): Spatial scales in Ecological Pest Management (EPM): importance of regional crop rotations. *Entomological research in organic agriculture*, 15 (1-4), 163-170.
- Hoffmann G.M. & Schmutterer H. (1983): Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. (Vol. 488), Ulmer, Stuttgart.
- Hoffmann W., Mudra A. & Plarre W. (1985): Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. (Vol. 2: Spezieller Teil), Paul Parey, Berlin und Hamburg, 433 S.
- James C. (1998): Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1998. ISAAA Briefs No. 8 (The International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications); ISAAA: Ithaca NY.
- Klingenberg A.v., Ulber B. & Von Klingenberg A. (1994): Untersuchungen zum Auftreten der *Tersilochinae* (Hym., Ichneumonidae) als Larvalparasitoiden einiger Raps-schädlinge im Raum Göttingen 1990 und 1991 und zu deren Schlupfabundanz nach unterschiedlicher Bodenbearbeitung. *Dissertation*, Institut für Pflanzenpathologie und Pflanzenschutz, Entomologische Abteilung, Universität Göttingen.
- Korell M., Schittenhelm, S., Weigel H.J. (1997): Aufstellen von Kriterien für die nachhaltig umweltgerechte Nutzung gentechnisch veränderter Kulturpflanzenarten. UBA Texte 88/97; Umweltbundesamt, Berlin.

- LBL (1999): Datenblätter Ackerbau. Lindau.
- Lipa J.J. & Hokkanen H.M.T. (1992): Safety of *Nosema meligethi* I. and R. (Microsporida) to *Apis mellifera* L. and *Coccinella septempunctata* L. *Journal of Invertebrate Pathology*, 60 (3), 310-311.
- Linder C. R., Schmitt J. (1995): Potential persistence of escaped transgenes: performance of transgenic, oil-modified Brassica seeds and seedlings. *Ecological Applications*, 5, 1056-1068.
- Lipa J.J. & Hokkanen M.T. (1991): A haplosporidian *Haplosporidium meligethi* sp. n., and a microsporidian *Nosema meligethi* I. et R., two protozoan parasites from *Meligethes aeneus* F. (Coleoptera: Nitidulidae). *Acta Protozoologica*, 30 (3-4), 217-222.
- Mayer M., Wurtz A., Jülich R., Roller G., Tappeser B. (1995): Anforderungen an die Überwachung von Freisetzungen gentechnisch veränderter Pflanzen und Mikroorganismen als Landesaufgabe im Rahmen des Vollzugs des Gentechnikgesetzes. Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung, Sachsen-Anhalt.
- McQuilken M.P., Mitchell S.J., Budge S.P., Whipps J.M., Fenlon J.S. & Archer S.A. (1995): Effect of *Coniothyrium minitans* on sclerotial survival and apothecial production of *Sclerotinia sclerotiorum* in field-grown oilseed rape. *Plant Pathology*, 44 (5), 883-896.
- Meier V. (1985): Pflanzenschutz im Feldbau - Tierische Schädlinge und Pflanzenkrankheiten. Huber, Frauenfeld, 240 S.
- Novotna J. (1990): Antagonistic activity of *Pseudomonas fluorescens* against some pathogenic and saprophytic fungi on rape and flax. *Sbornik UVTIZ, Ochrana Rostlin*, 26 (2), 113-122.
- Page R.I., Penaud A. & Le Page R. (1995): Phoma on rape. Everything depends on the first ascospore peak. *Oleoscope*, No. 28, 23, 25-27.
- Penaud A. (1995): Phoma on rape. Towards an integrated fungicidal control in terms of epidemiology. *Phytoma*, No. 476, 22-24.
- Peres A. & Poisson B. (1997): *Leptosphaeria maculans* on rape: advances in epidemiology. *Oleoscope*, No. 40, 37-40.
- Pham-Delègue M. H. (1997): Risk assessment of transgenic oilseed rape on the honeybee. INRA, Laboratoire de neurobiologie comparée des invertébrés: 1-3.
- Rasmussen U., Giese H. & Mikkelsen J.D. (1992): Induction and purification of chitinase in *Brassica napus* L. ssp. *oleifera* infected with *Phoma lingam*. *Planta*, 187 (3), 328-334.
- RKI (1999): Produkte für die ein Inverkehrbringen in der Europäischen Union (EU) gemäß Richtlinie 90/220/EWG beantragt oder genehmigt wurde. Stand 30.6.1999. <http://www.rki.de/GENTEC/INVERKEHR/INVKLIST.htm>
- SBV (1997): Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung. 74. Jahreshaft 1997. Schweizerischer Bauernverband, Brugg.
- Scheffler J.A., Parkinson R., Dale P.J. (1993): Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*). *Transgenic Research*, 2, 356-364.
- Schiemann J., Pfeilstetter E., Matzk A. in Zusammenarbeit mit FELDMANN, S. (1997): Molekularbiologische Untersuchungen des Auskreuzungsverhaltens von Basta-tolerantem Winterraps auf nicht transgenen Raps (*Brassica napus*). Jahresbericht der Biologischen Bundesanstalt Braunschweig.
- Sebald O., Seybold S., Philippi G. (1990): Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Bd. 2., Ulmer Verlag.
- Starzycki M., Starzycka E. & Matuszczak M. (1997): Fungi of the genus *Trichoderma* spp. and their protective ability against the pathogens *Phoma lingam* (Tode ex Fr.) Desm. and *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. *Rosliny Oleiste*, 18 (2), 333-338.
- Stewart J.R., All, J. N.; Raymer, P.L.; Ramachandran, S. (1997): Transgenic insecticidal oilseed rape on the loose. In: MCLEAN, G. D.; WATERHOUSE, P. M.; EVANS, G. & GIBBS, M. J. (eds): Commercialisation of transgenic crops. Risk, benefit and trade considerations. Proceedings of a workshop, Canberra, 11.-13. march 1997. Cooperative research centre for plant science and bureau of resource sciences, Canberra: 137-143.
- Symondson W.O.C., Glen D.M., Wiltshire C.W., Langdon C.J. & Liddell J.E. (1996): Effects of cultivation techniques and methods of straw disposal on predation by *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae) upon slugs (Gastropoda: Pulmonata) in an arable field. *Journal of Applied Ecology*, 33 (4), 741-753.
- Timmons A.M., O'Brien E.T., Charters Y.M., Dubbels S.J., Wilkinson M.J. (1995a): Assessing the risk of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp. *oleifera*. *Euphytica*, 85, 417-421.
- Timmons A.M., O'Brien E.T., Charters Y.M., Wilkinson M.J. (1995b): Aspects of environmental risk assessment for genetically modified plants with special reference to oilseed rape. *Plants Genetics*, 95, 42-45.
- Torgersen H. (1996): Ökologische Effekte von Nutzpflanzen - Grundlagen für die Beurteilung transgener Pflanzen, UBA Monographie, Band 74, Umweltbundesamt, Wien.
- Transgen (1999): <http://www.transgen.de>
- Turkington T.K. & Morrall R.A.A. (1993): Use of petal infestation to forecast *Sclerotinia* stem rot of canola: the influence of inoculum variation over the flowering period and canopy density. *Phytopathology*, 83 (6), 682-689.
- Twengstrom E., Sigvald R., Svensson C. & Yuen J. (1998): Forecasting *Sclerotinia* stem rot in spring sown oilseed rape. *Crop Protection*, 17 (5), 405-411.
- Union of Concerned Scientists (1998): What's coming to the market? Gene Exchange, Fall/Winter, 1998, 9-11
- USDA Aphis (1999): <http://www.aphis.usda.gov/biotech/>
- Whipps J.M., Budge S.P. & Mitchell S.J. (1993): Observations on sclerotial mycoparasites of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Mycological Research*, 97 (6), 697-700.
- Wang Y.P., Nowak G., Culley D., Hadwiger L.A., Fristensky B. (1999): Constitutive expression of pea defense gene DRR206 confers resistance to blackleg (*Leptosphaeria maculans*) disease in transgenic canola (*Brassica napus*). *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 12, 410-418.
- Wilson M.J., Glen D.M., George S.K., Pearce J.D. & Rodgers P.B. (1994): The potential of the rhabditid nematode *Phasmarhabditis hermaphrodita* for biological control of slugs. *Genetics of entomopathogenic nematode bacterium complexes. Proceedings and National Reports 1990 1993, St. Patrick's College, Maynooth, Co. Kildare, Ireland*, No. EUR 15681 EN, 230.

Exkurs: Prognosemodelle im Pflanzenschutz

Im Obst-, Wein- und Ackerbau werden krankheits- und schädlingsresistente Sorten derzeit nur in kleinem Umfang angebaut. Die grosse Mehrheit der angebauten Sorten ist jedoch mittel- bis hochanfällig gegenüber verschiedensten Krankheiten und Schädlingen. Schädlinge und Pflanzenkrankheiten werden deshalb durch Pestizideinsatz unter Kontrolle gehalten. Traditionelle Applikationsstrategien sind auf worst-case Szenarien ausgerichtet, die unter Normalbedingungen zu häufigen und teilweise unnötigen Spritzungen führen (Agrios 1988). Konkret bedeutet dies, dass die Pestizidapplikationen während der Saison in regelmässigen Abständen (z.B. jede Woche) durchgeführt werden (MacHardy 1996). Das Auftreten von Krankheiten und Schädlingen wird jedoch wesentlich durch die Witterung und den Entwicklungsstand der Pflanze beeinflusst. Seit den vierziger Jahren wurde deshalb intensiv daran gearbeitet, die Biologie der Schadorganismen zu untersuchen und die Faktoren, die die Entwicklung und den Wirtsbefall beeinflussen, zu beschreiben. Ziel dieser Untersuchungen ist es, Entscheidungsgrundlagen für die Risikoeinschätzung zu erarbeiten und letztendlich Pflanzenschutzmassnahmen aufgrund von objektiven Entscheidungsgrundlagen durchzuführen.

Die aktuelle Risikosituation kann im Feld intuitiv nur schwer eingeschätzt werden, da sowohl Pflanzen als auch Insekten und Mikroorganismen wechselwarme Organismen sind. Der wesentlichste Einflussfaktor, der die Entwicklungsprozesse steuert, ist die Temperatur. Für die mathematische Beschreibung der Entwicklungsprozesse ist deshalb nicht die kalendarische Zeit, sondern eine temperaturabhängige, physiologische Zeit ausschlaggebend. Beispielsweise kann der Reifungsprozess der Oosporen von *Plasmopara viticola*, dem Falschen Mehltau der Rebe, mit Temperatursummen recht einfach approximiert werden: Für die Reifung ist in diesem Fall eine Summe (170 Tagesgrade) der mittleren Tagestemperaturen über 8 °C seit Jahresbeginn relevant (Bläser 1987). Die Sporenreife erfolgt dementsprechend bei mittleren Tagestemperaturen von 9 °C innerhalb von 170 Tagen und bei mittleren Tagestemperaturen von 18 °C innerhalb von 17 Tagen. Analoges gilt für viele Insekten (z.B. Maiszünsler), die im Frühjahr ein bestimmtes Entwicklungsstadium erreichen müssen.

Bei Infektionsprozessen von Krankheiten müssen stets minimale Bedingungen wie hohe Luftfeuchtigkeit oder genügend lange Nassdauer erfüllt sein (Agrios 1988). Auch hier gilt, dass der minimale günstige Zeitraum, der für eine Infektion benötigt wird, von der Temperatur abhängt (Tamm *et al.* 1995). Diese Beziehung zwischen Nassdauer und Temperatur wurde erstmals von Mills für den Apfelschorf (*Venturia inaequalis*) bestimmt (Mills 1944).

Fast alle Warnsysteme basieren im Prinzip noch heute auf diesen Arbeiten. Mittlerweile wurden für die meisten relevanten Krankheiten und Schädlinge Modelle entwickelt, die das erstmalige Auftreten oder die aktuellen Infektionsrisiken während der Saison berechnen. Die Palette reicht von relativ primitiven Berechnungsmethoden bis zu hochkomplexen Modellen, die eine Vielzahl von Parametern einbeziehen und den Populationsverlauf von Schadorganismen sowie den Wachstumsverlauf der Wirtspflanze berechnen (Blaise *et al.* 1996).

Für den Einsatz von Warnmodellen in der Praxis ist die Verfügbarkeit von lokalen Klimadaten entscheidend. Seit den achtziger Jahren stehen automatische Klimamessstationen zur Verfügung (Merz *et al.* 1998). Die gemessenen Parameter schliessen in der Regel Temperatur Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Blättnässe sowie Sonneneinstrahlung ein. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass der Pestizideinsatz je nach Kultur und Prognosemodell bei gleichem Pflanzenschutzserfolg bis zu 50% reduziert werden kann (Buhler *et al.* 1997). In der Schweiz wurden Modelle für den Rebbau, den Kernobstbau, den Getreidebau und Kartoffelbau entwickelt oder kommerziell erhältliche Produkte evaluiert und adaptiert.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Zuverlässigkeit und Praxistauglichkeit der Prognosemodelle stark von den lokalen Gegebenheiten sowie von der genauen Kenntnis der verfügbaren Pflanzenschutzmittel abhängt. Bisher wurden die Warnmodelle in erster Linie für die integrierte Bewirtschaftung entwickelt und validiert (Trapman *et al.* 1997) (Forrer *et al.* 1991; Siegfried *et al.* 1996). Seit 1997 werden diese Methoden am FiBL auch für den biologischen Landbau evaluiert (Tamm 1999).

Literatur

- Agrios, G. N. (1988). *Plant Pathology*. San Diego, London: Academic Press.
- Blaise P., Dietrich R., Jermini M., Habib R. & Blaise P. (1996). Coupling a disease epidemic model with a crop growth model to simulate yield losses or grapevine due to *Plasmopara viticola*. *Fourth international symposium on computer modelling in fruit research and orchard management, Avignon, France, 4-8 September 1995* No. 416, 285-291.
- Bläser M. (1987). Untersuchungen zur Epidemiologie des Falschen Mehltaus (*Plasmopara viticola* Berk. et Curt. ex de Bary) an Weinreben. : Bonn.
- Buhler M., Koller B., Gessler C., Berrie A. M., Xu X. M., Harris D. C., Roberts A. L., Evans K., Barbara D. J. & Gessler C. (1997). Minimising the fungicide input in Swiss apple orchards through integrated disease management: application of an orchard-specific control strategy against apple scab (*Venturia inaequalis*). *Proceedings of the 4th workshop on Integrated control of pome fruit diseases, Croydon, UK, August 19-23, 1996* 20, 49-55.
- Forrer H. R., Gujer H. U. & Fried P. M. (1991). Experiences with and prospects of decision support systems in cereals and potatoes in Switzerland. *Danish Journal of Plant and Soil Science Special Series Report* 85, 89-100.
- MacHardy W. E. (1996). *Apple scab: biology, epidemiology, and management*. St. Paul: APS Press.
- Merz U., Blaise P., Tamm L. & Ruckstuhl M. (1998). Lokale Wetterdaten aus dem Internet. In *Die Grüne*, pp. 22-25.
- Mills W. D. (1944). Efficient use of sulphur dusts and sprays during rain to control apple scab. *N. Y. Agric. Exp. Stn. Ithaca Bull.* 630.
- Siegfried W., Holliger E. & Meier H. (1996). Forecasting *Pseudopeziza tracheiphila* and downy mildew of grapes. *Obst und Weinbau* 132, 373-374.
- Tamm L. (1999). Der biologische Rebbau in der Schweiz. In *International exchange of experience in organic viticulture*. Edited by W. Kast. Weinsberg.
- Tamm L., Minder C. E. & Flückiger W. (1995). Phenological analysis of brown rot blossom blight of sweet cherry caused by *monilinia laxa*. *Phytopathology* 85, 401-408.
- Trapman M., Polfliet M., Berrie A. M., Xu X. M., Harris D. C., Roberts A. L., Evans, K., Barbara D. J. & Gessler C. (1997). Management of primary infections of apple-scab with the simulation program RIMpro: review of four years field trials. *Proceedings of the 4th workshop on Integrated control of pome fruit diseases, Croydon, UK, August 19-23, 1996* 20, 241-250.

Exkurs: Antibiotikaresistenzen in transgenen Pflanzen

Viele gentechnisch veränderte Pflanzen enthalten Resistenzgene gegen therapeutisch genutzte Antibiotika. So enthält z.B. der in der EU zum Anbau zugelassene Bt-Mais der Firma Novartis ein Gen für Ampicillin-Resistenz. Dieses vermittelt nicht nur eine Resistenz gegen Ampicillin, sondern auch gegen eine Reihe verwandter Penicilline, wie Penicillin G, Amoxicillin und Phenoxymethylpenicillin. In vielen Krankheitsfällen sind diese Antibiotika auch heute noch die Mittel der Wahl (Eckelkamp *et al.* 1997a). Für Europa wird zur Zeit auch von der holländischen Firma Avebe die Zulassung einer genmanipulierten Kartoffelsorte beantragt, die ein Amikacin-Resistenzgen enthält. Amikacin wird in der Therapie als „Reserveantibiotikum“ relativ spät angewendet, d.h. erst dann, wenn andere Antibiotika nicht wirken. Aufgrund dieser Tatsache hat das wissenschaftliche Komitee für Pflanzen der EU zum ersten Mal „ernsthafte Bedenken“ bezüglich der Sicherheit dieser Kartoffeln geäußert und die Risikoeinschätzung der Übertragung von Resistenzgenen auf Menschen, Tiere und die Umwelt als nicht ausreichend bemängelt. Auch nach Ansicht des Schweizer Bundesamts für Umwelt in Bern ist die Unbedenklichkeit für Mensch und Umwelt bei der Freisetzung von gentechnisch veränderter Pflanzen, die Antibiotikaresistenzgene enthalten, nicht gewährleistet. Es lehnte deshalb in diesem Jahr ein Freisetzungsgesuch für Kartoffeln ab (BUWAL 1999). Auch die meisten wissenschaftlichen Gremien empfehlen, in Zukunft auf Antibiotikaresistenzen als Markergene zu verzichten (RKI 1999).

Antibiotika-Resistenzgene haben auf dem Acker keine Funktion mehr. Sie werden im Labor als sogenannte Markergene eingesetzt, um zu erkennen, ob eine gewünschte Eigenschaft erfolgreich in die genmanipulierten Pflanzen übertragen wurde. Dies ist notwendig, weil der Prozess der Genmanipulation vergleichsweise ineffektiv ist. Um diejenigen Zellen schnell zu erkennen, bei denen der Gentransfer erfolgreich war, wird die gewünschte Eigenschaft zusammen mit einem Antibiotika-Resistenzgen in den Zielorganismus übertragen. Die Zellen werden dann nach der Genübertragung mit dem entsprechenden Antibiotikum behandelt. Diesen Vorgang überleben nur diejenigen Zellen, bei denen der Gentransfer erfolgreich war, die restlichen Zellen sterben ab. Heutzutage gibt es andere Markergene und es ist möglich, die Antibiotika-Resistenzgene nachträglich aus der Pflanze zu entfernen, bzw. von vorneherein dafür zu sorgen, dass die Resistenzen erst gar nicht in die transgene Pflanze übertragen werden.

Problematisch an der Verwendung von Antibiotika-Resistenzgenen ist die Möglichkeit ihrer Übertragung auf krankheitserregende Bakterien. Schon heute stellen Antibiotika-Resistenzgene bei Krankheitserregern ein ernstes Gefahrenpotential dar. Früher hochwirksame Antibiotika sind heute immer häufiger unwirksam, weil die infektiösen Bakterien resistent sind. Besonders kritisch ist in diesem Zusammenhang, dass vermehrt Bakterien mit mehreren Resistenzgenen gegen verschiedene Antibiotika auftreten. Ursachen für die starke Verbreitung von Antibiotika-Resistenzgenen sind die viel zu häufige Verabreichung in der Human- und Tiermedizin und die Beimischung von Antibiotika zu Tierfuttermitteln, um das Wachstum der Tiere zu beschleunigen. ÄrztInnen und WissenschaftlerInnen rufen deshalb zu einem sparsamen Einsatz von Antibiotika in der Medizin und zum Verbot von Antibiotika im Tierfutter auf (RKI 1998). Die Deutsche Ärztekammer (Taz 1998) und die British Medical Association (Woolf 1999) verlangen v.a. wegen der Antibiotikaresistenz-Problematik ein Moratorium für Gentech-Lebensmittel.

Die Verwendung von Antibiotika-Resistenzgenen könnte jetzt aber eine neue Quelle für Resistenzentwicklungen sein. In jeder einzelnen Zelle der gentechnisch veränderten Pflanze befindet sich ein Gen für eine Antibiotikaresistenz. Das Erbmaterial wird aus den transgenen Pflanzen während der Verdauung oder der Verrottung freigesetzt. Immer mehr Versuchsergebnisse sprechen dafür, dass Antibiotika-Resistenzgene von Bakterien im Magen-Darm-Trakt oder im Boden aufgenommen und in diesen biologisch aktiv werden können (Eckelkamp *et al.* 1997, Courvalin 1998). So ist mittlerweile klar, dass DNA im Boden und auch im Verdauungstrakt über eine gewisse Zeit stabil bleiben kann. Ausserdem sind sowohl Darm- als auch Bodenbakterien in der Lage, Gene aus der Umwelt in ihr Erbgut aufzunehmen. Prinzipiell sind damit die Voraussetzungen erfüllt, damit ein Gentransfer aus transgenen Pflanzen auf Mikroorganismen stattfinden kann. Wie häufig solche Genübertragungen stattfinden, lässt sich wissenschaftlich nicht vorhersagen. Bei einem kommerziellen Anbau und bei der Vermarktung werden jedoch sehr grosse Mengen Antibiotika-Resistenzgene in die Umwelt eingebracht, so dass damit zu rechnen ist, dass sie früher oder später auch auf Darm- oder Bodenbakterien übergehen werden. Im Sinne des Vorsorgeprinzips ist es nicht zu rechtfertigen, dass Antibiotika-Resistenzgene verfüttert und gegessen werden sollen. Selbst wenn horizontaler Gentransfer selten ist und Antibiotikaresistenzgene in der Umwelt bereits vorkommen: sie finden sich keineswegs überall und in allen Mikroorganismen(arten). Das bestehende Problem kann also durch den Einsatz von gentechnisch veränderten Organismen mit Antibiotikaresistenzgenen verschlimmert werden.

Literatur

- BUWAL (1999): Medienmitteilung 16.14. 1999: Gentech-Freisetzungsversuche mit Mais und Kartoffeln abgelehnt. <http://www.uvek.admin.ch/doku/presse/1999/d/99041601.htm>.
- Courvalain P. (1998): Plantes transgéniques et antibiotiques, La Recherche, 308.
- Eckelkamp C., Jäger M., Weber B. (1997a): Antibiotikaresistenzgene in transgenen Pflanzen, insbesondere Ampicillin-Resistenz in Bt-Mais. Öko-Institut e.V., Freiburg.
- Eckelkamp C., Jäger M., Tappeser B. (1997b): Verbreitung und Etablierung rekombinanter DNA in der Umwelt. Gutachten im Auftrag des Umweltbundesamt Berlin.
- RKI (1998): Pressemitteilung vom 14.2.1998: RKI warnt vor Auswirkungen des Antibiotikaeinsatzes in der Tiermast. <http://www.rki.de>.
- RKI (1999): Auf Antibiotikaresistenzmarker in gentechnisch veränderten Pflanzen sollte zukünftig verzichtet werden. Pressemitteilung des deutschen Robert Koch-Instituts vom 26.2.1999.
- Taz (1998): Ärzte waren von Gefahr durch Genmais. Taz 9.9.98.
- Woolf M. (1999): British Medical Association (BMA) sounds alarm on GM food. Sunday Independent, 16.5.1999.

5 Salat-Anbau in der Schweiz

5.1 Der nachhaltige Anbau von Salat: ein Idealszenario

Salat (*Lactuca sativa*) gehört zur Familie der *Compositae* (*Asteraceae*), die mit ihren etwa 10'000 Gattungen und 25'000 Arten zu den artenreichsten Familien des Pflanzenreiches gehören. Zum Anbau von Salaten eignen sich mittelschwere, humusreiche, durchlässige Böden mit guter Struktur und Wasserführung. Kopfsalat und Co. wachsen praktisch überall unter gemässigten Klimabedingungen, wobei für den Frühhanbau wärmebegünstigte Standorte vorzuziehen sind (Vogel 1996).

Der nachhaltige Anbau von Salat erfolgt in einer drei bis vierjährigen Fruchtfolge. So wird die Gefahr bodenbürtiger Krankheiten vermindert (Arbeitskreis Ökologischer Gemüsebau). Dank seiner kurzen Kulturzeit eignet sich Salat als Füllkultur in der Fruchtfolge, um Anbaulücken zu schliessen. In einem nachhaltigen Anbau wird weitestgehend auf den Einsatz von Pestiziden verzichtet. Bei der Anzucht wird auf den Einsatz von torfhaltigen Substraten verzichtet.

5.2 Der real existierende Anbau von Salat

Der real existierende Anbau von Salat in der Schweiz reicht von der energieaufwendigen Gewächshauskultur im Winter bis zum ökologisch „besten“ Verfahren der Direktsaat, die nur noch im Hochsommer vereinzelt durchgeführt wird.

Um der Nachfrage nach Salaten zu genügen, wird Salat auch im Winter in auf 8 bis 12°C beheizten Gewächshäusern produziert. Diese Methode ist sehr energieintensiv und entspricht nicht einem angemessenen Einsatz natürlicher Ressourcen. Sie ist somit die zur Zeit am wenigsten nachhaltige Methode in der Praxis. Im Freiland kann Salat ab Ende Februar gepflanzt werden. Die Anzucht der Jungpflanzen muss allerdings im Gewächshaus geschehen. Auch in diesem Fall ist das Heizen unumgänglich. Ausserdem werden zur Jungpflanzenanzucht in Presstöpfen¹ und beim Anbau im Gewächshaus grosse Mengen Torf als Substrat verwendet. Torf wird aus Hoch- und Niedermooren abgebaut, deren grösste Reserven in Nordeuropa, Kanada und Gebieten der ehemaligen UdSSR liegen. Diese Moore entstanden in mehreren hundert oder tausend Jahren, bis sie ihre heutige Form erhielten und im Falle der Hochmoore ihre mehrere Meter mächtige Torfschicht aufwiesen. Gemessen an der Geschwindigkeit des Abbaus muss bei Torf von einem nicht nachwachsenden Rohstoff gesprochen werden.

Nach dem Setzen ins Freiland werden die Salate zum Schutz vor der Kälte² je nach Zeitpunkt der Auspflanzung mit einfachem oder doppeltem Vlies abgedeckt. Das Vlies wird in der Regel höchstens zwei Mal verwendet, meistens sogar nur ein Mal. Die Verwendung von Vliesen ist sehr verbreitet und ist auch im biologischen Anbau unumgänglich, wenn der Salat vor Mitte Mai ausgepflanzt wird. Da die Vliese nicht und die Anzuchttöpfe und die Verpackung für die Setzlinge nur beschränkt wiederverwendbar sind, entstehen beim Salat- und allgemein im Gemüsebau grosse Mengen Abfall.

Sehr wenig verbreitet ist die ökologisch beste Variante, nämlich die Direktsaat. Dabei wird auf die Anzucht im Gewächshaus verzichtet, und der Salat wird direkt im Freiland gesät. Diese Methode weist, bei all ihren ökologischen Vorteilen bezüglich Arbeitsaufwand und Energieverbrauch einige anbautechnische und wirtschaftliche Probleme auf. Der Unkrautdruck ist bei der Direktsaat erheblich stärker. Auch gedeihen die Salatköpfe unterschiedlich schnell, was die Ernte aufwendiger macht, da nicht in einem Durchgang geerntet werden kann. Ein weiterer zusätzlicher Arbeitsschritt entsteht durch das Ausdünnen nach dem Auflaufen, das in Handarbeit verrichtet werden muss. Aus klimatischen Gründen ist die Direktsaat ab Juni bis in den Hochsommer möglich, aber nur die Saat im Hochsommer bringt Vorteile (gesäte Kultur wurzelt tiefer, besseres Wasseraufnahmevermögen).

5.3 Die Schlüsselprobleme des Anbaus von Salat

Die wichtigsten Probleme im Salatanbau, die zu Ertrags- und Qualitätseinbussen führen können, sind der Falsche Mehltau, der durch den Pilz *Bremia lactucae* hervorgerufen wird sowie die Salatwurzellaus. Ferner können auch Salatfäulen (Grauschimmel, Sklerotinia und Schwarzfäule) und Blattläuse zur Unverkäuflichkeit des Salats führen. Die Salatfäulen begünstigen sich oft gegenseitig im Befall, sie treten oft als Schwächeparasiten auf. Diese und weitere Schaderreger sind in Tabelle 14 aufgeführt.

¹ Die Anzucht der Salatpflanzen geschieht in kleinen Töpfchen in gepresstem Substrat, das bei der halbautomatischen Auspflanzung im Freiland stabil bleiben sollte. Im konventionellen Gemüsebau bestehen die Presstopferden zu 100 % aus Torf. Im biologischen Landbau sind 70 % Torfanteile zugelassen. Als Torfersatz werden Grünkomposte, Rindenumus, Kokosfasern oder Chinaschilf verwendet.

² Die Auspflanzung im Freiland erfolgt ab Ende Februar.

Tabelle 14: Bedeutung und Verbreitung von Schaderregern des Salats

Problem/Krankheit	Schaderreger	Bedeutung	Verbreitung
Falscher Mehltau	<i>Bremia lactucae</i>	***	weltweit
Salatwurzellaus	<i>Pemphigus bursarius</i>	***	regional
Grauschimmel	<i>Botrytis cinerea</i>	**	weltweit
Sklerotinia-Fäule	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>S. minor</i>	**	regional
Schwarzfäule	<i>Rhizoctonia solani</i>	**	weltweit
Keimlingskrankheiten	<i>Pythium ultimum</i> , <i>P. uncinulatum</i> , <i>P. polymastum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i>	**	weltweit
Ringfleckenkrankheit	<i>Marsoninna panattoniana</i>	*	weltweit
Bakterielle Fäulen	<i>Pseudomonas spp.</i> , <i>Erwinia carotovora</i> , <i>Xanthomonas spp.</i>	*	weltweit
Viren	Salatmosaik, Gurkenmosaik, Westliche Rübenvergilbung, Pseudo-Rübenvergilbung, Breitadrigkeit, Ringnekrose	*	weltweit
Wurzelgallennematoden	<i>Meloidogyne hapla</i> , <i>M. incognita</i>	*	weltweit
Blattläuse	<i>Myzus persicae</i> , <i>Macrosiphum euphorbiae</i> , <i>Nasonovia ribisnigri</i>	**	weltweit
Aderminierfliege	<i>Liriomyza huidobrensis</i>	*	regional
(Lattichfliege)	<i>Phorbia gnava</i>	*	regional
(Grauer Salatsamenwickler)	<i>Eucosma conterminana</i>	*	regional
Schnecken	<i>Deroceras spp.</i> , <i>Arion sp.</i>	**	regional
Drahtwürmer, Erdraupen...		*	regional

Mit "Bedeutung" sind die volkswirtschaftlichen Kosten gemeint, die durch das Problem entstehen; die Schaderreger bis zum Doppelstrich sind am problematischsten.

5.4 Die Lösungsstrategien

Prävention – Durch anbautechnische Massnahmen wie die sorgfältige Saatbettbereitung, die Vermeidung von Verletzungen bei den Feldarbeiten, ferner durch eine ausgewogene Düngung und durch die Förderung der Nützlinge in der Kulturlandschaft (Habitat management) werden Krankheiten und Schädlinge auf eine nachhaltige Weise kontrolliert. Durch eine mehrjährige Anbaupause wird bodenbürtigen Krankheiten vorgebeugt, und die Generationsfolge der Schädlinge kann unterbrochen werden.

Krankheits- und Schädlingstoleranz – Ein wichtiges Züchtungsziel ist die Erhaltung und Gewinnung von krankheits- und schädlingstoleranten Salatsorten; insbesondere der sich dauernd anpassende falsche Mehltaupilz stellt hohe Anforderungen an die Züchtung. Neben den Resistenzen werden als Ziele in der Züchtung die Bildung von gleichmässigen, festen Köpfen, die Farbe, die Schossfestigkeit und die hohe Ausbeute bei Einmal-ernte angeführt. Während mehrerer Jahre gab es viele Salatsorten, die gegen den Falschen Mehltau gute Resistenzeigenschaften aufwiesen. Laut neueren Forschungsberichten wurden diese Resistenzen jedoch von neuen Stämmen des Krankheitserregers überwunden (siehe Falscher Mehltau Seite 75). Neuerdings sind blattlausresistente Sorten (gegen *Nasonovia ribisnigri*) auf dem Markt.

Schaderregerbekämpfung – Im konventionellen Anbau werden Krankheiten und Schädlinge direkt mit **Fungiziden** bzw. **Insektiziden** bekämpft. Im biologischen Anbau ist zur Bekämpfung der Sklerotinia-Fäule ein mikrobielles **Antagonisten**-Präparat mit dem Namen Contans zugelassen. Es enthält den Hyperparasiten³ *Coniothyrium minitans*. Ein weiteres Beispiel für biologischen Pflanzenschutz in der Praxis ist der parasitische Pilz *Verticillium lecanii*, der zur Blattlausbekämpfung im Gewächshaus eingesetzt werden kann.

5.5 Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau

Züchtung – Insbesondere zur Vermeidung von Ertragsausfällen durch den Falschen Mehltau wird intensiv nach neuen resistenten Sorten geforscht. Dieser Forschungszweig erhält neue Brisanz, da es in letzter Zeit vermehrt zu Durchbrüchen bei lange stabilen Resistenzen gekommen ist (Zinkernagel *et al.* 1998). Die Resistenz gegen Wurzelläuse ist ein weiteres wichtiges Zuchtziel. Ferner wird auf Resistenz gegen das Salatmosaikvirus sowie geringe

³ Hyperparasiten befallen Parasiten

Anfälligkeit gegen Salatfäulen hin gezüchtet. Weitere Zuchtziele sind die Bildung fester, gleichmässiger und geschlossener Köpfe, eine hell- bis mittelgrüne Farbe, eine gut geschlossene Unterseite ohne Seitentriebe und eine hohe Ausbeute bei Einmalernnte, ferner grosse Köpfe und Schossfestigkeit (Arbeitskreis Ökologischer Gemüsebau).

Biologischer Pflanzenschutz – Bis heute ist kein biologisches Pflanzenschutzmittel gegen den Falschen Mehltau praxisreif. Jedoch wurden zahlreiche Versuchsergebnisse mit antagonistischen Mikroorganismen gegen Salatfäulen publiziert. Am vielversprechendsten waren dabei Präparate mit Pilzen der Gattung *Trichoderma*. Behandelte Pflanzen entwickelten sich nach einer Infektion mit *Sclerotinia sclerotiorum* deutlich besser als die Kontrolle (Inbar *et al.* 1996). Auch Salatschädlinge werden in Zukunft möglicherweise mit biologischen Mitteln kontrolliert werden. Zum Beispiel kommt der entomopathogene Pilz *Metarhizium anisopilae* zur Bekämpfung der Salatwurzellaus in Frage (Ellis *et al.* 1996). Schnecken können mit einem Nematodenpräparat bekämpft werden (Wilson *et al.* 1995).

Induzierte Resistenz – Durch die Behandlung mit Extrakten aus Hefen-Zellwänden beziehungsweise aus dem Pilz *Trichoderma harzianum* konnte in Salatpflanzen Resistenz gegen die Salatfäulen *Rhizocotonia solani* und *Botrytis cinerea* induziert werden. Zur Bekämpfung des Falschen Mehltaus liegen bisher keine Forschungsergebnisse im Bereich der Resistenzinduktion vor. Die Resistenzinduktion ist aber per definitionem unspezifisch und daher ist zu erwarten, dass sie auch gegen andere Pathogene wirksam wird (Meyer *et al.* 1998).

5.6 Hauptforschungsgebiete Gentechnik

5.6.1 Status Quo

Bisher gibt es vergleichsweise wenige Freisetzungen von gentechnisch veränderten Salatpflanzen (s. Tab. 15). Eine Marktzulassung ist bisher nicht erfolgt. In der EU sind bisher fünf Freisetzungen in Frankreich durchgeführt worden, in den USA erst 23 (RKI 1999, APHIS/USDA, 1999).

Gentechnisch vermittelte Herbizidtoleranz (HT) – ist in den USA die Eigenschaft, die bei Salat deutlich dominiert (Tabelle). Die Salatpflanzen sind gegen den Einsatz der Herbizide Roundup und Liberty tolerant.

Männliche Sterilität (MS) – kombiniert mit der Herbizidtoleranz ist ebenfalls eine Eigenschaft an der in den USA gearbeitet wird. Salat ist in hohem Masse selbstfertil, so dass es bisher nicht gelungen ist, hybride Salatpflanzen zu erzeugen.⁴

Pilzresistenter Salat – Die Entwicklung pilzresistenter Salatpflanzen wird zur Zeit nur in den USA bearbeitet. Dort sollten Resistenzen gegen Falscher Mehltau (*Bremia lactucae*) und den Rostpilz *Puccinia dioicae* erzeugt werden.

Virusresistenter Salat – Die Erzeugung von virusresistenten Salatpflanzen ist ein wichtiges Forschungsziel. In der EU stehen Resistenzen gegen das Salatmosaikvirus (LMV, Lettuce Mosaic Virus) im Vordergrund, in den USA wurden daneben auch TSWV-resistente Pflanzen freigesetzt (TSWV: Tomato Spotted Wilt Virus, Tomatenbronzefleckenvirus).

Markergene – In den meisten Fällen enthalten die transgenen Salatpflanzen auch Markergene, die Resistenz gegen das Antibiotikum Kanamycin verleihen (Transgen 1999).

Tabelle 15: Freisetzungsanträge für transgenem Salat in der EU und den USA: eingeführte Eigenschaften (nach RKI 1999, APHIS/USDA, 1999)

Eingeführte Eigenschaft	Anzahl Anträge EU	Anzahl Anträge USA
Herbizidtoleranz		10
Herbizidtoleranz; Männlich steril		3
Virusresistenz	2	6
Nitratreduktase	3	
Pilzresistenz		2
Yield increase		2

5.6.2 Potential

Für die grössten Probleme beim Salatanbau in der Schweiz (Pilzkrankheiten, die Salatwurzellaus, bakterielle Fäulen und Blattläuse) bietet die Gentechnik bisher keine Lösungsstrategien an. Viruserkrankungen, die in der Schweiz beim Salat allerdings eine untergeordnete Rolle spielen, können mit Hilfe der Gentechnik erfolgreich bekämpft werden, allerdings sind die gentechnischen Methoden mit Risiken behaftet (siehe Seite 23). Ob der hohe

⁴ Bei der Hybridzüchtung müssen Salatsorten miteinander gekreuzt werden, die nicht miteinander verwandt sind. Da Salat in hohem Masse selbstbefruchtend ist, war dies bisher schwierig.

Nitratgehalt durch die Einbringung von rekombinanter Nitratreduktase auch im Freiland reduziert werden kann, ist bisher nicht publiziert worden.

5.6.3 Risiken

Verwilderung – Salat ist eine einjährige Pflanze, die nur vor der Blüte für den menschlichen Verzehr geeignet ist. Wird der Salatkopf nicht geerntet, kommt es regelmässig zur Blüten- und Samenbildung. Salat ist nur bedingt winterhart, manche Kultivare tolerieren Temperaturen unter 0 °C nicht, andere vertragen Temperaturen bis minus 5 °C (de Vries *et al.* 1992). Bisher wurden Verwilderungen in der Schweiz nicht beobachtet.

Auskreuzung des Trans-Gens – Salat ist aufgrund der Blütenmorphologie in hohem Masse selbstbestäubend, 99% der entstehenden Samen sind durch Selbstbefruchtung entstanden (de Vries *et al.* 1992). Eine Auskreuzung auf verwandte Wildpflanzen wie *Lactuca serriola* (Stachellattich), *L. virosa* (Gifflattich), *L. saligna* (Weidenlattich) ist möglich. Alle diese Wildpflanzen kommen auch in der Schweiz vor, allerdings nur an speziellen Standorten. Da in Salatfeldern häufig Pflanzen zu finden sind, die Blüten und damit auch Pollen bilden, ist lokal damit zu rechnen, dass die rekombinanten Eigenschaften von Salat auf verwandte Wildpflanzen auskreuzen werden (Ammann *et al.* 1996).

Salat als Nahrungsmittel – Durch unbeabsichtigte Positionseffekte kann es zu Störungen des Stoffwechsels kommen (siehe Seite 93). Ebenso können sich rekombinante neuartige Eiweisse, mit denen der menschliche Körper bisher nicht in Kontakt gekommen ist, mit allergenen Eigenschaften entwickeln (siehe Seite 41).

Herbizidtoleranz – Bei der Freisetzung von Salatpflanzen steht bisher die Herbizidtoleranz im Vordergrund. Neben den im Exkurs Herbizidtoleranz (siehe Seite 79) dargestellten Folgen der Auskreuzung könnte vor allem die Rückstandssituation der verwendeten Totalherbizide selber problematisch werden, da ihre Toxikologie bisher nicht ausreichend untersucht worden ist.

Virusresistenz – Die Virusresistenz bei Salat wird durch die Hüllproteine der entsprechenden pathogenen Viren LMV und TSWV vermittelt. Durch diese Strategie ist ein effektiver Schutz gegen Virusbefall möglich, sie ist aber auch mit dem Risiko behaftet, dass durch Mechanismen wie Rekombination oder heterologe Enkapsidierung neuartige Viren oder Infektionswege entstehen können (siehe Seite 23).

Pilzresistenz – Die Pilzresistenzen beim Salat sollen vermutlich durch die Klonierung von Chitinasen erzeugt werden. Chitinasen sind pflanzeigene Abwehrproteine, die eine wichtige Substanz der pflanzlichen Zellwand, Chitin, zerlegen können. Die gentechnisch erzeugte Resistenz beruht darauf, dass die Menge der pflanzeigenen Chitinasen durch Überexpression von rekombinanten Chitinasen aus anderen Pflanzenarten erhöht wird. Diese Erhöhung der endogenen Chitinasekonzentration bewirkt eine verzögerte Entwicklung des Pilzerreger, jedoch keine vollständige Resistenz gegen Pilzkrankungen.

Chitinasen wirken nicht spezifisch, sondern sind gegen alle Pilze wirksam, die Chitin als Gerüstsubstanz enthalten. Pilze, die diese Substanz nicht enthalten, wie z.B. Oomyceten, werden folglich nicht bekämpft. Bei Eintrag von grösseren Mengen an Chitinasen, wie z.B. beim Unterpflügen von Pflanzenresten, ist zu erwarten, dass sich die Zusammensetzung der Pilzarten im Boden ändern wird. Oomyceten, wie z.B. *Bremia lactucae* könnten sich vermehrt ausbreiten (Raps *et al.* 1998). Darüberhinaus können auch phytophage Insekten Chitin im Exoskelett und im Verdauungstrakt enthalten. Es muss daher dringend untersucht werden, ob Chitinase-exprimierende Pflanzen einen schädlichen Einfluss auf diese Insektenarten ausüben können. Wichtig ist dabei, dass nicht nur direkte toxische Effekte untersucht werden, sondern auch Effekte auf Nützlinge, die sich von phytophagen Insekten ernähren (Raps *et al.* 1998).

Antibiotikaresistenzgene – Bei der Klonierung von Antibiotikaresistenzgenen als Markergene besteht die Gefahr der Genübertragung auf pathogene Bakterien. Da es sich bei dieser Methode zudem um ein veraltetes Verfahren handelt, sollte aus Vorsorgegründen auf Anbau und Vermarktung solcher Pflanzen verzichtet werden (siehe Seite 70).

5.7 Bewertung der heutigen Situation und Ausblick

Die höchsten Ertragsausfälle im Anbau von Salaten werden durch den **Falschen Mehltau** (*Bremia lactucae*) und die **Salatwurzellaus** verursacht, sowie durch verschiedene Pilzkrankheiten, die als **Salatfäulen** zusammengefasst werden.

Ökologische Ansätze: Der **Falsche Mehltau** bereitet grosse Probleme, weil sein Krankheitserreger sehr wandelfähig ist, und neu gezüchtete Resistenzen schnell durchbrochen werden. Eine wirksame Bekämpfungsstrategie kann also nur eine integrative sein, die anbautechnische Massnahmen wie die Regulierung des Bestandesklimas, die sorgfältige Jungpflanzenanzucht, direkte Behandlung mit Pflanzenschutzmitteln und den Einsatz toleranter Sorten einbezieht. Der Forschungsschwerpunkt im Bereich des Falschen Mehltaus liegt in der Züchtung neuer Sorten.

Die Bekämpfung der **Salatwurzellaus** erfolgt auch vorbeugend, nämlich durch die Wahl resistenter Sorten und die Kontrolle der Winterwirte der Laus.

Bei den **Salatfäulen** ist gegen den Erreger *Sclerotinia sp.* ein biologisches Präparat zugelassen. Erste Forschungsergebnisse, die von einer biologischen Bekämpfung von *Botrytis* berichten, liegen vor. Auch die Induktion der pflanzeigenen Abwehrkräfte durch eine Behandlung mit mikrobiologischen Induktoren konnte in wissen-

schaftlichen Versuchen belegt werden. In diesen beiden Gebieten besteht noch grosser Forschungsbedarf, bis solche Ansätze in eine nachhaltige Strategie integriert werden können.

Gentechnische Ansätze: Für die Bekämpfung der **Salatwurzellaus** gibt es bisher keine gentechnischen Lösungen. Auch bei der Herstellung von **pilzresistenten Salatpflanzen** steht die Gentechnik am Anfang. Da es sich bei Pilz-Pflanze-Interaktionen um komplexe Wirkmechanismen handelt, ist auch nicht anzunehmen, dass monogene gentechnische Ansätze in nächster Zeit zu marktfähigen pilzresistenten Salatarten führen. Dagegen sind **herbizidtolerante** Salatpflanzen an erster Stelle der Freisetzungsskala, obwohl Unkraut im Salatanbau verglichen mit anderen Gemüsepflanzen ein relativ kleines Problem darstellt. Mit gentechnischen Methoden können heute vor allem **Viruserkrankungen** des Salats erfolgreich bekämpft werden. Diese Erkrankungen spielen aber bisher in der Schweiz keine Rolle. Zudem ist die Klonierung von viralen Hüllproteinen mit Risiken verbunden, die bisher in ihrer Tragweite nicht eingeschätzt werden können.

5.8 Schadorganismen im Salatanbau

5.8.1 Falscher Mehltau (*Bremia lactucae*)

Der Erreger des Falschen Mehltaus *Bremia lactucae* kann den Salat während der ganzen Vegetationszeit befallen. Zuerst werden an den Oberseiten der älteren Blätter grössere, gelbe Flecken sichtbar, die gewöhnlich von den Blattadern begrenzt sind. Auf der Unterseite der Blätter entwickelt sich der Sporenrasen des Pilzes. Später werden die Befallstellen braun. Der Befall mit *B. lactucae* wird gefördert durch lange Feuchtperioden, sei es infolge Niederschlägen oder Bewässerung (Crüger 1991). Die möglichen Quellen des Primärinokulums sind laut Davis *et al.* (1997) das Saatgut, Oosporen in Pflanzenrückständen, Inokulum von wilden *Lactuca*-Arten und Sporangien von nahen Salatbeeten. Dank sexueller Vermehrung weist der Pilz eine sehr hohe Variabilität auf und hat bisher durch die Entwicklung neuer Pathotypen mehrfach die 16-fache Resistenz neuer Salat-Sorten gebrochen (Crüger 1991).

Strategien in der Praxis – Mit dem Anbau teilresistenter Sorten kann örtlich über einen gewissen Zeitraum der Befall mit *B. lactucae* vermieden werden. Auf diese Weise konnte der falsche Mehltau während vieler Jahre gut kontrolliert werden. Neue Stämme des Pathogens haben diese Resistenzen jedoch überwunden. Dem Falschen Mehltau kann durch eine Regulierung des Bestandesklimas vorgebeugt werden, namentlich müssen längere Blattfeuchtperioden vermieden und die Luftfeuchtigkeit im Bestand möglichst gering gehalten werden (Crüger 1991; Davis *et al.* 1997). In der integrierten Produktion kann eine direkte Bekämpfung mit Fungiziden schon während der Anzucht oder nach der Auspflanzung erfolgen oder durch den Einsatz von systemischen und anderen Fungiziden bis drei Wochen vor der Ernte (Schwarz *et al.* 1990).

Forschung ohne Gentechnik – Das Hauptgewicht der Forschung nach neuen Lösungen des Problems „Falscher Mehltau“ im Salatanbau liegt auf der Züchtung neuer Sorten mit guten Resistenzeigenschaften (z.B. Bonnier *et al.* 1994). Auch in der Schweiz gibt es Versuche, die Salatarten nach ihren Resistenzeigenschaften gegen *B. lactucae* überprüfen (Wigger *et al.* 1996). Allerdings kommt es immer wieder zu Resistenzdurchbrüchen, wie unlängst von Zinkernagel *et al.* (1998) berichtet wurde.

Forschung Gentechnik – In den USA ist bereits eine gentechnisch veränderte Salatlinie, die gegen Falschen Mehltau resistent sein soll, freigesetzt worden. Es ist jedoch nicht publiziert worden, welche Resultate bei den Feldversuchen erzielt wurden. Über die verwendeten Gene lassen sich ebenfalls keine Aussagen treffen, da diese Angaben vertrauliche Firmeninformationen (CBI: Confidential Business Information) sind (APHIS/USDA 1999).

5.8.2 Salatwurzellaus (*Pemphigus bursarius*)

Die Salatwurzellaus (*Pemphigus bursarius*) fügt dem Salat durch ihre Saugtätigkeit Wachstumsbeeinträchtigungen zu. Die Kopfbildung erfolgt mangelhaft. Die Salatwurzellaus befällt neben Kopfsalat auch Endivie, Chicorée und zahlreiche andere Korbblütler. Sie überwintert in der Regel als Ei auf Schwarzpappeln. Beim Austrieb des Winterwirts schlüpfen die Larven, die an den Blattstielen Gallen bilden. Ab Anfang Juni platzen die Gallen auf und geflügelte Wanderläuse suchen die Sommerwirtspflanzen auf, wo sie wiederum ihre Larven absetzen. Der Befall durch die Salatwurzellaus wird durch warme und trockene Witterung im Sommer begünstigt (Schwarz *et al.* 1990).

Strategien in der Praxis – Die indirekte Bekämpfung der Salatwurzellaus erfolgt durch die Wahl von wurzellausresistenten oder -toleranten Sorten. Bewässerung hemmt die Entwicklung der Läuse, wobei zu viel Feuchtigkeit wiederum Pilzkrankheiten wie den Falschen Mehltau begünstigt. Ferner kann dem Befall durch die Salatwurzellaus durch die Ausmerzungen der Winterwirte in der Nähe des Salatanbaus vermindert werden. In der integrierten Produktion können die Läuse durch eine Bodenbehandlung mit spezifischen Insektiziden, die Behandlung der Setzlinge vor dem Auspflanzen sowie die Anwendung von Insektizidgranulaten zur Pflanzung direkt bekämpft werden (Schwarz *et al.* 1990). Eine chemische Bekämpfung ist laut (Crüger 1991) allerdings nur selten wirtschaftlich.

Forschung ohne Gentechnik – In Feldversuchen testeten Ellis *et al.* (1996) verschiedene Komponenten einer integrierten Bekämpfung von Blattläusen und der Salatwurzellaus. Dabei wurde ein Prognosemodell entwickelt, das die Vorhersage des Zeitpunkts des Einflugs der Entwicklung der folgenden Generationen zulässt. Laut

den englischen Forschern kann der enthomopatogene Pilz *Metarhizium anisopliae* als biologisches Bekämpfungsmittel verwendet werden.

Forschung Gentechnik – Bisher sind für Salat keine gentechnischen Ansätze publiziert worden.

5.8.3 Pilzliche Salatfäulen (Grauschimmel, Sklerotinia, Schwarzfäule)

Pilzliche Salatfäulen werden durch verschiedene Erreger verursacht. Man unterscheidet Grauschimmel (Erreger: *Botrytis cinerea*), Sklerotiniafäule (*Sclerotinia sclerotiorum*, *S. minor*) und Schwarzfäule (*Rhizoctonia solani*). Die drei Fäulepilze werden jeweils begünstigt durch den Befall einer anderen Fäule. Häufig sind auch Mischinfektionen mit Bakterienfäulen.

Grauschimmel äussert sich durch Einschnüren und Durchfäulen des Wurzelhalses. Auf den Blättern ist häufig ein graubrauner Pilzrasen sichtbar. *B. cinerea* wird durch Sporenflug oder über den Boden übertragen. Zur Infektion sind abgestorbene oder verletzte Pflanzenteile vonnöten, gesundes Gewebe wird nicht befallen. Das Pathogen der Grauschimmelfäule ist praktisch überall vorhanden.

Salatfäulen können auch durch *Sclerotinia sclerotiorum* und *S. minor* verursacht werden, wovon erstere die wichtigere ist. Bei einer Infektion werden zuerst die äusseren Blätter des Salats befallen, schliesslich welkt der ganze Kopf und fällt in sich zusammen. Das weissliche Pilzgeflecht entwickelt später auch Dauerkörper (Sklerotien), die in trockenem Boden bis zu sieben Jahre überdauern können. Die Infektion erfolgt vornehmlich über ein im Boden wachsendes Myzel.

Die auf dem Boden aufliegenden Blätter der mit *Rhizoctonia solani* befallenen Salatköpfe färben sich schwarzbraun. Bei kühlen und feuchten Witterungsbedingungen dringt die Fäulnis von unten her in den Kopf vor. Der Pilz bildet hellbraune Sklerotien auf dem zerfallenden Pflanzengewebe. *R. solani* ist sehr verbreitet in unseren Kulturböden und durchwächst die obere Bodenschicht als Myzel. In den letzten Jahren hat seine Bedeutung zugenommen, da der Erreger von den gegen die Salatfäulen eingesetzten Fungiziden nur ungenügend erfasst wird (Crüger 1991; Schwarz *et al.* 1990).

Strategien in der Praxis – Um Salatfäulen präventiv zu bekämpfen, werden die Ausbreitungsbedingungen für die Schaderreger möglichst ungünstig gehalten. Dies geschieht in erster Linie über eine Regulierung eines trockenen Bestandesklimas durch den Anbau von hochwüchsigen Sorten und hohes Setzen. Vorbeugende Massnahmen gegen *B. cinerea* ist ferner eine harmonische Düngung. Gegen Schwarzfäule wirkt eine ausreichend weite Fruchtfolge, die nach den Richtlinien der integrierten Produktion mindestens drei Jahre betragen muss. Die Wahl von toleranten Sorten zeigt gegen die Schwarzfäule auch eine Wirkung, wohingegen Fungizidbehandlungen weitgehend ineffektiv bleiben. Die direkte Bekämpfung mittels Fungiziden im konventionellen Anbau wirkt gegen *B. cinerea* und *S. sclerotiorum*. Im biologischen Landbau ist gegen *S. sclerotiorum* ein Präparat namens Contans zugelassen. Es enthält den hyperparasitischen Pilz *Coniothyrium minitans*.

Forschung Biologischer Pflanzenschutz – McQuilken *et al.* (1994) zeigten, dass mit Kompostextrakten, die eine Vielzahl an verschiedenen Ascomyceten, Bakterien und Pilzen beinhalteten, die Befallsstärke durch *B. cinerea* auf Salat vermindert wird. Inbar *et al.* (1996) konnten die Befallsstärke mit *Sclerotinia sclerotiorum* durch eine Behandlung des Salats mit einem *Trichoderma harzianum*-Präparat zwar nicht signifikant verringern, trotzdem entwickelten sich die behandelten Pflanzen deutlich besser als die Kontrolle. Die Unterdrückung von *S. sclerotiorum* durch den Pilz *T. harzianum* wurde dabei auf eine Parasitierung der Hyphen des Krankheitserregers zurückgeführt. Mit einer anderen *Trichoderma*-Art (*T. viride*) konnten auch der Befall mit *Rhizoctonia solani* reduziert werden, so dass eine Erhöhung des Ertrags erreicht wurde (Coley Smith *et al.* 1991). Durch eine Behandlung des Bodens mit *Laetisaria arvalis* kann laut Lewis & Papavizas (1992) der Fäulnisbefall von Jungpflanzen durch *R. solani* reduziert werden.

Forschung Induzierte Resistenz – In Wasser gelöste Hefen-Zellwände schützten in einem Versuch von Reglinski *et al.* (1995) Salat vor dem Befall mit *Botrytis cinerea* und *Rhizoctonia solani*. Dabei war die Wirkung des Extraktes nicht auf antifungale Aktivität der Hefen zurückzuführen. In parallelen Versuchen mit Soyabohnen wurde durch die selbe Behandlung eine erhöhte Produktion von Phytoalexinen seitens der Pflanze induziert. Meyer *et al.* (1998) führten Versuche durch, in denen *B. cinerea* auf Salat mit einem *Trichoderma harzianum*-Stamm erfolgreich bekämpft wurde. Die Forscher schlossen aus ihren Resultaten, dass die beobachtete Unterdrückung des Befalls nicht nur auf antifungale Aktivität zurückzuführen war sondern auch auf die Induktion der pflanzeigenen Abwehrmechanismen.

Forschung Gentechnik – Bisher sind für Salat keine gentechnischen Ansätze publiziert worden.

5.8.4 Blattläuse

Blattläuse schädigen den Salat durch ihre Saugtätigkeit, die zu Misswuchs und Verkrüppelungen führt, und durch die Übertragung von Viruskrankheiten. Blattläuse überwintern als Eier auf ihrem spezifischen Winterwirt. Dort schlüpfen die lebend gebärenden Stammütter (Fundatrices), die auf dem Winterwirt zunächst zwei bis drei ungeflügelte Generationen gründen. Danach entstehen aus Vertretern dieser Generationen geflügelte Weibchen, die auf den Sommerwirt wechseln, wo diese neue Generationen gründen. Bei zunehmender Dichte entstehen wiederum geflügelte Läuse, die im Herbst zur sexuellen Vermehrung und Eiablage auf den Winterwirt zurückkehren.

Strategien in der Praxis – Durch die Förderung von Nützlingen können Blattläuse indirekt reguliert werden. Ferner sollten nahe Winterquartiere und Virusquellen möglichst ausgeschaltet werden. Im Gewächshaus ist eine

biologische Bekämpfung mit dem parasitischen Pilz *Verticillium lecanii* möglich. Im Freiland und im Gewächshaus können die Blattläuse auch durch den Einsatz von chemischen und biologischen Insektiziden bekämpft werden (Schwarz *et al.* 1990). Laut Crüger (1991) ist dabei ein gelegentlicher Wirkstoffwechsel vorzunehmen, um eine Selektion resistenter Blattläuse zu verhindern. Neuerdings sind blattlausresistente Eisberg- und Kopfsalat-Sorten (gegen *Nasonovia ribisnigri*) auf dem Markt.

Forschung ohne Gentechnik – Quentin *et al.* (1995) untersuchten verschiedene prädatorenartige Insekten auf ihren Nutzen als biologisches Blattlausbekämpfungsmittel beim Salat-Anbau im Gewächshaus. Der Einsatz eines Präparats mit Eiern der Florfliege *Chrysoperla carnea* war erfolgreich. Die Larven der Florfliege ernähren sich von Blattläusen. Das beste Resultat wurde erreicht, wenn die Eier schon auf die jungen Salatpflanzen appliziert wurden, bevor die Auspflanzung erfolgte.

Forschung Gentechnik – Bisher sind für Salat keine gentechnischen Ansätze publiziert worden.

5.8.5 Schnecken (*Deroceras spp.*, *Arion spp.*, *Milax spp.*, *Limax spp.*)

Ackerschnecken (*Deroceras spp.*), Spanische Wegschnecken, Gartenwegschnecken (*Arion hortensis*), Kielnacktschnecken (*Milax spp.*) und Egelschnecken (*Limax spp.*) sind polyphage Schädlinge. Schnecken fressen an allen in Mitteleuropa angebauten Kulturpflanzen und bevorzugen dabei das zarte Gewebe von Jungpflanzen. Das Schadbild äussert sich als unregelmässigen Schab- vor allem aber als Loch- oder Blattrandfrass, stärkere Blattadern werden verschont. Schnecken können Viren und andere Pathogene übertragen. Sie treten besonders häufig auf schweren Böden auf, sind vorwiegend nachtaktiv und halten sich tagsüber an feuchten, schattigen Plätzen auf. Diese Verstecke finden sich oft an Grabenrändern, Felddrainen, Hecken sowie in Wiesen und Weiden, von wo aus sich die Schnecken nachts in die Beete und Felder ausbreiten (FiBL 1996; Hoffmann & Schmutterer 1983; Schwarz *et al.* 1990).

Strategien in der Praxis – Vorbeugende Massnahmen gegen Schnecken sind die Wahl eines geeigneten Standortes mit geringem Schneckenrisiko, die Bearbeitung eines feinen Saatbetts und die sorgfältige Anzucht kräftiger Jungpflanzen. Ferner sollten in der Umgebung der Salatkultur Unterschlupfmöglichkeiten wie z.B. Ernteabfälle entfernt werden. Die Verschiebung des Bewässerungszeitpunkts vom Abend in den Morgen beugt dem Schneckenbefall ebenfalls vor. Am Übergang zu Grünland sollte ein etwa ein Meter breiter Streifen kurz geschnitten werden, oder es kann ein Schneckenzaun errichtet werden. Diese Massnahme ist allerdings sehr aufwendig und nur im intensiven, kleinflächigen Anbau geeignet (FiBL 1996).

Forschung ohne Gentechnik – Seit 1994 ist in England ein Nematodenpräparat gegen Schnecken erhältlich. Um eine dem herkömmlichen Methiocarb vergleichbare Wirkung zu erzielen, müssen die Nematoden in relativ grossen Mengen ausgebracht werden, und der Erfolg scheint erheblich vom Anwendungszeitpunkt des Präparates abzuhängen (Wilson *et al.* 1995). Aus finanziellen Gründen eignet sich diese Bekämpfungsmethode allerdings nur für den Gartenbau. Zum Teil wurde auch mit dem Einsatz von Laufkäfern Bekämpfungserfolge erzielt, allerdings wurden die Versuche immer in kontrollierten Topfversuchen durchgeführt, für eine Behandlung im Freiland, aber auch im Gewächshaus wären wohl unpraktikabel grosse Anzahl an räuberischen Käfern notwendig. Versuche mit den Laufkäferarten *Abax parallelepipedus* (Symondson 1989) *Pterostichus melanarius* (Symondson *et al.* 1996) und *Megadromus antarcticus* (Chapman *et al.* 1997) wurden publiziert.

Forschung Gentechnik – Bisher sind für Salat keine gentechnischen Ansätze publiziert worden. Die gentechnischen Ansätze zur Schneckenbekämpfung bewegen sich bisher noch auf dem Niveau der Grundlagenforschung.

Literatur

- Ammann K., Jacot Y., Rufener Al Mazyad P. (1996): Field release of transgenic crop in Switzerland, an ecological risk assessment. In: Schulte E, Käppeli O (Hrsg.). Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft? Band I, Materialien. Eine Publikation des Schwerpunktprogramms Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern.
- APHIS/USDA (1999): <http://www.aphis.usda.gov/biotech/>
- Arbeitskreis Ökologischer Gemüsebau: Kulturdatenblatt Kopfsalat. Wetzlar, Beratungsunterlage.
- Bonnier F.J.M., Reinink K. & Groenwold R. (1994): Genetic analysis of *Lactuca* accessions with new major gene resistance to lettuce downy mildew. *Phytopathology*, 84 (5), 462-468.
- Chapman R.B., Simeonidis A.S., Smith J.T. & M O.C. (1997): Evaluation of metallic green ground beetle as a predator of slugs. *Proceedings of the Fiftieth New Zealand Plant Protection Conference, Lincoln University, Canterbury, New Zealand*, 51-55.
- Coley Smith J.R., Ridout C.J., Mitchell C.M. & Lynch J.M. (1991): Control of bottom rot disease of lettuce (*Rhizoctonia solani*) using preparations of *Trichoderma viride*, *T. harzianum* or tolclofos-methyl. *Plant Pathology*, 40 (3), 359-366.
- Crüger G. (1991): Pflanzenschutz im Gemüsebau. Ulmer, Stuttgart.
- Davis R.M., Subbarao K.V., Raid R.N. & Kurtz E.A. (1997): Compendium of Lettuce Diseases. St. Paul, Minnesota.
- de Vries F.T., van der Meijden R., Brandenburg, W.A. (1992): Botanical files - A study of real chances for spontaneous gene flow from cultivated plants to the wild flora of the Netherlands. *Gorteria Suppl* 1.

- Ellis P.R., Tatchell G.M., Collier R.H., Parker W.E., Finch S. & Brunel E. (1996): Assessment of several components that could be used in an integrated programme for controlling aphids on field crops of lettuce. *Integrated control in field vegetable crops*, 19 (11), 91-97.
- FiBL (1996): Merkblatt Biokulturen vor Schnecken schützen. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, CH-Frick.
- Hoffmann G.M. & Schmutterer H. (1983): Parasitäre Krankheiten und Schädlinge an landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. (Vol. 488), Ulmer, Stuttgart.
- Inbar J., Menendez A. & Chet I. (1996): Hyphal interaction between *Trichoderma harzianum* and *Sclerotinia sclerotiorum* and its role in biological control. *Soil Biology and Biochemistry*, 28 (6), 757-763.
- Lewis J.A. & Papavizas G.C. (1992): Potential of *Laetisaria arvalis* for the biocontrol of *Rhizoctonia solani*. *Soil Biology and Biochemistry*, 24 (11), 1075-1079.
- McQuilken M.P., Whipps J.M. & Lynch J.M. (1994): Effects of water extracts of a composted manure-straw mixture on the plant pathogen *Botrytis cinerea*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 10 (1), 20-26.
- Meyer G.d., Bigirimana J., Elad Y., Hofte M. & De Meyer G. (1998): Induced systemic resistance in *Trichoderma harzianum* T39 biocontrol of *Botrytis cinerea*. *European Journal of Plant Pathology*, 104 (3), 279-286.
- Raps A., Hilbeck A., Bigler F., Fried P. M., Messmer M. (1998): Konzept und praktische Lösungsansätze zur anbaubegleitenden Forschung beim Einsatz transgener Kulturarten. Publikation der Fachstelle Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des Schwerpunktprogrammes Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Basel, TA-Projekt Nachhaltige Landwirtschaft, 1997-1999, Band 2/6.
- Quentin U., Hommes M. & Basedow T. (1995): Studies on the biological control of aphids (Hom., Aphididae) on lettuce in greenhouses. *Journal of Applied Entomology*, 119 (3), 227-232.
- Reglinski T., Lyon G.D. & Newton A.C. (1995): The control of *Botrytis cinerea* and *Rhizoctonia solani* on lettuce using elicitors extracted from yeast cell walls. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 102 (3), 257-266.
- RKI (1999): Produkte für die ein Inverkehrbringen in der Europäischen Union (EU) gemäss Richtlinie 90/220/EWG beantragt oder genehmigt wurde. Stand 30.6.1999. <http://www.rki.de/GENTEC/INVERKEHR/INVKLIST.htm>.
- Schwarz A., Etter J., Künzler R., Potter C. & Rauchenstein H.R. (1990): Pflanzenschutz im integrierten Gemüsebau. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen, 320 S.
- Symondson W.O.C. (1989): Biological control of slugs by carabids. *Monograph, British Crop Protection Council*, No. 41, 295-300.
- Symondson W.O.C., Glen D.M., Wiltshire C.W., Langdon C.J. & Liddell J.E. (1996): Effects of cultivation techniques and methods of straw disposal on predation by *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae) upon slugs (Gastropoda: Pulmonata) in an arable field. *Journal of Applied Ecology*, 33 (4), 741-753.
- Transgen (1999): <http://www.transgen.de>
- Vogel G. (1996): Handbuch des speziellen Gemüsebaus. Ulmer, Stuttgart.
- Wigger A., Papis S. & Piuz J.F. (1996): Trials 1995. *Revue Horticole Suisse*, 70 (5-6), 140-143.
- Wilson M.J., Glen D.M., George S.K. & Hughes L.A. (1995): Biocontrol of slugs in protected lettuce using the rhabditid nematode *Phasmarhabditis hermaphrodita*. *Biocontrol Science and Technology*, 5 (2), 233-242.
- Zinkernagel V., Wegener D., Hecht D. & Dittebrandt R. (1998): The population of *Bremia lactucae* to downy mildew fungus of lettuce in Germany. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, 50 (1), 13-17.

Exkurs: Herbizidtolerante Pflanzen

An erster Stelle der angewandten pflanzlichen Gentechnik stehen zur Zeit herbizidtolerante (HR) Pflanzen. 71% der 1998 kommerziell angebauten gentechnisch veränderten Pflanzen trugen das Merkmal Herbizidtoleranz (James 1998). Toleranzen gegen die Herbizide "Liberty" (früher "BASTA", Hoechst/AgrEvo) und „Roundup“ (Monsanto) haben dabei die grösste Bedeutung.⁵ Sie gehören zu Gruppe der sogenannten "Total- oder Breitbandherbizide", die nicht, wie die bisher verwendeten "selektiven Herbizide", nur gegen spezielle Unkräuter wirken, sondern (fast) alle Pflanzen vernichten, die mit ihnen in Berührung kommen. Ihr Einsatz in der Landwirtschaft war daher bislang beschränkt. Um die Totalherbizide breiter nutzen zu können, wurden verschiedenste Kulturpflanzen durch den Einbau von bakteriellen Toleranzgenen gentechnisch so verändert, dass sie den Einsatz von Breitbandherbiziden überstehen.⁶ Das Merkmal Herbizidtoleranz findet sich in allen wichtigen landwirtschaftlichen Kulturen z.B. in Mais, Raps, Soja, Zuckerrübe, Reis, Baumwolle, Kartoffel, Tabak und Weizen (van Aken & Heidenreich 1998). Sollten sich herbizidtolerante Pflanzen im landwirtschaftlichen Anbau weiter durchsetzen, werden die Herbizide Liberty und Roundup in Zukunft auf grossen Flächen eingesetzt.⁷ Beikräuter, die durch diese Komplementärherbizide nicht oder zumindest nicht so gut bekämpfbar sind, können sich vermehrt ausbreiten, es sei denn, es werden Tankmischungen von Breitband- mit Selektivherbiziden verwendet.

Von den Firmen, die das gentechnische Saatgut und die entsprechenden Herbizide im Doppelpack vermarkten, wird in Aussicht gestellt, dass durch die neue Technologie deutlich umweltfreundlichere Herbizide verwendet und die bisher eingesetzten Herbizidmengen deutlich verringern werden können. Allerdings sind die Einsparungen bisher in vielen Kulturen nicht so hoch, wie in den Pressemitteilungen der Herstellerfirmen suggeriert wird. In manchen Pflanzenkulturen wurden sogar gar keine Einsparungen festgestellt (siehe auch Seite 99). Auch die "Umweltfreundlichkeit" der Totalherbizide ist umstritten. Einer in Deutschland durchgeführten Technikfolgenabschätzung zufolge sind sie nicht grundsätzlich als umweltverträglicher einzustufen als die bisher gebräuchlichen Herbizide (Sandermann 1994; Wilcke 1994). So können Liberty und Roundup z.B. im Boden negative Wirkungen entfalten, da beide Herbizide antimikrobiell wirken. Wird Liberty, in grossen Mengen appliziert, können für Pflanzen nützliche Bodenmikroorganismen beeinträchtigt und Pflanzenkrankheiten hervorrufoende Mikroorganismen gefördert werden (Ahmad *et al.* 1995). Unter dem Selektionsdruck von Liberty-Anwendungen sind somit starke Veränderungen der Zusammensetzung der Mikroorganismenpopulationen in den betreffenden Gebieten zu erwarten (Sandermann 1994). Wie dauerhaft die durch den Anbau transgener Liberty-toleranter Pflanzen und die durch die Herbizidapplikation in der Bodenflora hervorgerufenen Veränderungen sein werden und ob bzw. nach welchen Erholungszeiten der vorher bestehende Status wieder hergestellt werden kann, lässt sich bisher nicht abschätzen. Dafür ist über mikrobielle Ökologie zuwenig bekannt.

Im Gegensatz zu früher publizierten Daten zeigt sich jetzt auch, dass Liberty (BASTA) Nützlinge schädigen kann. Seit 1998 wird dieses Mittel von der deutschen BBA als schädigend für Zwergspinnen eingestuft. Auch Raubmilben und Wasserflöhe können durch Liberty und BASTA beeinträchtigt werden (Meyer 1999).

Ein weiteres Risiko des Anbaus herbizidtoleranter Pflanzen sind Rückstände, Verunreinigungen und Umwandlungsprodukte der Herbizide. So kann der Wirkstoff von Roundup, Glyphosat, im Langzeitversuch die Fortpflanzung von Säugetieren beeinträchtigen. Zudem steht Glyphosat seit kurzem im Verdacht, das Risiko zu erhöhen, an der Krebsart „Non-Hodgkin-Lymphom“ zu erkranken (Hardell & Eriksson 1999). Es ist aber nicht nur mit den Rückständen der Herbizide selber, sondern auch mit ihren Abbauprodukten in der Pflanze zu rechnen. So zeigte sich bei Fütterungsversuchen mit Ratten, dass ein in transgenen Pflanzen gebildetes Umwandlungsprodukt des herbiziden Wirkstoffs von Liberty (L-Phosphinotricin) durch Mikroorganismen im Darm wieder in den herbiziden Wirkstoff zurückverwandelt und in dieser Form wieder ausgeschieden werden kann.⁸ Wildtiere, die Liberty-behandelte herbizidtolerante Pflanzen fressen, werden also mit den toxikologischen Wirkungen des Herbizids im Darm konfrontiert. Die durch die Liberty-Applikation verursachten Rückstandsmengen von Phosphinotricin werden dadurch praktisch endogen im Tier nochmals erhöht und damit die toxikologischen Auswirkungen der Liberty-Aufnahme verstärkt (Eckelkamp *et al.* 1997).

Die Praxistauglichkeit der Herbizidtoleranzstrategie wird stark davon abhängen, ob herbizidtolerante „Unkräuter“ auftreten. Im konventionellen Anbau hat sich bereits gezeigt, dass Beikräuter bei jedem Herbizid, das in grossem Umfang eingesetzt wird, spontan Resistenzen gegen diese Herbizide entwickeln können (Eckelkamp *et al.* 1997). Auch bei Roundup sind solche Resistenzen in Gegenden in Australien, in denen dieses Herbizid in grossem Umfang eingesetzt wurde, bereits aufgetreten (Weber 1997). Zudem können Unkräuter nicht nur auf klassischem Wege Resistenzen entwickeln. Gentechnisch veränderte herbizidtolerante Pflanzen können ihre Transgene auch auf verwandte Wildpflanzen/Beikräuter übertragen z.B. via Pollenflug, die so ebenfalls tolerant gegen die betreffenden Herbizide werden (S. Kapitel Raps, Salat). Herbizidtolerante Beikrautpopulationen stellen die HR-Strategie in Frage, weil solche auf dem Acker unerwünschten HR-Pflanzen durch die entsprechenden Herbizide

⁵ Die Wirkstoffe dieser beiden Herbizide sind „Phosphinotricin (Glufosinat)“ für Liberty und „Glyphosat“ für Roundup.

⁶ Das von der Firma AgrEvo verwendete Liberty-Resistenzgen „*pat*“ stammt aus einem Stamm des Bakteriums *Streptomyces viridochromogenes*, der aus einer Bodenprobe in Kamerun isoliert wurde (Bayer *et al.* 1972). Das für die Glyphosatresistenz genutzte EPSPS-Gen (5- Enolpyruvylshikimat-3-phosphat-synthase) wurde aus *Agrobacterium* spCP4 isoliert.

⁷ Die US-amerikanische Landwirtschaftsbehörde „USDA“ (United States Department of Agriculture) hat bereits in einer Statistik festgestellt, dass der zunehmende Anbau von Roundup-Ready Sojabohnen zu einem 72%-igem Zuwachs des Verbrauchs an Glyphosat (Wirkstoff von „Roundup“) geführt hat.

⁸ Bei Fütterung einer 3 mg/kg Einzeldosis von chemisch synthetisiertem N-Acetyl-L-Phosphinotricin, das noch einen Anteil von 4,5 % D,L-Phosphinotricin enthielt, wurden bei Ratten immerhin 10 % als L-Phosphinotricin ausgeschieden (Leist & Bremmer 1995).

nicht mehr bekämpfbar sind. Da viele Nutzpflanzenarten mit den gleichen Herbizidtoleranzgenen ausgestattet wurden, würde durch deren grossflächige Nutzung ein enormer Selektionsdruck hin zu entsprechenden toleranten Unkräutern aufgebaut. Nicht nur die landwirtschaftlichen Flächen wären dabei betroffen, sondern auch Acker- randstreifen und andere, den herbizidbehandelten Feldern benachbarte Ökosysteme, da beim Ausbringen von Herbiziden immer eine gewisse Wind-Verdriftung stattfindet. Auf allen Flächen, die mit den Komplementärherbiziden behandelt werden, würde für Herbizid-tolerante Wildkräuter ein deutlicher Selektionsvorteil bestehen. Dadurch könnte es zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung in allen Ökosystemen kommen, die durch die entsprechenden Totalherbizide belastet sind. Eine Artenverdrängung wäre nicht nur auf die Pflanzenpopulation beschränkt, sondern würde auch die mit den Pflanzen vergesellschaftete Insektenfauna betreffen. So warnen US-amerikanische Wissenschaftler schon jetzt, dass ein vermehrter Roundup-Einsatz das Schwalbenwurzgewächs „Milkweed“, die Hauptnahrungspflanze von Monarchfalterraupen, so stark dezimieren könnte, dass die gesamte Monarchfalterpopulation bedroht wird (Hartzler 1999).

Mittlerweile wird aus den oben genannten Gründen auch für die Herbizidtoleranzen ein grossflächiges Resistenzmanagement diskutiert, das eventuell für ganze Regionen über mehrere Rotationen hin erfolgen müsste (Korell *et al.* 1997). Der dafür notwendige Planungs- und Überwachungsaufwand wurde bisher noch kaum öffentlich thematisiert. Offensichtlich ist aber, dass damit der Landwirt in weitere Abhängigkeiten und Zwänge gerät, die eigenständige Entscheidungen immer weniger zulassen (Tappeser & Eckelkamp 1999).

Fazit: Herbizidtoleranz als Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft?

Die HR-Technologie schreibt den Einsatz von Herbiziden für die Beikrautbekämpfung fest. Alternative Verfahren, wie z.B. die mechanische Unkrautbekämpfung sind bei Anwendung dieser Technologie nicht vorgesehen. Der massive Einsatz einiger weniger Totalherbizide wird jedoch innerhalb von wenigen Jahren zu Resistenzentwicklungen in der Beikrautflora führen. Die Übertragung der Transgene von den gentechnisch veränderten Pflanzen auf verwandte Beikräuter dürfte diesen Prozess noch beschleunigen. Man wird also in Bezug auf die Unkrautregulierung innerhalb weniger Jahre vor den gleichen Problemen stehen wie heute und dann auf andere Herbizide zurückgreifen müssen. Zudem sind die eingesetzten Herbizide weder gesundheitlich noch ökologisch als unbedenklich einzustufen. Insgesamt betrachtet stellt die HR-Technologie also keinen Beitrag zu einer nachhaltigen Landwirtschaft dar.

Literatur

- Ahmad I., Malloch D. (1995): Interaction of soil microflora with the bioherbicide phosphinothricin. *Agriculture Ecosystems & Environment* 54, 165-174.
- Bayer E., Gugel K.H., Hägele K., Hagenmaier H., Jessipow S., König W.A., Zähler H. (1972): Phosphinothricin und Phosphinothricyl-Alanyl-Analin: Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen. *Helvetica Chimica Acta*, 55, 224-239.
- Eckelkamp C., Mayer M., Weber B. (1997): Basta-resistenter Raps. Vertikaler und horizontaler Gentransfer unter besonderer Berücksichtigung des Standortes Wölfersheim-Melbach. Werkstattreihe Nr. 100, Öko-Institut e.V., Freiburg.
- Hartzler B. (1999): Monarch butterfly and herbicide resistant crops. <http://www.weeds.iastate.edu/weednews/monarchs.htm>.
- Hardell H. & Eriksson M. (1999): A case-control study of non-Hodgkin lymphoma and exposure to pesticides. *Cancer* 5,1353-1360.
- James C. (1998): Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1998. ISAAA Briefs No. 8 (The International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications); ISAAA: Ithaca NY.
- Korell M., Schittenhelm S., Weigel H.J. (1997): Aufstellen von Kriterien für die nachhaltig umweltgerechte Nutzung gentechnisch veränderter Kulturpflanzensorten. UBA Texte 88/97; Umweltbundesamt, Berlin.
- Meyer H. (1999): Das schwarze Jahr für LibertyLink. Gen-ethischer Informationsdienst (GID) 133, 19-25.
- Sandermann H. (1994): Nutzpflanzen mit künstlicher Herbizidresistenz: Verbessert sich die Rückstandssituation? In: Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Heft 6, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung.
- Tappeser B., Eckelkamp C. (1999): Gentechnik in Landwirtschaft und Lebensmittelproduktion. In: Im Zeitalter der Bio-Macht, 25 Jahre Gentechnik - eine kritische Bilanz, Michael Emmerich (Hrsg.), Mabuse-Verlag, Frankfurt/ M.
- Van Aken J., Heidenreich B. (1998): Freisetzung transgener Pflanzen und Mikroorganismen. In: Schütte, G., Heidenreich, B., Beusmann, V.: Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA. Band 1, UBA Texte 47/98, Umweltbundesamt, Berlin.
- Weber B. (1997): Glyphosatresistentes *Lolium rigidum*. PAN Pestizid-Brief 3/97, S. 1-2.
- Wilcke B.-M. (1994): Verhalten der Komplementärherbizide im Boden. In: Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz Heft 7, Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung.

6 Rebbau in der Schweiz

6.1 Der nachhaltige Rebbau: ein Idealszenario

Der nachhaltige Anbau von Kulturpflanzen beinhaltet die Forderung nach langfristig stabilen, qualitativ einwandfreien Erträgen unter geringstmöglichem Einsatz von Fremdressourcen. Zudem soll die Kultur eine grosse Artenvielfalt beinhalten (Altieri 1994) und sich gegenüber biotischen und abiotischen Stressoren tolerant verhalten. Der ideale Rebbau müsste demnach tolerant gegenüber jeglichem Schädlings- und Krankheitsbefall sein und als Lebensraum für eine reiche Flora und Fauna dienen. Nachteilige Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit durch Erosion oder Kontamination durch Pestizide oder unerwünschte Nebenwirkungen auf die Umgebung durch Abdrift von Pestiziden oder Auswaschung von Nährstoffen wären bei idealen Zuständen kein Thema. Das Anstreben des Ideals bedingt profunde Kenntnisse über das Zusammenspiel von Wirtspflanze, Schädlingen, Nützlingen, Bodenleben und so weiter. Der Rebbau ist in dieser Hinsicht in einer privilegierten Situation: Seit Beginn der achtziger Jahre wurde das Ökosystem Rebbau intensiv untersucht (Boller 1988) und die gewonnenen Erkenntnisse vor allem in der Schweiz und in Deutschland konsequent umgesetzt.

6.2 Der real existierende Rebbau

In der Praxis ist gegenwärtig die Spannweite zwischen Betrieben enorm. Auf der einen Seite stehen die Rebbaubetriebe, die in einem hohen Grad nachhaltig wirtschaften, also eine reiche Flora und Fauna aufweisen¹ und die die negativen Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit weitgehend ausgeschlossen haben². Auf der anderen Seite steht - international gesehen - die grosse Mehrheit von Rebbaubetrieben, die ökologischen Wüsten gleichen. Die jahrzehntelange Raubbau führt in Einzelfällen so weit, dass die Reblagen kaum mehr genutzt werden können³.

Die vollständige Verzicht auf Pestizide kann derzeit auch in optimal ausgestatteten Rebbergen vorläufig nicht realisiert werden, da die traditionellen Sorten gegenüber verschiedenen Schadorganismen ausgesprochen anfällig sind (Pearson & Goheen 1988). Die wichtigsten Krankheiten und Schädlinge wurden erst im letzten Jahrhundert aus Übersee eingeschleppt⁴. Der resultierende ökologische Kollaps des Ökosystems Rebbau führte zu einem markanten Rückgang der Anbauflächen und einer wirtschaftlichen Krise in Europa. Erst durch die Entdeckung und den intensiven Einsatz von Kupfersulfat konnte der Niedergang aufgehalten werden⁵.

6.3 Die Schlüsselprobleme:

Im Rebbau sind in erster Linie Echter Mehltau (*Uncinula necator*), Falscher Mehltau (*Plasmopara viticola*), Graufäule (*Botrytis cinerea*) sowie der Traubenwickler (*Eupoecilia ambiguella*) ein Problem. Je nach Region können verschiedene weitere Schaderreger grosse Schwierigkeiten verursachen.

¹ Die Artenvielfalt wird durch Anbaumassnahmen in erstaunlichem Ausmass gefördert; beispielsweise konnte in Sachsen-Anhalt nach der Umstellung auf biologischen Landbau die Artenzahl von Käfern von 16 auf 47 Arten und die Zahl der gefährdeten Käfer-Arten von 3 auf 11 Arten erhöht werden (Schwalbe 1995).

² Eine ansehnliche Zahl derartiger integriert oder biologisch wirtschaftender Betriebe kann in der Ostschweiz gefunden werden. Obwohl auch bei diesen Betrieben auf die Bekämpfung der Rebenkrankheiten nicht verzichtet werden kann, kann durch die Bereicherung der Flora auf die direkte Bekämpfung von potentiellen Schaderregern weitgehend verzichtet werden (Boller 1988).

³ In den grossen Appellationen im Burgund oder Bordeaux werden die Rebberge in der Regel ganzjährig frei von Unterwuchs gehalten. Als Konsequenz treten Schaderreger wie Spinnmilben in derartigem Ausmass auf, dass eigens Bekämpfungsmassnahmen durchgeführt werden müssen. Der exzessive und langjährige Einsatz von Pestiziden hat in Einzelfällen zu einer derartigen Verminderung der Bodenfruchtbarkeit geführt, dass die Neupflanzung von Reben kaum mehr möglich ist. Verschiedentlich werden deshalb Betriebe von der konventionellen auf die biologische Bewirtschaftung umgestellt.

⁴ Der Echte Mehltau wurde 1845, die Reblaus 1865 und der Falsche Mehltau 1878 aus den USA eingeschleppt (Pearson & Goheen 1988).

⁵ Noch heute (Schweizer Statistik 1997) ist die Krankheitsbekämpfung im Rebbau mit 16.7 Mio sFr. (ca. 290 t Fungizide) höher als in allen anderen Kulturen (Spahr 1998).

Tabelle 15: Schaderreger im Weinbau: ihre Bedeutung und Verbreitung.

Problem/Krankheit	Schaderreger	Bedeutung	Verbreitung
Falscher Mehltau	Plasmopara viticola	***	weltweit
Echter Mehltau	Uncinula necator	***	weltweit
Graufäule	Botrytis cinerea	***	weltweit
Flavescence dorée	Myocoplasmen (MLO)	***	regional
Traubenwickler	Eupoecelia ambiguella, Lobesia botrana	***	weltweit
Reblaus	Viteus vitifolii	**	weltweit
Schwarzflecken	Phomopsis viticola	**	weltweit
Rotbrenner	Pseudopezicula tracheiphila	**	regional
Black Rot	Guignardia bidwellii	**	regional
Eutypa	Eutypa lata	**	lokal
Leafroll virus	Virusartige	*	regional
Nematoden	Diverse Arten	**	lokal
Rote Spinne	Panonychus ulmi	**	weltweit
Kräuselmilbe	Calepitrimerus vitis	**	weltweit
Pockenmilbe	Eryophyes vitis	*	weltweit
Erdruppen	Noctuidae	*	weltweit
Thrips	Trepanothrips deuteri	**	regional
Rebwanze	Lygus spinolai	*	weltweit
Rebzikade	Empoasca vitis	*	weltweit
Spinnmilbe	Tetranychus urticae	**	weltweit
Obstbaumspinn-Milbe	Panonychus ulmi	**	weltweit

Mit „Bedeutung“ sind die volkswirtschaftlichen Kosten gemeint, die durch das Problem entstehen; die Schaderreger bis zum Doppelstrich sind am problematischsten.

6.4 Die Lösungsstrategien

Prävention – Bei diesem Ansatz wird die Monokultur mit geeigneten Pflanzen bereichert und damit einer grossen Zahl von natürlichen Feinden der Schädlinge ein Lebensraum angeboten (Habitat management) (Altieri 1994). Diese Methode ist vor allem im Bereich der Schädlingskontrolle etabliert und wirksam⁶. Im Bereich der Krankheiten bringt die Reduktion des Primärinokulums⁷ erhebliche Gewinne. Beispielsweise überwintert Black Rot in befallenen Trauben. Wenn dieses infektiöse Material im Winter oder bereits bei der Ernte entfernt wird, kann der Krankheitsdruck gering gehalten werden. Der Umkehrschluss gilt ebenfalls: in Betrieben mit maschineller Ernte steigt der Krankheitsdruck in der Regel rapide an, da das infektiöse Material bei der Ernte nicht entfernt wird.

Dieser Ansatz greift allerdings bei der wichtigsten Krankheit, dem Falschen Mehltau, nicht, da das Ausgangsmaterial im Boden überwintert und sich damit jedem Eingriff entzieht (Pearson & Goheen 1988).

Krankheits- und Schädlingstoleranz – Krankheitsresistente Rebsorten werden seit langem intensiv gezüchtet. Seit Ende des letzten Jahrhunderts wurden die hochanfälligen Europäersorten (*Vitis vinifera*) mit amerikanischen, mehr oder weniger resistenten *Vitis*-Arten gekreuzt. Aus der Kreuzung der verschiedenen Arten entstehen die sogenannten "Interspezifischen" Traubensorten resp. "Hybridsorten"⁸. Das erfolgreichste Beispiel ist der Einsatz von reblausresistenten Wurzelstöcken. Mit dieser Massnahme konnte das Problem der Reblaus vollständig gelöst werden (Pouget 1990). Da der Weinmarkt ausgesprochen konservativ ist, finden neue Sorten vorläufig nur geringe Ausbreitung. In verschiedenen Ländern ist der Anbau zudem behindert, sei es durch diskriminierende

⁶ Im biologischen und integrierten Weinbau erreichen die Schädlingspopulationen selten mehr ein Ausmass, das eine direkte Bekämpfung notwendig macht (Boller 1988). Nur gerade gegen den Traubenwickler wird von rund 50% der Biorebbaubetriebe vorgegangen.

⁷ Als Primärinokulum wird das infektiöse Material (Pilzsporen oder Bakterien) bezeichnet, das eine Erstinfektion und damit eine Epidemie auslösen kann.

⁸ Zu den bekanntesten Sorten zählen die Kuhlmann-Hybriden wie Maréchal Foch oder neuerdings die Sorte Regent (Basler *et al.* 1997) (Tamm *et al.* 1998).

Etikettierungsvorschriften (Deutschland) oder durch gesetzliche Anbauverbote⁹ (Frankreich). Die Resistenzzüchtung erfolgt heute v.a. mit konventionellen Methoden, teilweise auch mit Gentechnik. Dabei wird in Zukunft wohl nicht die Herstellung transgener Reben selber, sondern die Verwendung gentechnisch hergestellter Marker oder Gen-Sonden als Diagnosemittel in der Züchtung eine Rolle spielen.

Schaderregerbekämpfung – Meistens erfolgt dies mit **Fungiziden**. In der Regel können die Einsätze erheblich reduziert werden sofern modernste Applikationsgeräte und Entscheidungshilfen wie Warnsysteme¹⁰ zum Einsatz kommen.

6.5 Hauptforschungsgebiete im ökologischen Landbau

Habitatmanagement – Gegenwärtig wird in verschiedenen Ländern daran gearbeitet, die Rebberge ökologisch zu bereichern und damit verschiedene Probleme zu entschärfen. Meistens wird die Begrünung zwischen den Reben sowie die Förderung von Refugien im Umfeld des Rebberges angestrebt. In manchen Regionen gilt die Begrünung allerdings als nahezu unmöglich. Beispielsweise soll im Burgund die Begrünung im Frühjahr zu einem untragbaren Frostrisiko führen¹¹.

Die Erfahrungen zeigen, dass die Art der Begrünung und die optimalen Pflegemassnahmen für jede Region erarbeitet und angepasst werden müssen. Beispielsweise kann die Wahl der Gräserarten im Unterwuchs darüber entscheiden, ob die Rebe in trockenen Regionen während dem Sommer ernsthafter Wasserkonkurrenz ausgesetzt ist. Nur schon innerhalb der Schweiz können deshalb die Techniken aus der Ostschweiz nicht unmittelbar in der Romandie angewendet werden¹².

Die Nützlingsförderung ist am weitesten fortgeschritten: Mit gezielten Massnahmen werden vielerorts Raubmilben neu angesiedelt und gefördert. Zudem werden die Pflanzenschutzmassnahmen vermehrt darauf ausgerichtet, dass Nützlinge keinen Schaden nehmen.

Verschiedene Erfahrungen weisen darauf hin, dass der Gesundheitszustand der Rebe und die allgemeine Toleranz gegenüber Stressfaktoren stark von der Bodenbeschaffenheit beeinflusst werden kann. Verschiedene Produzenten arbeiten mit dem Einsatz von Kompost an der gezielten Bodenverbesserung¹³. Erst seit recht kurzer Zeit werden diese Ansätze mit wissenschaftlicher Begleitung näher untersucht.

Züchtung – Seit den spektakulären Anfangserfolgen mit den interspezifischen Rebsorten um die Jahrhundertwende wurde weltweit an verschiedenen Forschungsinstituten intensiv weitergezüchtet. Diese Züchtungsarbeit wird auch in Zukunft weiterverfolgt. Ziel der Züchtung ist stets, Sorten mit ausgezeichneten geschmacklichen Eigenschaften mit Sorten von hoher Krankheits- und/oder Kälteresistenz zu erhalten. Die Schwierigkeit der Züchtungsarbeit liegt darin, ein Maximum von resistenzförderndem Genom mit einem Minimum an negativen olfaktorischen und agronomischen Eigenschaften in eine Europäerrebe einzubringen. Wegen der polygen vererbten Resistenzfaktoren und wegen der langen Generationsdauer ist diese Züchtungsarbeit ausgesprochen aufwendig und langwierig. In der Schweiz wurde deshalb 1996 die "Arbeitsgruppe Resistente Rebsorten" gegründet¹⁴, um arbeitsteilig die Aspekte Züchtung, Sortenprüfung von in- und ausländischen Sorten sowie die Vinifikationstechnik abzudecken. Von privater Seite her wird von verschiedenen Pionieren der Anbau und die Vermarktung von Weinen aus Hybridsorten vorangetrieben.

Die Sortenzüchtung kann für die wichtigsten Krankheiten Lösungen bringen. Einige Krankheiten wie Black Rot können jedoch durch Züchtung vorläufig nicht angegangen werden, da keine Resistenzen aus anderen Vitis-Arten bekannt sind.

Induzierte Resistenz – Die Abwehrbereitschaft einer Pflanze kann durch einen Angriff von einem Pathogen induziert werden (siehe Induzierte Resistenz Seite 90), ebenso auch durch Substanzen, die diesen Angriff simulieren oder in die komplexe Signalkette eingreifen (Kessmann *et al.* 1994; Uknes *et al.* 1996; Uknes *et al.* 1995). In keinem Fall wirken diese Substanzen jedoch direkt auf den Krankheitserreger (Kessmann *et al.* 1994; Uknes *et al.*

⁹ Bis 1960 war in Frankreich 400'000 ha der Anbaufläche mit Hybriden bestockt. Per Gesetz wurde dies unterbunden. Heute wird nur noch auf 72'000 ha mit Hybridsorten gearbeitet (Galet 1988).

¹⁰ Warnsysteme basieren auf der Auswertung von klimatischen Parametern wie Temperatur, Niederschlag usw. Die Klimadaten werden jeweils mit mathematischen Modellen verrechnet und mit den Klimaansprüchen eines Schaderregers verglichen. Sofern die Klimabedingungen genügen, wird eine Infektion als wahrscheinlich angenommen und eine entsprechende Warnung ausgegeben.

¹¹ Die erhöhte Frostgefahr ist in der vermehrten Abstrahlung während der Nacht und der gleichzeitig erhöhten Luftfeuchtigkeit begründet.

¹² Die Begrünung hat in der Romandie verschiedentlich die Weinqualität negativ beeinflusst. Bei Weinen aus begrüneten Rebbergen wurde bei Degustationen ein „grasiger“ Beigeschmack beanstandet. Weitere Untersuchungen haben dann ergeben, dass diese Geschmacksveränderung auf mangelnde Stickstoffversorgung der Rebe zurückzuführen ist. Um diese Nährstoffkonkurrenz auszuschalten, muss die botanische Zusammensetzung des Unterwuchses entsprechend angepasst werden.

¹³ Eine Gruppe von Biorebbauern hat in der Ostschweiz in Eigeninitiative einen mehrjährigen Versuch angelegt, bei welchem der Einfluss von unterschiedlichen Kompostqualitäten auf die Pflanzengesundheit untersucht wird.

¹⁴ Diese Arbeitsgruppe besteht aus Fachleuten der Forschungsanstalten Wädenswil, Changings und FiBL.

1995). Auch bei Reben kann diese erhöhte Abwehrkraft durch verschiedene Substanzen wie Salicylsäure induziert werden (Busam *et al.* 1997; Rentsch 1998). Dies ist einigermaßen erstaunlich, da die europäische Rebe bis vor 150 Jahren nie mit dem Falschen und Echten Mehltau in Berührung kam.

Die Technik der Resistenzinduktion ist bestechend, da auch die Anfälligkeit von herkömmlichen Sorten reduziert und damit ein gewisses Mass an Ertragssicherheit gewonnen werden kann. Die Anwendung dieser Techniken im Rebbau befindet sich derzeit noch im Versuchsstadium. Am FiBL sowie am Staatlichen Weinbauinstitut in Freiburg i.B. werden diese Forschungen intensiv vorangetrieben. In anderen Kulturen wie Weizen wird die Resistenzinduktion jedoch bereits in der Praxis erfolgreich angewendet.

Fungizide – Seit der Entdeckung der kupferhaltigen Bordeauxbrühe (CuSO_4) durch Millardet wird die Suche nach neuen Fungiziden vorangetrieben. Die Forschungstätigkeit wird motiviert durch a) die Forderung nach geringerer Öko- und Humantoxizität¹⁵ und b) das Problem der Wirkungseinbrüche infolge der Selektion von resistenten Erregerstämmen. Die Forschungsarbeiten werden von der Industrie mit grossem Aufwand und Kompetenz betrieben, da der Weinbau weltweit einer der grössten und sichersten Märkte ist.

Neue Entwicklungen werden natürlich aus patentrechtlichen Gründen geheimgehalten; aus der Erfahrung der vergangenen Jahre darf jedoch auf gewisse Tendenzen spekuliert werden. Neue Pestizidklassen werden vielfach im Bereich von Natursubstanzen gesucht. Beispielsweise sind die Strobilurine als eine der neuesten Fungizidklassen aus dem natürlich vorkommenden Strobilurin A des Kiefernzapfenröhlings (einem holzbewohnenden Hutpilz) abgeleitet. (Cvjetkovic 1997; Genet *et al.* 1998; Leroux 1998; Molot 1998; Siegfried & Holliger 1998). Natursubstanzen mit geeigneten Eigenschaften werden jeweils synthetisiert und verschiedenste Derivate hergestellt. Häufig sind naturfremde Derivate weniger rasch abbaubar, gelangen leichter in die Pflanze und sind damit wesentlich wirksamer.

Für den biologischen Rebbau kommen naturfremde, synthetisierte Substanzen nicht in Frage. Deshalb wird seit einigen Jahren nach Kupferersatzmitteln gesucht¹⁶. Verfügbar sind als Kupferersatzmittel Produkte, die auf Tonerdemehlen basieren. Die Wirkung dieser Produkte ist allerdings nicht mit synthetisierten Fungiziden vergleichbar.

Antagonisten – Der Einsatz von mikrobiellen Antagonisten wird auch im Weinbau entwickelt, allerdings mit unterschiedlichem Erfolg. Während gegen *Uncinula necator* (Falk *et al.* 1995), und *Botrytis cinerea* (O' Neill *et al.* 1996) bereits Produkte kommerzialisiert wurden, gestaltet sich die Suche von praxistauglichen Antagonisten gegen *Plasmopara viticola* äusserst langwierig. Die meisten Forschungsarbeiten wurden zumindest zu Beginn aus öffentlicher Hand finanziert (Falk *et al.* 1996; Tilcher 1996). Die Umsetzung zu praxistauglichen Produkten ist zur Zeit jedoch äusserst schwierig, da für derartige Projekte kaum öffentliche Finanzierungsmöglichkeiten bestehen und die Industrie vielfach nur geringes Interesse¹⁷ zeigt oder vor grossen Investitionen zurückschreckt. Verschiedene kleinere Firmen versuchen jedoch, sich in diesem Markt zu etablieren und Marktanteile zu erobern.

Applikation und Warnsysteme – Bei der Applikation von Pestiziden sind beträchtliche Einsparungen möglich. Die Applikationstechnik wird deshalb laufend verbessert, um mit geringeren Aufwandmengen höhere Ausbeuten zu erzielen¹⁸ und unerwünschte Kontaminationen zu vermeiden

Mit der vollständigen Kenntnis der Biologie der Schaderreger können die Applikationstermine optimal gewählt und nutzlose Spritzungen eingespart werden. Zur Kenntnis der Biologie gehört die Epidemiologie, das heisst die Ausbreitung eines Schädling oder einer Krankheit im Rebbau. Die Entwicklung und Ausbreitung der Krankheitserreger wird im Wesentlichen durch das Entwicklungsstadium der Wirtspflanze und klimatische Parameter wie Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit und damit verbundene Grössen bestimmt. Diese Prozesse können mit mathematischen Modellen, in welche die Klimaparameter eingespeist werden, recht zuverlässig beschrieben werden. Seit einigen Jahren sind Klimamessstationen erhältlich, die das Klima messen und das aktuelle Infektionsrisiko errechnen. Die mathematischen Modelle werden derzeit laufend verbessert und an die regionalen Verhältnisse angepasst. (siehe auch Prognosesysteme Seite 69).

6.6 Hauptforschungsgebiete Gentechnik

Weltweit fanden bis 1997 erst neun Freisetzungen mit transgenen Reben statt (OECD 1998). Die Versuche konzentrieren sich dabei auf die Einführung einer Virenresistenz. Getestet wird auch, ob sich mittels Gentechnik die Immunabwehr der Rebenpflanzen verstärken lässt.

¹⁵ Die Registrierung von neuen Pflanzenschutzprodukten wird zunehmend schwieriger und teurer. Die Industrie rechnet mit Zulassungskosten für ein neues Produkt von ca. 30 Mio \$. Allgemein wird erwartet, dass die Hürden noch weiter zunehmen, da sowohl von OECD als auch auf Ebene der EU die Zulassungsbedingungen neu formuliert werden.

¹⁶ Der Einsatz von Kupfer wird im biologischen Landbau demnächst EU-weit verboten. Die Suche nach Alternativen ist deshalb vorrangig.

¹⁷ Novartis hat kürzlich entschieden, sich aus dem Bereich der Biologischen Schädling- und Krankheitskontrolle zurückzuziehen und diese Bereiche zu verkaufen. Begründet wurde diese Entscheidung mit dem mangelndem Marktpotential und Hindernissen bei der Zulassung.

¹⁸ Bei schlechter Applikationstechnik gelangt nur ein Bruchteil der Pestizide wie beabsichtigt an das Laub. Vor allem zu Beginn der Saison bei lockerer Laubwand werden bis zu 75% der Aufwandmengen am Ziel vorbei platziert.

In Deutschland hat die Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen (BAZ) im Juni 1999 erstmals transgene Reben freigesetzt, die dank transferierten Chitinase- und Glucanase-Genen aus der Gerste gegen den Falschen und den Echten Mehltau resistent sein sollen¹⁹. Die transgenen Reben der Sorten Riesling, Dornfelder und Seyval blanc enthalten zusätzlich ein Resistenz-Gen gegen die Antibiotika Kanamycin, Paromomycin und Neomycin. Die Freisetzungsversuche in Rheinlandpfalz (Sieblingen und Würzburg) sind für 10 Jahre bewilligt.

Die gentechnische Veränderung von Rebpflanzen erweist sich aus vielerlei Gründen als sehr schwierig (u.a. Koller & Gessler 1996; Martinelli & Mandolino 1994; Scorza *et al.* 1995; Krastanova *et al.* 1995):

- Reben haben extrem kleine und viele Chromosomen (38), die schwierig zu transformieren sind. Die Transformationsfrequenzen sind klein und variabel; es stellt sich das Problem der Chimärenbildung.
- Wie bei jeder Transformation von Pflanzen sind weder Anzahl noch Integrationsort der eingefügten DNA kontrollierbar²⁰.
- Reben haben eine hohe Heterozygotie und lange Generationszeiten.
- Die Regeneration von transformiertem Gewebe zu ganzen Pflanzen ist schwierig.
- Alle bekannten Resistenzen der Rebe sind polygen (keine einzige major-gene-resistance bekannt)²¹.
- Das Risiko, dass die gentechnische Veränderung sensorische Eigenschaften der Trauben negativ beeinflusst, ist bei der Herstellung von Wein besonders problematisch (traditionelles Kulturgut!).

Zur Bewertung der ökologischen Risiken stehen folgende Probleme im Vordergrund:

Auskreuzung - Die Rebe hat in der Schweiz einige nahverwandte Pflanzenarten (u.a. *Vitis silvestris*). Es muss davon ausgegangen werden, dass Pollen von transgenen Reben auf solche Vitis-Arten gelangen kann und daraus keimfähige Samen entstehen können. Das Risiko der Auskreuzung wird allerdings als klein eingeschätzt. Entsprechende Untersuchungen konnten jedoch nicht gefunden werden (Koller & Gessler 1996).

Neukombination von Viren - Studien an andern virenresistenten Pflanzen (u.a. Kartoffeln und Tabak) haben gezeigt, dass die viralen Gene und Hüllproteine der transgenen Pflanzen sich mit Genen und Hüllproteinen anderer Virenarten, die die Pflanze infizieren, mischen und neu kombinieren können (sog. heterologe Enkapsidierung). Es wird nun befürchtet, dass die gentechnische Strategie zur Herstellung einer Virenresistenz neue pathogene Pflanzenviren sowie virale Pflanzenkrankheiten und Epidemien von erhöhter Schädlichkeit hervorbringen kann. Auch bei transgenen Reben kann dieses Risiko nicht ausgeschlossen werden.

Resistenzdurchbrüche - Die Einführung einer isolierten Resistenz mit gentechnischen Methoden kann das Risiko erhöhen, dass der betroffene Schaderreger mit der Zeit die Resistenz durchbrechen und dann auch polygen resistente Sorten anfallen kann.

6.7 Bewertung der derzeitigen Situation und Ausblick

Im Rebbau sind in erster Linie **Echter Mehltau** (*Uncinula necator*), **Falscher Mehltau** (*Plasmopara viticola*), **Graufäule** (*Botrytis cinerea*) sowie der **Traubenwickler** (*Eupoecilia ambiguella*) ein Problem. Je nach Region können verschiedene weitere Schaderreger grosse Schwierigkeiten verursachen.

Ökologische Ansätze: Die systemimmanente Anfälligkeit der Europäersorten gegenüber verschiedenen Krankheiten und Schädlingen hat eine hohe Intensität von Pflanzenschutzmassnahmen zur Folge. Die Entwicklung der letzten Jahrzehnte zeigt, dass neue Pestizide zunehmend umweltverträglicher werden und dass die ausgebrachten Mengen dank moderner Applikationsstrategien deutlich zurückgehen. Die neuen Ansätze im Bereich der induzierten Resistenz könnten den Pflanzenschutz qualitativ verändern, da mit dieser Technik kein Biozid mehr in die Umwelt ausgebracht wird, sondern das pflanzeigene Abwehrpotential stimuliert wird.

Die Züchtung von krankheitsresistenten Rebsorten dürfte in den kommenden Jahren weiter vorankommen. Dabei wird nach wie vor die konventionelle Züchtung die Hauptrolle spielen. Die Züchtungsarbeit könnte durch den Einsatz von gentechnischen Markern stark beschleunigt werden.

Für die Entwicklung des biologischen Rebbaus wird die nahe Zukunft entscheidende Änderungen bringen. Das bevorstehende EU-weite Verbot des Kupfereinsatzes nimmt dem biologischen Rebbau sowie anderen Kulturen

¹⁹ Bei einer zweiten Testgruppe wurde zusätzlich das Ribosomen-inaktivierende Protein (RIP-) Gen eingefügt, das die Eiweiss-synthese im Pilz hemmen soll.

²⁰ Bei den in Rheinlandpfalz freigesetzten transgenen Reben z.B. sind weder die Anzahl integrierter Fremd-Gene noch die Expressionshöhe der Resistenzproteine bekannt.

²¹ Es gibt z.B. Reben, die gegen den Falschen und den Echten Mehltau resistent sind. Die Resistenz dieser Rebsorten beruht auf sehr vielen Resistenzmechanismen, die sich in komplexen Abwehrkaskaden ergänzen. Auch wenn über die Grundlagen dieser Resistenzen wenig bekannt ist, gilt als sicher, dass viele verschiedene Gene daran mitbeteiligt sind. Anders ist z.B. nicht zu erklären, dass resistente Rebsorten, die vor 100 Jahren gezüchtet wurden, heute immer noch sehr robust sind.

wie Obst-, Kartoffel- und Hopfenanbau das wirksamste biokonforme Fungizid²². Falls Alternativen nicht rechtzeitig bereitgestellt werden können, dürfte dies in Europa zu einer massiven Beeinträchtigung des Biolandbaues führen. Dieser Herausforderung wird gegenwärtig eine grossangelegte Forschungs- und Beratungsinitiative entgegengesetzt, an der sich Forschung und Beratung aus ganz Europa beteiligt²³. Dieses Forschungsprogramm wird 1999 eingereicht und kann hoffentlich ab 2000 finanziert werden.

Gentechnische Ansätze: Von transgenen Pflanzen dürfen keine substantiellen Fortschritte erwartet werden. Das Hauptproblem besteht darin, dass alle bekannten erfolgreichen Rebenresistenzen auf einer komplexen Kaskade verschiedenster Abwehrmechanismen bestehen. B. Koller und C. Gessler schreiben dazu: "Es ist wichtig anzumerken, dass die einzelnen Resistenzen einer polygenen Resistenz nur eine kleine Wirkung haben und deshalb als Einzelfaktoren auch nur einen geringen Selektionsdruck auf die Krankheitserreger ausüben. In den resistenten Reben sind mehrere Teilresistenzen vorhanden. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit eines Resistenzdurchbruchs zusätzlich stark reduziert. Wohl deshalb ist bis heute kein Erregerstamm beschrieben, der die polygenen Resistenzen durchbrechen kann. Umgekehrt kann daraus gefolgert werden, dass die isolierte Verwendung einzelner dieser Resistenzfaktoren dazu führt, dass - wenn auch sehr langsam - virulente Pathotypen selektioniert werden, welche dann auch auf polygen resistente Sorten eine erhöhte Virulenz hätten" (Koller & Gessler 1996). Eine Ausnahme bildet vielleicht die Herstellung virenresistenter Wurzelstöcke. Nepovirenbefall kann aber auch durch andere Massnahmen wie die Verwendung von virusfreiem Pflanzgut reduziert werden.

6.8 Schadorganismen im Rebbau

6.8.1 Der Falsche Mehltau (*Plasmopara viticola*)

Der Falsche Mehltau wurde im letzten Jahrhundert in Europa eingeschleppt. Ironischerweise gelangte diese Krankheit aus den USA durch Reben nach Europa, die eigens zur Lösung des Reblausproblems importiert wurden.

In der Folge verbreitete sich diese Krankheit in ganz Europa und führte zu verheerenden Schäden. Aus der ursprünglich krankheitsfreien Rebe wurde damit eine Kultur, die ohne Pestizideinsatz zu Grunde geht²⁴. Als erstes Fungizid wurde die kupferhaltige Bordeauxbrühe entdeckt und eingesetzt. Der Einsatz des Schwermetalls Kupfer führte beim über hundertjährigen Einsatz zu markanten Rückständen im Boden²⁵.

Forschung Züchtung – Die Resistenzzüchtung wird derzeit in Deutschland, der Schweiz, Frankreich, verschiedenen osteuropäischen Ländern und in den USA vorangetrieben. Neue Sorten wie Regent und Bianca werden inzwischen auf rund 100 ha in der Schweiz angebaut. Das Resistenzniveau der verschiedenen Sorten ist recht unterschiedlich. Sorten mit mässigem Resistenzniveau gegen den Falschen Mehltau eignen sich deshalb kaum für niederschlagsreiche Regionen, währenddem sie in eher trockenen Regionen vollauf genügen (Tamm *et al.* 1998). Die "Arbeitsgruppe resistente Rebsorten", bestehend aus den Forschungsinstitutionen RAC, FAW und FiBL²⁶ prüfen die neuen Sorten unter den lokalen Klimabedingungen und betreiben ein eigenes Züchtungsprogramm (RAC). Am FiBL startet derzeit eine Leistungsprüfung der Sorten Bianca, Seyval Blanc Johanniter, Bronner, FR 240-75, Chambourcin, Regent, Léon Millot, Maréchal Foch und INRA 8502, um neben den Resistenzeigenschaften auch geeignete Vinifikationsmethoden zu prüfen.

Forschung Fungizide – *Plasmopara viticola* ist eine der wirtschaftlich wichtigsten Krankheiten. Dementsprechend intensiv wird von der Industrie nach neuen fungiziden Verbindungen gesucht. Fungizide der neuesten Generation wie die Strobilurine wirken kurativ, dh. sie können auch nach bereits erfolgter Infektion eingesetzt werden. Verschiedentlich treten Probleme mit resistenten Pilzpopulationen auf. Dementsprechend wird grosse Sorgfalt darauf verwendet, durch geeignete Spritzfolgen das Resistenzrisiko zu vermindern. Als Alternative zu Kupfer stehen im Bioweinbau Tonerdepräparate zur Verfügung.

Forschung Antagonisten – Der Einsatz von mikrobiellen Antagonisten wurde von mehreren Arbeitsgruppen untersucht. Von besonderem Interesse ist ein Ansatz mit *Erwinia herbicola*, dessen Wirkungsmechanismus auf einer Art Verwirrung des Pathogens beruhen soll (Tilcher 1996). Offenbar können die Zoosporen die für das Eindringen nötigen Spaltöffnungen an der Blattunterseite schlechter auffinden. Ein weiterer Ansatz wurde mit dem

²² Der Kupfereinsatz geriet in den letzten Jahren zu Recht immer mehr unter Beschuss. Bekanntermassen reichert sich Kupfer im Boden an und kann, da es ein Schwermetall ist, nicht abgebaut werden. Hohe Kupfergehalte im Boden beeinträchtigen die mikrobielle Aktivität und können im Extremfall die Pflanzen schädigen.

²³ Die Forschungsinitiative „European Initiative on Copper Replacement in Organic Farming“ wird im fünften Forschungsrahmenprogramm (FAIR 5) der EU lanciert. An der Initiative beteiligt sind die Schweiz, Deutschland, Frankreich, Italien, Grossbritannien, die Niederlande, Dänemark und Norwegen.

²⁴ Im Rebbau wird in Europa nach Weizen der zweitgrösste Umsatz an Pestiziden gemacht.

²⁵ In den meisten traditionellen Rebbergen sind die Grenzwerte der Bodenschutzverordnung bei weitem überschritten. Die grössten Mengen wurden in der Zeit von 1920 bis 1965 eingesetzt.

²⁶ RAC= Eidg. Forschungsanstalt für Pflanzenbau, FAW= Eidg. Forschungsanstalt für Obst-, Wein- und Gartenbau, FiBL= Forschungsinstitut für Biologischen Landbau.

Antagonisten *Fusarium proliferatum* gefunden (Falk *et al.* 1996). Das Wirkungsprinzip dieses Antagonisten beruht offenbar auf einer Parasitierung des Pilzgewebes von *Plasmopara viticola*. Die Untersuchungen zu beiden Antagonisten werden derzeit nicht weiterverfolgt, da die notwendigen Mittel und das Interesse der Industrie fehlen.

Forschung Kompostextrakte – Verschiedentlich wurden Kompostextrakte auf ihre Wirkung hin untersucht (Ketterer & Weltzien 1987; Weltzien & Ketterer 1986). Die Extrakte nehmen offensichtlich eine Mittelstellung ein, da sowohl Mikroorganismen sowie deren Produkte darin enthalten sind. Als Wirkungsmechanismen sind Parasitismus, Antibiosis sowie Resistenzinduktion vermutet worden. Die Resultate sind jedoch höchst unterschiedlich, was auf ungenügende Konstanz der Inhaltsstoffe zurückzuführen ist.

Forschung induzierte Resistenz – Neueste Forschungsarbeiten zeigen, dass die Abwehrkräfte der Rebe aktiviert werden können. (siehe Induzierte Resistenz Seite 90).

Forschung Gentechnik – Die gentechnische Herstellung von *Plasmopara* resistenten Rebsorten wird unisono als nahezu unmöglich eingeschätzt, vor allem wegen der poligenen Resistenzmechanismen.

6.8.2 Der echte Mehltau (*Uncinula necator*)

Der echte Mehltau ist von ähnlicher wirtschaftlicher Bedeutung wie der Falsche Mehltau. Die Bekämpfung ist jedoch wesentlich einfacher. Die echten Mehltaupilze leben fast ausschliesslich auf der Oberfläche von Pflanzengewebe. Das Pathogen bildet Haustorien, die in das Wirtsgewebe eindringen und gewissermassen die Funktion von Saugorganen erfüllen. Aufgrund dieser Lebensweise ist das Pathogen zu jedem Zeitpunkt äusserst exponiert. Zur Bekämpfung stehen Fungizide wie Schwefel, diverse organische Verbindungen (nur konventionelle und integrierte Produktion), Pflanzenextrakte wie Fenchelöl sowie der Antagonist *Ampelomyces quisqualis* zur Verfügung. In der Experimentierphase als mögliche Fungizide für den biologischen Rebbau befinden sich Substanzen wie Backpulver, Phosphat und Kaliumpermanganat. Auch bei dieser Krankheit könnte die Technik der Resistenzinduktion Anwendung finden. Erste Resultate zeigen, dass ein gewisses Abwehrpotential besteht.

Der Ansatz, transgene Reben mit einer Resistenz gegen den Echten Mehltau herzustellen, steckt in den Kinderschuhen; ein Gelingen erscheint angesichts der Komplexität der verschiedenen Resistenzmechanismen eher unwahrscheinlich.

6.8.3 Die Graufäule (*Botrytis cinerea*)

Botrytis ist eine unberechenbare und schwierig zu bekämpfende Krankheit. Verschiedene Faktoren tragen zum Krankheitsbefall bei. Beispielsweise fördert die späte Stickstoffmineralisierung und ungenügende Laubarbeit diese Krankheit stark. Der wichtigste Faktor sind jedoch Frassstellen, die durch den Traubenwickler verursacht werden. Dementsprechend gilt dieser Schädling als Hauptproblem und wird gezielt bekämpft. Wirksame Fungizide sind derzeit nur für die konventionelle und integrierte Produktion auf dem Markt. Erfahrungsgemäss treten jedoch bei *Botrytis* Resistenzen gegen Fungizide rasch auf²⁷. Zwischen Sorten und Klonen derselben Sorte bestehen ausgeprägte Unterschiede in der Anfälligkeit. Einer der Hauptfaktoren für die Unterschiede ist die unterschiedliche Dichte der Trauben: Lockerbeerige Klone sind deutlich weniger anfällig als dichtbeerige Klone (Vail *et al.* 1998).

Die Auswirkungen von Traubenbefall von *Botrytis* auf die Bildung von Phytoalexinen in Trauben wurde in den letzten Jahren von Forschungsgruppen in Changins (RAC) und Dijon intensiv untersucht (Adrian *et al.* 1997; Jeandet *et al.* 1995). Die prominenteste Substanz, Resveratrol, soll zu vermindertem Infarktrisiko führen. Ob und wie die Induktion von Phytoalexinbildung zur Bekämpfung von *Botrytis* genutzt werden kann, ist derzeit unklar.

Zur Zeit sind keine erfolversprechenden gentechnischen Ansätze zur Einführung von Resistenzen gegen *Botrytis* bekannt.

6.8.4 Der Traubenwickler

Der Traubenwickler gilt als Hauptverursacher für Botrytisschäden. Die Bekämpfung wird teilweise mit Pestiziden wie Fenoxycarb (nicht im Biolandbau zugelassen) (Charmillot *et al.* 1985; Menke 1988; Morando *et al.* 1990) und mit dem Antagonisten *Bacillus thuringiensis* (Bigler 1987; Scalco *et al.* 1997; Tiberi *et al.* 1993) durchgeführt. In neuester Zeit wird mit der Verwirrungstechnik mit Pheromonen gearbeitet. Dabei wird mit kleinen Dispensern derjenige Sexuallockstoff ausgebreitet, der den Männchen das Auffinden der Weibchen ermöglicht. Da der Lockstoff diffus verbreitet wird, werden die Männchen "verwirrt" und können die Weibchen nicht auffinden. Damit wird die Paarung und Vermehrung des Traubenwicklers weitgehend verhindert (Charmillot *et al.* 1998; Remund *et al.* 1996).

6.8.5 Rotbrenner (*Pseudopezicula tracheiphila*) und Black Rot (*Guignardia bigwellii*)

Diese sind jeweils von lokaler Bedeutung, können jedoch empfindliche Schäden verursachen. Beide Pathogene können mit wirksamen Fungiziden bekämpft werden. Resistenzen, die allenfalls für die Züchtung genutzt werden

²⁷ *Botrytis cinerea* ist ein heterokaryontisches Pathogen. Heterokaryosis liegt dann vor, wenn in derselben Zelle mehrere Zellkerne mit unterschiedlichem Genom vorhanden sind. Diese Eigenart führt zu einer ausserordentlich hohen genetischen Variabilität der Pathogenpopulation, die die Ausprägung von Fungizidresistenz auch ohne sexuelle Reproduktion erlaubt.

könnten, sind nicht bekannt. Black rot überwintert an faulen Trauben. Diese Krankheit nimmt deshalb vor allem in mechanisch geernteten Beständen zu, da das Infektionsmaterial von Jahr zu Jahr zunimmt (Pezet & Jermini 1989).

6.8.6 Viren

Die verschiedenen Viren sind meist von lokaler Bedeutung und können teilweise empfindliche Schäden verursachen. In den meisten Fällen werden die Probleme vermieden, indem ausschliesslich einwandfreies, zertifiziertes Pflanzmaterial verwendet wird (Hadidi *et al.* 1998). Von besonderer Bedeutung sind die Nepoviren, die von Nematoden im Boden übertragen werden. In Frankreich breitet sich derzeit zudem die Flavescence dorée aus, die von Zikaden übertragen wird. Beide Viren werden derzeit über Ausmerzungen befallener Stöcke an der Ausbreitung gehindert. Bei Nepoviren werden zur Entseuchung des Bodens vor Neupflanzung das hoch toxische Nematizid Methylbromid eingesetzt. Zikaden als Überträger der Flavescence dorée werden in Befallsregionen grossflächig bekämpft. Der Erfolg ist jedoch nicht zufriedenstellend (Pearson & Goheen 1988b).

Mit gentechnischen Methoden wird versucht, gegen Nepoviren transgene virusresistente Wurzelstöcke/ Unterlagen zu entwickeln (Le Gall *et al.* 1994; Krastanova *et al.* 1995; Torregrosa & Bouquet 1997). Dabei wird ein virales Coat-Protein-Gen, z.B. vom Nepovirus Grapevine Fanleaf Virus (GFLV) ins Genom einer Rebenpflanze eingeführt, was eine Art Immunisierung gegen GFLV bewirken soll. Bestechend an dem Konzept ist, dass auf die transgenen Wurzelstöcke unmanipulierte Rebsorten gepfropft werden, so dass das Genom der Ertragssorte selber nicht gentechnisch verändert wird und somit keine Geschmacksveränderungen zu erwarten sind. Problematisch erscheint allerdings die Einführung einer einzigen (vertikalen) Resistenz, da die Gefahr besteht, dass solche Resistenzen bald durchbrochen werden. Zudem besteht das Risiko von Rekombinationsereignissen. Bei virenresistenten Reben wurden keine entsprechenden Untersuchungen gefunden. Doch die Nepoviren zeigen eine besonders geringe Spezifität der zu enkapsidierenden RNA (Cooper *et al.* 1994; Eckelkamp *et al.* 1997). Neben dem GFLV sind zahlreiche weitere Virenstämme bekannt, die ebenfalls Reben infizieren und die sich folglich mit den GFLV-Genen und -Hüllproteinen der transgenen Pflanzen neukombinieren könnten²⁸.

Es ist hier auch anzufügen, dass die traditionelle Züchtung bereits GFLV-tolerante Wurzelstöcke erzeugt hat, die sich in Kalifornischen Weinbergen bewährt haben (Koller & Gessler 1996; nach Walker *et al.* 1991)

Literatur

- Adrian M., Jeandet P., Veneau J., Weston L.A. & Bessis R. (1997): Biological activity of resveratrol, a stilbenic compound from grapevine, against *Botrytis cinerea*, the causal agent for gray mold. *Journal of Chemical Ecology*, 23 (7), 1689-1702.
- Altieri M.A. (1994): Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. New York, London, Norwood, 185 S.
- Altieri M. A. (1994): Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. Food Products Press, New York, London, Norwood.
- Basler P., Wiederkehr M., Henick Kling T., Wolf T.E. & Harkness E.M. (1997): Considering cultivar selection as a main element in sustainable viticulture. *Proceedings of the fourth international symposium on cool climate viticulture & enology*, New York, USA, 16-20 July 1996. 1997, 1-5-1-9.
- Bigler F. (1987): Present state of, and outlook for, biological control in Switzerland. *Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, A Angewandte Wissenschaft, German Federal Republic*, No. 344, 195-210, 284.
- Boller E. (1988): Das mehrjährige Agro-Ökosystem "Rebberg" und seine praktische Bedeutung für den modernen Pflanzenschutz. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung*, 27 (1), 55-61.
- Busam G., Kassemeyer H.H. & Matern U. (1997): Differential expression of chitinases in *Vitis vinifera* L. responding to systemic acquired resistance activators or fungal challenge. *Plant Physiology*, 115 (3), 1029-1038.
- Charmillot P.J., Pasquier D., Schmid A., Emery S., Montmollin A.d., Desbaillet C., Perrottet M., Bolay J.M., Zuber M., Loizeau E., Boller E., Baur R. & De Montmollin A. (1998): Mating disruption of grape moth and grape berry moth in 1997 in Switzerland. *Revue Suisse de Viticulture, d'Arboriculture et d'Horticulture*, 30 (3), 201-206.
- Charmillot P.J., Vernez K., Bloesch B., Berret M. & Pasquier D. (1985): The ovicidal action of fenoxycarb, an insect growth regulator, on four species of tortricids injurious to vineyards and orchards. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*, 58 (3-4), 393-399.
- Cooper, J.I., Edwards M.L., Rosenwasser O. & Scott N.W. (1994) Transgenic resistance genes from Nepoviruses: efficacy and other properties. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 22, 129-137
- Cvjetkovic B. (1997): Control of apple scab and powdery mildew on grape-vine with BAS 490 02 F. *Proceedings of the 49th International symposium on crop protection, Gent, Belgium, 6 May, 1997*, 62 (3b), 1129-1134.
- Eckelkamp C., Jäger M & Weber B. Risikoüberlegungen zu transgenen virusresistenten Pflanzen. 1997. *Forschungsbericht 112 01 010 UBA-FB 97-058*
- Falk S.P., Gadoury D.M., Pearson R.C. & Seem R.C. (1995): Partial control of grape powdery mildew by the mycoparasite *Ampelomyces quisqualis*. *Plant Disease*, 79 (5), 483-490.

²⁸ Beispiele Reben-infizierender Viren: die Nepoviren Arabis mosaic, Tomato black ring, Raspberry ringspot, Strawberry latent ringspot, Tomato ringspot und Tobacco ringspot virus sowie die pilzübertragbaren Tobacco bushy stunt virus und Tobacco necrosis (Meyer-Kahsnitz 1993)

- Falk S.P., Pearson R.C., Gadoury D.M., Seem R.C. & Sztejnberg A. (1996): *Fusarium proliferatum* as a biocontrol agent against grape downy mildew. *Phytopathology*, 86 (10), 1010-1017.
- Galet P. (1988): Cépages et vignobles de France. Les vignes américaines. (Vol. 1), Montpellier, 553 S.
- Genet J.L., Bugaret Y., Jaworska G. & Hamlen R. (1998): Curative activity of cymoxanil on grapevine downy mildew. *Informatore Fitopatologico*, 48 (3), 64-66.
- Hadidi A., Khetarpal R.K. & Koganezawa H. (1998): Plant Virus Disease Control. St. Paul, 684 S.
- Hain R., Reif H.J., Krause E., Langebartels R., Kindl H., Vornam B. Wiese W., Schmelzer E., Schreier P.H., Stöcker R.H. & Stenzel K. 1993. Disease resistance results from foreign phytoalexin expression in a novel plant. *Nature*. 361.153-156
- Jeandet P., Bessis R., Sbaghi M. & Meunier P. (1995): Production of the phytoalexin resveratrol by grapes as a response to Botrytis attack under natural conditions. *Journal of Phytopathology*, 143 (3), 135-139.
- Kessmann H., Staub T., Ligon J., Oostendorp M. & Ryals J. (1994): Activation of systemic acquired disease resistance in plants. *Eur J Plant Pathology*, 100 (6), 359-369.
- Ketterer N. & Weltzien H.C. (1987): Studies on the effect of compost extract on the infection of grapevines by *Pseudopeziza tracheiphila*. *Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent*, 52 (3a), 965-970.
- Koller B. & Gessler C. (1996). Gentechnisch erzeugte Krankheits- und Schädlingsresistenz bei der Weinrebe . S.344ff. In: Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Hrsg. Schulte E. & Käppeli O., Publiziert vom Schwerpunktprogramm Biotechnologie Schweiz. Nationalfonds zur Förderung der Wissenschaftlichen Forschung.
- Krastanova S., Perrin M., Barbier P., Demangeat G., Cornuet P., Bardonnet N., Otten L., Pinck L. & Walter B. (1995). Transformation of grapevine rootstocks with the coat protein gene of grapevine fanleaf nepovirus. *Plant Cell Reports*, 14, 550-554.
- Le Gall O., Torregrosa L., Danglot Y., Candresse T. & Bouquet A. (1994). *Plant Science* 102. 161-170
- Leroux P. (1998): Les fongicides de demain: d'importants changements en perspective pour la viticulture. *Revue des Oenologues*, 88, 7-10.
- Martinelli L. & Mandolino G.(1994). Genetic transformation and regeneration of transgenic plants in grapevine (*Vitis rupestris* S). *Theor.Appl. Gent*. 88, 621-628.
- Menke F. (1988): What is known of Insegar in viticulture. *Obstbau Weinbau*, 25 (6), 189.
- Meyer-Kahnsitz, S. (1993). Angewandte Pflanzenvirologie. Thalacker Verlag, Braunschweig.
- Molot B. (1998): A new alternative: azoxystrobin. *Progres Agricole et Viticole*, 115 (2), 36-38.
- Morando A., Bevione D. & Morino G. (1990): Control trials of grape tortricids using traditional products and insect growth regulators. *Informatore Agrario*, 46 (16), 141-145.
- O' Neill T.M., Elad Y., Shtienberg D. & Cohen A. (1996): Control of grapevine grey mould with *Trichoderma harzianum* T39. *Biocontrol Science and Technology*, 6 (2), 139-146.
- OECD (1998). BioTrack Database of field trials: <http://www.olis.oecd.org/biotrack.nsf>
- Pearson R.C. & Goheen A.C. (1988): Compendium of Grape Diseases., St. Paul, Minnesota, USA; American Phytopathological Society. 93 S.
- Pezet R. & Jermini M. (1989): Black rot of grapevine: symptoms, epidemiology and control. *Revue Suisse de Viticulture, d'Arboriculture et d'Horticulture*, 21 (1), 27-34.
- Pouget R. (1990): The history of the control of grapevine phylloxera in France (1868-1895). Versailles, France; Institut National de la Recherche Agronomique.
- Remund U., Boller E. & Zuber M. (1996): The mating disruption technique for the one-banded and crossed grape tortricids in eastern Switzerland. *Obst und Weinbau*, 132 (8), 212-215.
- Rentsch C. (1998): Induced Resistance Caused by PEN in Tomato (*Phytophthora infestans*), Cucumber (*Colletotrichum lagenarium*, *Pseudoperonospora cubensis*) and Grapevine (*Plasmopara viticola*). *MS*, Botanisches Institut, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, 65.
- Scalco A., Charmillot P.J., Pasquier D. & Antonin P. (1997): Comparison of *Bacillus thuringiensis* (BT) based products to control grape and wine moth: from laboratory to vineyard. *Revue Suisse de Viticulture, d'Arboriculture et d'Horticulture*, 29 (6), 345-350.
- Schwalbe R., Epperlein, K. (1995): Untersuchungen zur Carabidenfauna eines Weinberges im Saale-Unstrut-Gebiet (Höhnstedt) nach der Umstellung auf extensive Produktion. - In: Hampl U.H., U. Dostal, B. Lünzer, I. Wagenitz, J. (Hrsg.): SÖL-Sonderausgabe. 5. Internationaler Ökologischer Weinbaukongress, Bad Dürkheim, 27-30.
- Scorza R., Cordts J.M., Ramming D.W. & Emershad R.L. (1995). Transformation of grape (*Vitis vinifera* L.) zygotic-derived somatic embryos and regeneration of transgenic plants. *Plant Cell Reports*, 14, 589-592
- Siegfried W. & Holliger E. (1998): Strobilurine in viticulture - latest results in the control of powdery and downy mildew. *Obst und Weinbau*, 134 (4), 102-104.
- Spahr J. (1998): Pflanzenbehandlungsmittel-Markt: Statistik für die Schweiz und das Fürstentum Liechtenstein. Schweizerische Gesellschaft für Chemische Industrie.
- Tamm L., Lévyte D. & Häseli A. (1998): Expériences avec le cépage Regent dans la région bâloise. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.*, 30 (6), 357-358.
- Tiberi R., Tassinari G. & Surico G. (1993): Use of preparations containing *Bacillus thuringiensis* Berliner in the control of *Lobesia botrana* Den. et Schiff. *Frustula Entomologica*, 16, 153-164.
- Tilcher R. (1996): Untersuchungen zur Biologischen Bekämpfung von des Falschen Mehltaus der Weinrebe (*Plasmopara viticola* (Berl. & de Toni) durch bakterielle Antagonisten. Institut für Biologie; Fachbereich Phytomedizin, Geisenheim, 205.

- Uknes S., Vernooij B., Morris S., Chandler D., Steiner H.Y., Specker N., Hunt M., Neuenschwander U., Lawton K., Starrett M., Friedrich L., Weymann K., Negrotto D., Gorchach J., Lanahan M., Salmeron J., Ward E., Kessmann H. & Ryals J. (1996): Reduction of risk for growers: Methods for the development of disease-resistant crops. *New Phytol*, 133 (1), 3-10.
- Uknes S., Vernooij B., Williams S., Chandler D., Lawton K., Delaney T., Friedrich L., Weymann K., Negrotto D., Gaffney T., Guttrella M., Kessmann H., Alexander D., Ward E. & Ryals J. (1995): Systemic acquired resistance. *Hortscience*, 30 (5), 962-963.
- Vail M.E., Wolpert J.A., Gubler W.D. & Rademacher M.R. (1998): Effect of cluster tightness on Botrytis bunch rot in six Chardonnay clones. *Plant Disease*, 82 (1), 107-109.
- Walker M.A., Lider L.A., Goheen A.C. and Olmo H.P. 1991. VR 039-16. *HortScience*, 26,1224-1225.
- Weltzien H.C. & Ketterer N. (1986): Control of downy mildew, *Plasmopara viticola* (de Bary) Berlese et de Toni, on grapevine leaves through water extracts from composted organic wastes. *Journal of Phytopathology*, 116 (2), 186-188.

Exkurs: Induzierte Resistenz

Einleitung

Die Krankheitsanfälligkeit einer Pflanze kann durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. Bekannt ist beispielsweise seit langem, dass stark gedüngte, aber auch mangelernährte Pflanzen anfälliger als ausgewogen ernährte Pflanzen gegenüber Schaderregern sind. Die Anfälligkeit wird durch verschiedene Umweltfaktoren wie Düngung und Stressfaktoren prädisponiert. Die Prädisposition äussert sich beispielsweise in einer unterschiedlich ausgeprägten Zellwanddicke, unterschiedlicher Wachsschicht auf der Blattoberfläche oder durch eingelagerte pflanzeigene Abwehrstoffe wie Phenole.

Ein völlig anderes Phänomen, das zu erhöhter Resistenz gegenüber Schaderregern führt, wird unter dem Begriff der *induzierten Resistenz* (local acquired resistance, resp. systemic acquired resistance) zusammengefasst. Induzierte Resistenzmechanismen entstehen nach einer Behandlung der Pflanzen mit geeigneten mikrobiologischen oder chemischen Mitteln. Zuerst wird induzierte Resistenz in der Regel an der behandelten Stelle beobachtet, man spricht von lokaler induzierter Resistenz (local acquired resistance). Einige Zeit später können Abwehrmechanismen auch auf entfernteren Pflanzenteilen festgestellt werden. In diesem Falle handelt es sich um *systemische induzierte Resistenz* (systemic acquired resistance) (Agrios 1988). Systemische Resistenz kann unter noch sehr wenig verstandenen Bedingungen auch über den Boden induziert werden.

Das natürliche Phänomen der Resistenzentwicklung als Antwort auf eine vorhergehende Infektion wurde erstmals anfangs des Jahrhunderts beobachtet. Detailliertere Untersuchungen über induzierte Resistenz wurden in den Sechziger Jahren mit Tabakpflanzen durchgeführt. Die Pflanzen wurden mit dem Tabak Mosaik Virus infiziert und zeigten vorerst eine lokale Resistenzentwicklung. In weiteren Versuchen mit Blauschimmel (*Peronospora tabacina*) konnte auch systemisch Resistenz induziert werden, die allerdings mit schwerwiegenden Krankheits-symptomen einherging. Wegbereitend für die Erforschung des Phänomens der induzierten Resistenz war ein Experiment, das mit Gurke und dem Erreger *Colletotrichum lagenarium* durchgeführt wurde: Bei der einen Gurkenpflanze wurde das unterste Blatt infiziert, eine Kontrollpflanze blieb unbehandelt. Nach einer Woche wurden die ganzen Pflanzen mit einer Sporensuspension inokuliert. Nach Ablauf einer weiteren Woche zeigte sich, dass die bereits infizierte Pflanze keine weiteren Infektionsstellen aufwies, währenddem die Kontrollpflanze mit Infektionsstellen übersät war. Die ForscherInnen schlossen daraus, dass die erste Infektion Prozesse auslöste, die schliesslich zur Resistenzbildung in den anderen Blättern führte. Inzwischen ist klar, dass Pflanzen sich aktiv gegen Krankheitsbefall wehren können. Die induzierten Gurkenpflanzen waren mindestens gegen 13 Krankheitserreger immun. Verschiedene Forschungsgruppen trugen in der Folge zum besseren Verständnis der Prozesse bei (Reviews siehe Kessmann *et al.* 1994a; Kessmann *et al.* 1994b; Uknes *et al.* 1995).

Merkmale und Mechanismen

Nach einer Infektion mit einem Krankheitserreger zeigen Pflanzen verschiedene Abwehrmechanismen. Als erstes tritt oft das spontane Absterben der befallenen Zellen auf. Dadurch soll dem Krankheitserreger die Lebensgrundlage entzogen werden. Dieses Phänomen wird als hypersensitive Reaktion bezeichnet. Später werden *Phytoalexine*²⁹ gebildet, die den Krankheitserreger eingrenzen und abtöten. Die rechtzeitige Erkennung eines Angriffs durch ein Pathogen spielt dabei eine entscheidende Rolle. Die induzierte Resistenz, so wird vermutet, basiert hauptsächlich auf der Aktivierung der pflanzeneigenen Erkennungssysteme und rechtzeitigen Bildung von Phytoalexinen. Sofern die Wirtspflanze einen Angriff rechtzeitig erkennt, kann die Infektionsstelle isoliert und die weitere Ausbreitung des Krankheitsbefalls gestoppt werden. Welche Stoffe für das systemische Signal in der Pflanze zuständig sind, ist nicht bekannt. Es wurde jedoch gezeigt, dass Acetylsalicylsäure in die Übertragung des Signals involviert ist (Ryals *et al.* 1996).

²⁹ Der Begriff Phytoalexine bezeichnet eine Vielzahl von Verbindungen, die von Pflanzen als Reaktion auf Krankheitsbefall gebildet werden. Häufig haben diese Substanzen eine fungizide Wirkung. Bei der Rebe ist Resveratrol, ein Stilben, am besten untersucht. Resveratrol wird nach Befall durch die Graufäule (*Botrytis cinerea*) in den Trauben gebildet. Resveratrol hat einige Bekanntheit erreicht, da mässiger Genuss von Rotwein das Risiko für Herzinfarkte vermindert soll.

Mit der Resistenzinduktion geht eine Akkumulation von besonderen Proteinen, sogenannten *pathogenesis-related proteins* einher. Einige dieser Proteine wurden als -1,3 Glucanasen, Chitinasen und Thaumatin-ähnliche Proteine identifiziert. Sie sind Enzyme, die pilzliche oder bakterielle Zellwände abbauen können. Histologische Studien haben ferner gezeigt, dass in induzierten Gurken die Penetration durch die Krankheitserreger gehemmt wird. Es wird daher angenommen, dass die Bildung von Papilla³⁰ und die Verholzung der Zellwände mit induzierter Resistenz in Zusammenhang stehen (Kessmann *et al.* 1994b).

Resistenzinduktoren

Systemische Resistenz kann durch Mikroorganismen, mikrobielle Extrakte oder chemische Substanzen induziert werden.

Mikrobiologische Induktoren – Gegen bestimmte Krankheiten kann durch die Behandlung der Pflanze mit einem *avirulenten Stamm des Krankheitserregers* oder durch eine Infektion mit dem *Krankheitserreger* selbst in einem früheren Wachstumsstadium Resistenz induziert werden. Zum Beispiel können Kartoffeln durch eine lokale Präinfektion mit dem Non-Pathogen *Phytophthora cryptogea* induziert werden. Sie sind in der Folge gegen den Pilz *Phytophthora infestans* und gegen das Bakterium *Erwinia carotovora* tolerant (Dutton *et al.* 1997). Maispflanzen können mit einer harmlosen Rasse des Krankheitserregers *Cochliobolus carbonum* induziert werden. Sie zeigen in der Folge Resistenz gegen diesen Erreger, der die Helminthosporium-Blattflecken verursacht (Cantone & Dunkle 1990a; Cantone & Dunkle 1990b). Bisher gelangte kein solches Verfahren zur Praxisreife.

In anderen Studien konnte mit wachstumfördernden *Rhizobakterien* Resistenz induziert werden. Dieser Ansatz besteht insofern, dass Krankheitsregulierung und Förderung der Pflanzengesundheit mit einer einzigen Behandlung erfolgen können.

Chemische Induktoren – Damit ein *chemischer Wirkstoff* als Resistenzinduktor klassifiziert werden kann, muss er einige Kriterien erfüllen:

- a) Er muss in behandelten Pflanzen Resistenz gegen die selben Krankheiten induzieren, die auch bei einer biologischen Resistenzinduktion erfasst werden.
- b) Er darf keine antimikrobielle Aktivität aufweisen und keine antimikrobiellen Metaboliten bilden.
- c) Nach einer Behandlung der Pflanze müssen die selben vorinfektionären biochemischen Prozesse stattfinden wie nach einer biologischen Resistenzinduktion.

Solche Stoffe greifen in der Regel in der noch wenig verstandenen Signalkette in der Pflanze ein. Der erste solche Stoff, mit dem die Signalkette künstlich in Gang gesetzt werden konnte, war Acetylsalicylsäure. Diese Verbindung wird von den Pflanzen allerdings schlecht aufgenommen wenn sie äusserlich auf das Pflanzengewebe gespritzt wird. Ferner zeigt Acetylsalicylsäure starke toxische Wirkungen auf zahlreiche Pflanzen.

Weitere chemische Verbindungen, mit denen in Pflanzen Resistenz induziert werden kann, sind 2,6-Dichlorisonicotinsäure und ihr Methylester, die beide unter dem Namen INA laufen (Kessmann *et al.* 1994a). Der Resistenzinduktor Benzo[1,2,3]thiadiazol-7-Thiocarbonsäure-S-Methylester wurde von Ciba-Geigy entwickelt. Er wurde Mitte der neunziger Jahre unter dem Handelsnamen Bion von der Herstellerfirma intensiv gefördert. Bion zeigt laut Forschungsberichten alle Eigenschaften eines chemischen Resistenzinduktors (CIBA 1995).

Ferner werden die Wirkungen des möglichen Resistenzinduktors PEN am Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) erforscht. PEN ist ein wässriger Extrakt aus Zellwandbestandteilen des Pilzes *Penicillium chrysogenum*. Bisher konnte gezeigt werden, dass PEN als physiologische Barriere gegen Krankheitserreger wirkt und in Tomaten, Gurken und Reben - zumindest lokal - auch Resistenz induzieren kann (Rentsch 1998). Ob durch PEN auch systemische Resistenzmechanismen induziert werden, ist Gegenstand laufender Forschungsprojekte.

Potential

Das Konzept der induzierten Resistenz basiert vollständig auf natürlichen in der Pflanze vorhandenen Abwehrmechanismen. Die Anfälligkeit von herkömmlichen Sorten kann reduziert werden, und damit kann ein gewisses Mass an Ertragssicherheit gewonnen werden. Es ist somit insbesondere für ökologische Anbausysteme interessant. Bestehend, obwohl noch weitgehend unverstanden, ist das Konzept der Resistenzinduktion über den Boden. Damit wird einer der grundlegendsten Gedanken der biologischen Anbauweise aufgenommen, nämlich die Produktion gesunder Pflanzen auf einem nachhaltig tragfähigen Boden. Dabei wird der Boden als vielseitiges ökologisches System verstanden.

Das grosse Potential der Resistenzinduktion erfordert eine starke Intensivierung der Forschung auf diesem Gebiet, damit die involvierten Mechanismen besser verstanden werden und geeignete Präparate gefunden werden können.

In den letzten Jahren ist auch die erstaunliche Komplexität pflanzlicher Kommunikation zum Thema einiger Untersuchungen geworden (siehe Annex).

³⁰ Lokale Verdickungen der Zellwände

Risiken

Risiken, die mit dem Konzept der induzierten Resistenz einhergehen könnten, sind in dreierlei Bereichen denkbar:

- Analog zu Pestiziden und biologischen Pflanzenschutzmitteln könnten durch die Ausbringung von chemischen oder biologischen Induktoren Schäden für die Ökosysteme entstehen. Die Toxizität von chemischen Induktoren und derer Abbauprodukte, beziehungsweise das Potential von mikrobiologischen Induktoren als Krankheitserreger für Pflanzen, Tiere oder Menschen sind abzuklären.
- In induzierten Pflanzen produzierte Metabolite (Stoffwechselprodukte) könnten toxisch sein. Dieses Risiko ist insofern eher als gering einzuschätzen, dass induzierte Pflanzen nicht erst seit der Nutzung dieser Mechanismen vorkommen. Bei jedem Angriff durch einen Krankheitserreger werden natürlicherweise die Abwehrmechanismen einer Pflanze induziert.
- Das Risiko von Resistenzdurchbrüchen durch die Krankheitserreger ist ebenfalls gering. Die Resistenz, die in induzierten Pflanzen beobachtet wird, ist in der Regel breit und nicht selektiv. Gefahr von Resistenzdurchbrüchen besteht hingegen bei monogenetischen Resistenzfaktoren (gene-for-gene resistance). Ferner ist eine induzierte Pflanze nicht vollständig resistent. Der für Resistenzdurchbrüche erforderliche Selektionsdruck gegenüber dem Krankheitserreger dürfte gering sein.

Literatur

- Agrios G.N. (1988): Plant Pathology. San Diego, 803 S.
- Cantone F.A. & Dunkle L.D. (1990a): Involvement of an inhibitory compound in induced resistance of maize to *Helminthosporium carbonum*. *Phytopathology*, 80 (11), 1225-1230.
- Cantone F.A. & Dunkle L.D. (1990b): Resistance in susceptible maize to *Helminthosporium carbonum* race 1 induced by prior inoculation with race 2. *Phytopathology*, 80 (11), 1221-1224.
- CIBA (1995): CGA 245704 - A Plant Activator for Disease Protection. Basel, Juni 1995, Technical Data Sheet.
- Dutton M.V., Rigby N.M. & Macdougall A.J. (1997): Induced resistance to *Erwinia carotovora* ssp. *atroseptica*, through the treatment of surface wounds of potato tubers with elicitors. *Journal of Phytopathology*, 145 (4), 163-169.
- Kessmann H., Staub T., Hofmann C., Maetzke T. & Herzog J. (1994a): Induction of systemic acquired disease resistance in plants by chemicals. *Annual Review of Phytopathology*, 32, 439-459.
- Kessmann H., Staub T., Ligon J., Oostendorp M. & Ryals J. (1994b): Activation of systemic acquired disease resistance in Plants. *European Journal of Plant Pathology*, 100, 359-369.
- Rentsch C. (1998): Induced Resistance Caused by PEN in Tomato (*Phytophthora infestans*), Cucumber (*Colletotrichum lagenarium*/*Pseudoperonospora cubensis*/*Erysiphe* sp.) and Grapevine (*Plasmopara viticola*). *Diplomarbeit*, Phytopathologie, Botanisches Institut, Universität Basel, 65
- Ryals J., Neuenschwander U.H., Willits M.G., Molina A., Steiner H.-Y. & Hunt M.D. (1996): Systemic Acquired Resistance. *The Plant Cell*, 8, 1809-1819.
- Uknes S., Vernooij B., Williams S., Chandler D., Lawton K., Delaney T., Friedrich L., Weymann K., Negrotto D., Gaffney T., Gut-Rella M., Kessmann H., Alexander D., Ward E. & Ryals J. (1995): Systemic Acquired Resistance. *HortScience*, 30 (5), 962-963.

Exkurs: Nebenwirkungen bei gentechnischen Veränderungen (Positionseffekte)

Die Gentechnik ist eine völlig neue Technologie, die sich grundlegend von der konventionellen Züchtung unterscheidet. Sie ermöglicht erstmals die Übertragung einzelner isolierter Gene über Artgrenzen hinweg. Jedoch ist diese Übertragung längst nicht so gezielt, wie häufig behauptet wird. Bisher ist es bei gentechnischen Veränderungen in den seltensten Fällen möglich, die transferierten Gene im Empfängerorganismus gezielt zu plazieren. In den Pflanzen können Transgene daher am Integrationsort Gene zerstören oder die Wechselwirkung zwischen den Genen verändern und neue Wechselbeziehungen knüpfen (Jäger 1994). Auch die Funktion der neu eingebrachten Gene kann durch die neue Umgebung beeinflusst werden, da der Informationsgehalt der Gene nicht nur durch die Abfolge der Molekülbausteine, sondern auch durch die Umgebung geprägt wird. Solche pleiotropen oder Positionseffekte³¹ sind bisher nicht vorhersehbar, denn während die Abfolge der DNA-Bausteine heute leicht entschlüsselt werden kann, steht man bei der Analyse dieser komplexen übergeordneten Kontextabhängigkeit der genetischen Information erst am Anfang.

Bei gentechnischen Veränderungen von Organismen gibt es daher immer wieder Überraschungen. Zum Beispiel versuchten Napoli *et al.* (1990) durch den Transfer des CHS-Gens in Petunien die Chalkonsynthase (CHS), ein Schlüsselenzym der Biosynthese von Blütenfarbstoffen (sogenannte Flavonoide), zu exprimieren. Sie mussten feststellen, dass alle, auch die endogenen Chalkonsynthasegene in den transgenen Pflanzen abgeschaltet wurden (Gene Silencing). Die Blüten blieben farblos oder wiesen asymmetrische oder auch regelmässige Muster auf anstatt der erwarteten erhöhten Akkumulation des roten Blütenfarbstoffs Anthocyan.³² Andere Petunien, deren Blütenfarbstoffsyntheseweg gentechnisch verändert worden war, zeigten im Freiland eine erhöhte Vitalität (Tappeser 1991). Unverhoffte „Nebenwirkungen“ gentechnischer Veränderungen wurden auch bei Hefen gefunden, in die zusätzliche Kopien hefeeigener Gene des Zuckerstoffwechsels kloniert worden waren. Sie synthetisierten grosse Mengen eines Stoffs, der zumindest bei Mikroorganismen mutagen (erbgutverändernd) wirkt (Inose & Murata 1995). Blätter von Baumwollpflanzen mit einem Giftgen aus Bakterien wurden zur Verrottung in Böden eingearbeitet. Sie veränderten die Wachstumsrate und Zusammensetzung der Bodenmikroflora. Der Effekt beruht jedoch nicht auf dem rekombinanten Giftstoff, sondern ebenfalls auf einer Nebenwirkung der Transformation (gentechnischen Veränderung) (Donegan *et al.* 1995). Auch bei Wachstumsstörungen von Ratten nach Langzeitfütterung von gentechnisch veränderten Lektinkartoffeln stehen Nebenwirkungen der Klonierung im Verdacht an der gesundheitsschädlichen Wirkung beteiligt zu sein (Tappeser 1999). Der an den Experimenten beteiligte Forschungsleiter Arpad Pusztai vom englischen Rowettinstitut hat aufgrund dieser Ergebnisse gefordert, dass die bisher im Rahmen von Zulassungen transgener Pflanzen zu Nahrungs- und Futtermittelzwecken durchgeführten Sicherheitsuntersuchungen verbessert werden müssen. Andernfalls werden eine Reihe von neuen Risiken eingegangen, die im vollen Umfang erst kommende Generationen zu tragen hätten. Dies ist mit einer nachhaltigen Entwicklung jedoch keinesfalls zu vereinbaren.

Literatur

- Donegan K.K., Palm C.J., Fieland V.J., Porteous L.A., Ganio L.M., Schaller D.L., Bucuo L.Q., Seidler R.J. (1995): Changes in levels, species and DNA fingerprints of soil microorganisms associated with cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* endotoxin. *Applied Soil Ecology*, 2, 111-124.
- Inose T., Murata K. (1995): Enhanced accumulation of toxic compound in yeast cells having high glycolytic activity: a case study on the safety of genetically engineered yeast. *International Journal of Food Science and Technology*, 30, 141-146.
- Jäger M. (1994): Novel Food - Gentechnische Nahrung. Vortrag bei der International Society of Doctors for the Environment (ISDE) Konferenz 16.9.1994, Koblenz.
- Napoli C., Lemieux C., Jorgensen R. (1990): Introduction of a chimeric chalcone synthase gene into petunia results in reversible co-suppression of homologous gene in trans. *Plant Cell*, 2, 279-289.
- Tappeser B. (1991): Gutachten zu der wissenschaftlichen Zielsetzung und dem wissenschaftlichen Sinn des Freisetzungsvorgangs mit transgenen Petunien. Öko-Institut e.V., Freiburg.
- Tappeser B. (1999): Human and animal health impacts of transgenic crops. The results of feeding experiments with transgenic potatoes. Consequences for the Biosafety Protocol. <http://www.oeko.de/english/gentech/lecture.htm>.
- Van Der Krol A., Mur L.A., Beld M., Mol J.N.M., Stuitje A.R. (1990): Flavonoid genes in petunia addition of a limited number of gene copies may lead to a suppression of gene expression. *Plant Cell*, 2, 291-300.

³¹ Positionseffekt: Effekte, die darauf beruhen, dass ein Gen je nach seiner Lage im Genom eines bestimmten Organismus verschiedene Wirkungen haben kann. Pleiotropie: Die phänotypische Wirkung eines Gens auf mehr als ein Merkmal.

³² Bei manchen Pflanzen traten gleichzeitig verschiedene Färbungsmuster der Blütenkronblätter auf, allerdings an verschiedenen Trieben. Andere, die zunächst einheitlich weiss geblüht hatten, zeigten wenige Monate später unregelmässig gefleckte Blüten, wobei das Ausmass der Fleckung sehr unterschiedlich war. Ähnliches stellte auch eine andere Arbeitsgruppe fest: die Integration von einer oder mehreren Kopien des Petunien-CHS-Gens in Petunien führte bei einem Viertel der transgenen Pflanzen zu einer starken Unterdrückung der Expression der endogenen und der neu hinzugekommenen Gene. Hinzu kam eine vorher nicht bestehende Abhängigkeit der Blütenfärbung von der Tageslichtdosis (van der Krol *et al.* 1990).

Teil II: Eine nachhaltige Landwirtschaft

Im Teil II wenden wir uns weg von den Detailbetrachtungen der Kulturen hin zur übersichtsmässigen Betrachtung der Konzepte "Nachhaltigkeit", "Transgene Pflanzen" und "Biolandbau". Ausgehend von der Frage, was eine nachhaltige Landwirtschaft beinhaltet (Einleitung), werden die Auswirkungen der konventionellen Landwirtschaft aufgezeigt (Kapitel 7). Nachfolgend wird die ökologische, soziale und ökonomische Nachhaltigkeit transgener Pflanzen (Kapitel 8) sowie des Biolandbaus (Kapitel 9) hinterfragt und zusammengefasst. Abschliessend wird in Kapitel 10 die Forderung einer gentechnikfreien und nachhaltigen Landwirtschaft in der Schweiz zur Diskussion gestellt.

Einleitung: Das Konzept der Nachhaltigkeit

Der Brundtland-Report (Hauff 1987) hat 1987 erstmalig das Prinzip der nachhaltigen Entwicklung entworfen. Eine Entwicklung, welche die Bedürfnisse der heute lebenden Menschen befriedigt, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zur Befriedigung ihrer Bedürfnisse einzuschränken, wurde danach als nachhaltig oder zukunftsfähig charakterisiert. Die Formulierung dieses Prinzips geschah vor dem Hintergrund einer immer noch bestehenden existenziellen Unterversorgung grosser Teile der Menschheit.

Die Idee, der Gro Harlem Brundtland mit diesem Report zu weltweiter Reputation verhalf, verknüpfte erstmals drei Dimensionen miteinander, die bis dato weitgehend getrennt voneinander diskutiert worden waren - nämlich die wirtschaftliche mit der sozialen und ökologischen Dimension menschlichen Handelns. Auf dem Gipfel von Rio 1992 wurde durch die Verabschiedung der Agenda 21 das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung für eine zukünftige Umwelt- und Entwicklungspolitik festgeschrieben, aufbauend auf den Ideen des Brundtland-Reports. In vierzig Kapiteln werden die wichtigsten Problem- und Handlungsbereiche angesprochen, die auf dem Weg in ein nachhaltiges 21. Jahrhundert angegangen werden müssen. Das Kapitel 14 widmet sich der Entwicklung einer nachhaltigen Landwirtschaft und ländlichen Entwicklung. Die Agenda 21 ist nun aber keine konkrete Handlungsanleitung, sondern eine Absichtserklärung. Deren Umsetzung muss sektorenspezifisch bzw. entlang spezifischer Bedürfnisfelder erfolgen.

Vielfach wird das Konzept der Nachhaltigkeit (Sustainability) als umfassender Ansatz beschrieben, der sowohl normative als auch methodische Elemente enthält. Nachhaltigkeit ist danach eine "regulative Idee" von der Art wie Gesundheit, Schönheit oder Freiheit. Die allgemeine Idee muss in der jeweiligen Situation neu interpretiert werden. Die wesentlichen Herausforderungen des Konzepts der Nachhaltigkeit scheinen die Integration verschiedener Entwicklungsdimensionen und die Erhaltung von Zukunftsoffenheit und Lernfähigkeit zu sein. Zukunftsoffenheit setzt voraus, dass durch heutiges Handeln und Wirtschaften Ressourcen nicht so geschädigt werden, dass bestimmte Entwicklungs- und Handlungsoptionen von vorneherein ausfallen. Vor allem im ökologischen Bereich gibt es deshalb Mindeststandards, die nicht gegen ökonomische oder soziale Notwendigkeiten aufgewogen werden können. Diese beziehen sich auf langfristige irreversible Schäden natürlicher Systeme (EWEN *et al.* 1997). Aber jenseits dessen gibt es nur allgemeine Prinzipien und Kriterien, an denen jeweils die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (s.u.) neu erarbeitet werden müssen - für jedes Land, für verschiedene Bedürfnisfelder, für verschiedene Regionen, jeweils eingebettet in die dort vorfindlichen ökologischen Bedingungen und verschiedenen kulturellen Zusammenhänge und Werthaltungen.

Ausgehend von unterschiedlichen Konzeptionen der Nachhaltigkeit und ausgehend von drei Fragen wurde im Rahmen eines Projektverbundes zu Instrumenten einer nachhaltigen Regionalentwicklung (Schleicher-Tappeser *et al.* 1998) ein System von zehn Komponenten der Nachhaltigkeit entwickelt. Dieses Grundraster wird hier kurz vorgestellt, da es in überzeugender Weise die übergeordneten Prinzipien und Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung charakterisiert.

Für sich genommen sind viele dieser 10 Komponenten der Nachhaltigkeit nichts Neues. Für die Komponenten 1 bis 5 gibt es etablierte Politikbereiche, Verfahren, Kompetenzen und Ministerien. Trotzdem droht die Gesamtentwicklung unsere längerfristigen Lebensgrundlagen zu zerstören. Die eigentliche Herausforderung des Konzepts der Nachhaltigkeit liegt offensichtlich in der Art, wie wir mit diesen verschiedenen Dimensionen umgehen.

Das systemische Prinzip der Vielfalt ist besonders wichtig, wenn es um Nahrungssicherheit und langfristige Erhaltung der "Produktionsgrundlagen" also den Erhalt von Böden, Ökosystemen und Artenvielfalt sowie die langfristige Sicherstellung der Wasserversorgung geht, die Grundvoraussetzungen einer landwirtschaftlichen Produktion darstellen.

Vielfalt ist das Prinzip, das in der Biologie sich durch alle Ebenen zieht und als Basis und Sicherstellung der Existenz des Lebens und seiner Anpassungsmöglichkeiten an wechselnde (Umwelt)Bedingungen anzusehen ist.

Eine vielfältige Ernährung ist die gesündeste Art der Ernährung. Vielfältige Anbausysteme und Sortenvielfalt sind die beste Versicherung gegen Schädlingsbefall und Krankheiten. Die Artenvielfalt von Ökosysteme macht sie stabil und ermöglicht gleichzeitig die dynamische Anpassung an wechselnde Umweltbedingungen. Die Vielfalt an Ökosystemen wiederum ist die ursprüngliche Basis für die Vielfalt menschlicher Kulturen und Gemeinschaften.

Tabelle 17: Übersicht Kriterienraster (Schleicher-Tappeser 1998)

Entwicklungsdimensionen

Frage: Was wollen wir dauerhaft erhalten und entwickeln ?

1. Umweltdimension: Respekt für die ökologische Integrität und das Erbe der menschengemachten Umwelt.
2. Ökonomische Dimension: Befriedung menschlicher Bedürfnisse durch effiziente Nutzung von Ressourcen.
3. Sozio-kulturelle Dimension: Respekt für die ökologische Integrität und das Erbe der menschengemachten Umwelt.

Dimensionen der Chancengleichheit

Frage: Wie sollen wir mit unterschiedlichen Ansprüchen, Bedürfnissen und Chancen umgehen ?

4. Soziale und zwischengeschlechtliche (interpersonale) Chancengleichheit
5. Interregionale und internationale Chancengleichheit (räumliche Chancengleichheit)
6. Chancengleichheit zwischen heutigen und zukünftigen Generationen (intertemporale C.)

Systemische Prinzipien

Frage: Welche grundlegenden systemischen Herangehensweisen können uns helfen, diese Probleme zu lösen?

7. Diversität dazu gehört z.B.:

- Erhalt bzw. Entwicklung der natürlichen Artenvielfalt und der Lebensräume.
- Förderung der Vielfalt von ökonomischen Strukturen.
- Erhalt und Förderung der sozio-kulturellen Vielfalt von Regionen.
- Förderung einer Vielfalt von Politikansätzen.

8. Subsidiarität dazu gehört z.B.:

- Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Ebenen von Politik und Verwaltung, die den untersten Ebenen möglichst grosse Entscheidungsspielräume und Selbstverantwortung lässt.
- Subsidiarität im Ressourcenmanagement: Stoffströme möglichst kleinräumig halten, lokale und regionale Netzwerke stärken
- Subsidiarität in der Technik: Vermeidung von Grossstrukturen, wo kleine, eigenständige Einheiten möglich sind.
- Subsidiarität im Sozialbereich: Unterscheidung verschiedener Ebenen der Eigenverantwortung und des solidarischen Ausgleichs.

9. Netzwerke / Partnerschaft dazu gehört z.B.:

- Suche nach win-win-Situationen
- Verbesserung der Kooperation zwischen Individuen, Gruppen, Firmen und Regionen sowie Politikfeldern.
- Aufbau und Unterstützung von intra-regionalen und inter-regionalen Netzwerken
- Netzwerkförmige Organisation technischer Infrastruktur.
- Verhinderung von Monopolen und Kartellen.

10. Partizipation dazu gehört z.B.:

- Anwendung von angemessenen Beteiligungsprozessen in allen Politikfeldern.
- Aufbau eines gesellschaftlichen Umfeldes, in dem das Lernen und Leben von aktiver Beteiligung möglich ist.
- Nutzung der Offenheit für Beteiligung, um politische und gesellschaftliche Innovationen anzustoßen.

7 Umweltprobleme der konventionellen Landwirtschaft

Eine nachhaltige Landwirtschaft muss die Schnittmenge zwischen den drei Dimensionen des Sozialen, der Wirtschaft und den ökologischen Aspekten versuchen zu finden. Landwirtschaft ist aber in besonderer Masse von den natürlichen Ressourcen wie Boden, Wasser und biologischer Vielfalt abhängig, die sie ermöglichen und erhalten. Insofern gilt für den Bereich Landwirtschaft, dass die Mindeststandards, die der Erhaltung der biologischen Ressourcen gelten, auf keinen Fall gegen ökonomische oder soziale Aspekte aufgewogen werden sollten. Auch alle strukturellen Massnahmen, die zwar eine kurzfristige Wirtschaftlichkeit (meist auch nur für bestimmte Akteure) steigern können, aber langfristig irreversible Schäden nach sich ziehen, sind unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit zu verwerfen. Daraus folgt, dass strukturelle Massnahmen immer auch unter dem Aspekt angeschaut werden müssen, ob sie eine ökologisch abträgliche Praxis mitbedingen oder fortschreiben.

Monokulturen und der intensive konventionelle Landbau gelten als eine landwirtschaftliche Praxis, die für viele der heutigen Probleme verantwortlich gemacht wird, auch wenn sie in den letzten Jahrzehnten für einzelne Kulturen zu teilweise beeindruckenden Ertragszuwächsen geführt haben. Als wichtigste ökologische Probleme des Monokulturanbaus mit modernen Hochleistungssorten werden nach FAO, World Resource Institute oder anderen grossen Institutionen, die sich mit Fragen einer nachhaltigen Landwirtschaft auseinandersetzen

- Bodenerosion,
- Bodenversalzung,
- Bodenkontamination mit Pestiziden,
- Wasserbelastung mit Salzen aus Düngemitteln (Nitrat und Phosphate),
- Wasserbelastung mit Pestiziden,
- Einengung der Artenvielfalt,
- Einengung des Genpools einzelner Arten

eingestuft, die dazu geführt haben, dass in vielen Regionen bereits landwirtschaftlicher Boden vollständig verloren oder in seinem Funktionsgefüge stark gestört ist. Auch der nur noch dramatisch zu nennende Arten- und Sortenverlust wird zunehmend als eine Bedrohung zukünftiger landwirtschaftlicher Produktionsmöglichkeiten angesehen (FAO 1995, BFN 1995, World Watch Institute 1997, 1998)

7.1 Erosion/ Versalzung/ Wüstenbildung

Der Boden ist ein komplexes System von Millionen unterschiedlichster Organismen und nicht-lebenden physikalischen Strukturen. Es braucht etwa 3'000-12'000 Jahre in Abhängigkeit von Klima, verschiedenen Gesteinen etc., bis sich soviel Krume gebildet hat, dass Pflanzen wachsen können bzw. Landwirtschaft möglich wird (Tansley & Worsley 1995). Der Verlust an Mutterboden durch Monokulturen auf riesigen Flächen, wie es im Cornbelt im Mittleren Westen der USA üblich ist, ist dagegen dramatisch viel schneller. Nur ein halber Meter von ursprünglich vier Metern ist nach ca. 150 Jahren intensiver Landwirtschaft noch vorhanden (Badische Zeitung 09.01.1999). Daraus lässt sich leicht errechnen, dass das restliche Achtel in ungefähr 18-20 Jahren auch verloren ist, wenn sich nicht bald Grundlegendes in der Landbestellung ändert.

In den letzten 20 Jahren sind weltweit 100-140 Millionen Hektar Land unwiderruflich verloren gegangen, knapp 10 % des derzeit genutzten Ackerlandes in knapp einer Generation. Zum Vergleich: die gesamte Anbaufläche Deutschlands beträgt 17 Millionen Hektar (World Watch Institute 1998). Auch in europäischen Ländern ist Bodenerosion, vor allem im Maisanbau und in Hanglagen, ein gravierendes Problem.

7.2 Artenverlust

Der Artenreichtum insgesamt, aber auch die Sortenvielfalt innerhalb einer Art, ist eine unschätzbare Ressource, ohne die Ackerbau und Viehzucht, die Ernährung von mittlerweile Milliarden von Menschen nicht möglich wäre. Durch die jahrtausendelange Nutzung verknüpft mit gezielter Auslese und Anpassung an die jeweils vorfindlichen Bedingungen haben Bäuerinnen und Bauern weltweit eine riesige Vielfalt auch innerhalb einzelner Arten geschaffen. In Indien existierten zum Beispiel Mitte dieses Jahrhunderts noch mehr als 30'000 Reissorten. Diese über die Zeit geschaffene Sortenvielfalt ist von herausragender Bedeutung für die langfristige Sicherstellung der Nahrungsmittelproduktion, für die Anpassung der Nutzpflanzen an zukünftige Umweltbedingungen, Weiterentwicklung von Sorten oder Resistenzzüchtung gegen Krankheiten und Schädlingsbefall. Auch die moderne, wissenschaftlich gestützte Züchtung baut auf diesem Genpool auf. Doch gleichzeitig haben die moderne Züchtung und die parallel auf den Weg gebrachten Sortenschutzgesetze in den westlichen Industrienationen zu einem teilweise dramatischen Verlust dieser landwirtschaftlichen Sortenvielfalt geführt (Flitner 1995). So formulierte die US Academy of Sciences bereits in den siebziger Jahren: "Der Prozess stellt ein Paradox sozialer und ökonomischer Entwicklung dar, indem das Produkt der Technologie (Züchtung auf hohen Ertrag und Einheitlichkeit) die Ressourcen zerstört, auf denen die Technologie aufbaut" (1978, zitiert nach Flitner 1995). Im Weltzustandsbericht zur Situation der pflanzengenetischen Ressourcen für Landwirtschaft und Lebensmittel (FAO 1996), wird festgehalten, dass bereits ein enormer Verlust an Sortenvielfalt eingetreten ist. Nach einer amerikanischen Studie aus dem

Jahre 1984 sind von 7098 Apfelsorten, die es um 1900 in den Vereinigten Staaten noch gab, 86 % ausgestorben. Ebenso existieren 95 % der Kohlsorten, 91 % der ehemals vorhandenen Maissorten, 94 % der Erbsensorten und 81 % der Tomatenvarianten nicht mehr. Und, so stellt der Bericht fest: „Der Prozess der Modernisierung und des Sortenersatzes, für die USA umfangreich belegt, hat mittlerweile auch in vielen anderen Ländern stattgefunden und hat mit grosser Sicherheit zum Verlust einzigartigen genetischen Materials geführt“ (FAO 1996, eigene Übersetzung).

Die mit der Intensivierung der Züchtung und dem weltweiten Erfolg von Hochleistungssorten einhergehende Erosion genetischer Vielfalt innerhalb einer Art aber auch der durch die Industrialisierung und Umweltverschmutzung allgemein bedingte Artenverlust hat seit den fünfziger Jahre ein bedrohliches Ausmass angenommen. Die Landwirtschaft gilt neben Verstädterung und Bodenversiegelung als der wichtigste Verursacher dieses Verlustes.

In der Schweiz gelten 881 von den hier vorkommenden 2696 Farn- und Blütenpflanzen als bedroht, selten oder bereits ausgestorben. Das sind 1/3 aller bekannten Arten. Ebenso gelten 40 % aller Moose als gefährdet. Nur 2745 oder 7 % von geschätzten 40'000 Arten wildlebender Tiere sind bzgl. ihrer Gefährdung bewertet. Von diesen sind 1449 oder 43 % auf der Roten Liste zu finden. Bei den Amphibien stehen 95 % der erfassten Arten auf der Roten Liste, bei den Bienen gelten 47 % als bedroht (BUWAL 1999)¹.

7.3 Bodenbelastung und Gewässerkontamination

Innerhalb von nur ein bis zwei Generationen ist durch die Düngepraxis in der industrialisierten Landwirtschaft eine enorme Belastung von Boden und Gewässern mit mineralischem Stickstoff und Phosphor verursacht worden (Isermann & Isermann 1997). Seit 1960 ist die Nutzung von Stickstoff weltweit um das Siebenfache angestiegen und liegt nun bei $7 \cdot 10^7$ Tonnen pro Jahr. Die daraus resultierende Überdüngung der Gewässer führt zu Algenblüte, langsamem Absterben anderer Gewässerbewohner und grossen Folgekosten bei der Trinkwasseraufbereitung. Es sind zwar bereits Verbesserungen erzielt worden, und der Verbrauch an mineralischen Phosphor- und Stickstoffdüngemitteln ist teilweise zurückgegangen. So sind z.B. in der Schweiz die Phosphoraufwandmengen auf die Aufwandmengen von vor 1950, in Deutschland von 1989 bis 1995/96 um mehr als 50 % zurückgeführt worden. Beim Stickstoff wurden die Einsatzmengen in der Schweiz seit 1993 um 15 % (IVA 1997, Landwirtschaftlicher Informationsdienst 1999) in Deutschland seit 1989 um ca. 20 % reduziert, aber trotzdem werden im Durchschnitt rein rechnerisch immer noch 42 % Phosphor und 75 % Stickstoff zuviel auf die landwirtschaftlichen Felder verteilt (Isermann & Isermann 1997). Gleichzeitig bedingt diese Form der Intensivlandwirtschaft einen Verlust an organisch gebundenem Kohlenstoff und Stickstoff im Boden, die als Massstab für die Bodenfruchtbarkeit genommen werden. In Langzeitversuchen in England und den USA wurde gezeigt, dass 50 Jahre Düngung mit mineralischem Dünger zu einem Verlust von 50-65 % des organisch gebundenen Kohlenstoffs und Stickstoffs geführt haben (Tilman 1998), während bei einer biologisch-organischen Anbauweise mit tierischem Dünger bei gleichen Erträgen kein Verlust an organisch gebundenem Stickstoff und Kohlenstoff und damit auch kein Verlust von Bodenfruchtbarkeit auftrat (Tilman 1998, Drinkwater et al. 1998).

7.4 Pestizide

Zu einer Intensivlandwirtschaft gehören Pestizide. Ohne diese Wirkstoffe wären die hohen Erträge in dieser Art von Landwirtschaft nicht zu erzielen. Ca. 45 Milliarden sFr. betrug der Weltmarktumsatz im Pflanzenschutz 1997. Die wichtigsten Produktgruppen sind Herbizide, Insektizide und Fungizide. Spätestens seit Rachel Carson 1963 „Der stumme Frühling“ veröffentlicht hat, mit dem die Autorin auf die Folgeerscheinungen von dem mittlerweile verbotenen DDT hinweisen wollte, ist die Problematik von Pestiziden im öffentlichen Bewusstsein. Doch geändert hat sich nicht viel, weil Pestizide ein einfaches und wirksames Mittel scheinen, mit ackerbaulichen Problemen fertig zu werden. Doch der Effekt ist häufig kurz und der Gesamtpreis, der für den Einsatz zu zahlen ist, ist hoch - monetär und unter gesundheitlichen und ökologischen Aspekten. So stieg zwischen 1949 und 1989 die Anwendung von Insektiziden um das 10-fache, aber die Ernteverluste verdoppelten sich trotzdem von 7 auf 13 %: Dies liegt teilweise daran, dass die Schädlinge Resistenzen gegenüber den eingesetzten Mitteln entwickeln. Zwischen 1965 und 1996 ist z.B. die Anzahl resistenter Schadinsekten von 182 auf 900 angestiegen (World Watch Institute 1996). Gleichzeitig wird die Entwicklung neuer Insektizide immer aufwendiger und teurer. Sie dauert 10 Jahre und kostet zwischen 20 und 5 Millionen US-Dollar. 1996 bezahlte die Industrie dafür im Schnitt 1,2 Millionen US-Dollar (World Watch Institute 1996). Auch der Preis, den die Menschen mit ihrer Gesundheit zu zahlen haben, wird immer höher. Am schlimmsten trifft es die in der Landwirtschaft Arbeitenden und hier vor allem die Entwicklungsländer. Nicht nur werden hier längst verbotene Pestizide weiterhin in diese

¹ In Deutschland gelten 32 % aller Farn- und Blütenpflanzen als bedroht, ca. 15% sind entweder bereits ausgerottet oder hochgradig bedroht. Bezogen auf die Tierwelt sieht die Bilanz noch düsterer aus. 50 % aller Wirbeltiere gelten als ausgestorben oder in ihrem Überleben extrem bedroht. Dazu gehören 52 % aller hier wildlebenden Säugetiere, 45% aller Brutvögel, 77% aller Reptilien (z.B. Eidechsen, Schlangen), 65% der Amphibien (z.B. Frösche, Kröten), 72% der Süsswasserfische und 43% der Salzwasserfische (BFN 1995).

Länder exportiert, sondern es werden auch teilweise die minimalsten Sicherheitsmassnahmen missachtet.² Auch die Industrienationen haben ihren Preis zu zahlen. 260 Millionen DM müssen die Wasserwerke in Deutschland jährlich aufwenden, um Pestizidrückstände aus der Landwirtschaft aus dem Trinkwasser zu entfernen, um damit das wichtigste Lebensmittel nicht zu einer Gesundheitsgefährdung werden zu lassen (Oppermann *et al.* 1998).

In der Schweiz wurden durch eine Änderung der Landwirtschaftspolitik von 1990 bis 1996 18 % oder 700 t Pestizide weniger auf die landwirtschaftlichen Felder versprüht. Allerdings sind reine Mengenerrechnungen bei Pestiziden nur bedingt aussagefähig, da teilweise neue hochwirksame Mittel auf den Markt eingeführt worden sind, die eine höhere Wirksamkeit pro Gewichtseinheit aufweisen.

Literatur

- BFN (Bundesanstalt für Naturschutz) (1995): Materials on the Situation of Biodiversity in Germany. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- BUWAL (1999): <http://www.admin.ch/buwal/d/themen/umwelt/vielfalt/index.htm>
- Drinkwater L.E., Wagoner P., Sarrantonio M. (1998): Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, 396, 262 -265.
- Ewen C., Ebinger F., Gensch C.-O., Griesshammer R., Hochfeld C., Wollny V. (1997): Hoechst Nachhaltig. Sustainable Development: Vom Leitbild zum Werkzeug. Freiburg/ Darmstadt/ Berlin.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1995): World Agriculture: Towards 2010. An FAO Study. FAO/ John Wiley & Sons, Chichester/ New York/ Brisbane/ Toronto/ Singapore.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (1996): Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Division of Plant Production and Protection, FAO, Rom
- Flitner M. (1995): Sammler, Räuber und Gelehrte: die politischen Interessen an pflanzengenetischen Ressourcen 1895-1995. Campus Verlag, Frankfurt/ M. / New York.
- Gene Exchange (1999): A Public Voice on Biotechnology and Agriculture. Bt-Crop Refuges Fail to Meet Experts' Standards.
- Goodland R. (1997): Environmental sustainability in agriculture: diet matters. *Ecological Economics*, 23, 189 -200.
- Hauff V. (Hrsg.) (1987): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, Greven.
- Isermann K., Isermann R. (1997): Globale, territoriale, regionale und betriebliche Nährstoffbilanzierung als Grundlage ursachenorientierter und hinreichender Lösungsansätze zur Umsetzung einer nachhaltigen Landnutzung. In: UBA (Umweltbundesamt) (Hrsg.) Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft. Ein Instrument für den Umweltschutz? Workshop 20.-21.06.1996. Tagungsberichte 20. Umweltbundesamt, Wien, 241 -313.
- Landwirtschaftlicher Informationsdienst (1999): <http://www.landwirtschaft.ch/Schule/oekobroschuere/frame.htm>
- IVA (Industrieverband Agrar e.V.) (1997): Wichtige Zahlen: Düngemittel. IVA, Frankfurt/ M.
- IVA (Industrieverband Agrar e.V.) (1998): Jahresbericht 1997/98. IVA, Frankfurt/ M.
- Oppermann R., Erzgraber K., Kless R. (Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz, Singen) (1998): NABU-Studie zum Ökolandbau. Ein Szenario des NABU. Naturschutzbund Deutschland e.V., Bonn.
- Schleicher-Tappeser R., Lukesch R., Strati F., Sweeney G.P., Thierstein A. (1998): Instruments for Sustainable Regional Development (INSURED). Final Report. EURES. Institut für Regionale Studien in Europa, Freiburg.
- Tansey G., Worsley T. (1995): The Food System. A Guide. Earthscan Publications Limited, London.
- Tilman D (1998): The greening of the green revolution. *Nature*, 396, 211-212.
- Umweltbundesamt (1998): Nachhaltiges Deutschland. Wege zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung. 2. durchges. Aufl.. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- USDA (1999): Report erhältlich unter: www.econ.ag.gov/new-at-ers
- Wilson EO (1992): The Diversity of Life. W. W. Norton & Company, New York/ London.
- Worldwatch Institute (1996, 1997, 1998): Zur Lage der Welt - 1996. Fischer Taschenbuch Verlag GmbH, Frankfurt/ M.

² So wird in vielen Plantagen Lateinamerikas auch dann aus der Luft gesprüht, wenn ArbeiterInnen in den Feldern beschäftigt sind. Bis zur Mitte der 80er Jahre entfielen die Hälfte der Pestizidvergiftungen und 80 % der durch Schädlingsbekämpfungsmittel verursachten Todesfälle auf die Entwicklungsländer, obwohl sie global gesehen nur 20 % der Pestizide verbrauchten. Zudem passiert der Pestizideinsatz häufig auf Feldern, wo sogenannte cash crops wachsen, Nutzpflanzen, Obst, Gemüse (und vielfach auch Blumen), die für den Export in die Industrieländer vorgesehen sind. Allein in China starben 1993 schätzungsweise 10'000 Landwirte an Pestizidvergiftungen (World Watch Institute 1996).

8 Transgene Pflanzen und Nachhaltigkeit

Die Einführung neuer Technologien in der Landwirtschaft - vor allem dann, wenn sie sich als Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung verstehen, sind als erstes daran zu messen, ob sie einen substantiellen Beitrag zur Minderung der wesentlichen pflanzenbaulichen Probleme einzelner Kulturen, aber auch der allgemeineren ökologischen Probleme leisten können. Wie die Beispiele im vorangegangenen Teil I deutlich gezeigt haben, hat in aller Regel die Gentechnik wenig zur Lösung der wichtigsten Probleme im Pflanzenbau beizutragen - dies gilt auch für die Schweiz. Sie ist häufig auch gar nicht darauf ausgerichtet.

Ein zweites Set von Prüfkriterien geht deshalb dahin, herauszufinden, ob und welchen Einfluss die Entwicklung transgener Pflanzen und Tiere auf allgemeine Anbaupraxis und strukturelle Rahmenbedingung hat, ob sie z.B. an der derzeitigen Praxis des (Monokultur)Anbaus Wesentliches zu verändern vermögen bzw. ob sie ermöglichen, die immer wieder geforderte grössere Vielfalt im Anbau zu erleichtern.

8.1 Ökologische Kriterien

Grundvoraussetzung einer Entwicklung hin zu einer nachhaltigen Landwirtschaft ist ein Systemwechsel weg von einer High-Input auf Monokulturen basierenden Landwirtschaft hin zu einer Landwirtschaft, die vielfältig und angepasst an die jeweiligen klimatischen und ökologischen aber auch kulturellen und sozialen Bedingungen ist, die Partizipation, Eigenständigkeit und Mitbestimmung ermöglicht und gleichzeitig für eine angemessene und ausreichende Versorgung aller Menschen sorgt. Eine solche systemorientierte Low-Input Landwirtschaft nutzt die natürlichen Ressourcen optimal, integriert Tierhaltung und Pflanzenanbau und achtet darauf, dass keine dauerhaften Schäden an den natürlichen Ressourcen entstehen.

Im folgenden wird exemplarisch überprüft, welche ökologischen Problembereiche in der Landwirtschaft von transgenen Pflanzen beeinflusst werden. Die existentielle Abhängigkeit alles (menschlichen) Lebens von einer ausreichenden und langfristig gesicherten Nahrungsmittelproduktion qualifiziert die Erhaltung der ökologischen Ressourcen als eine unhintergehbare Notwendigkeit und Grundvoraussetzung. Insofern erfährt diese Dimension hier eine besondere Aufmerksamkeit.

Die derzeitige Situation im kommerziellen Anbau ist dadurch gekennzeichnet, dass die wichtigste und erfolgreichste Eigenschaftsveränderung die Herbizidresistenz ist. Auf 71 % der kommerziellen Anbaufläche wuchsen 1998 herbizidresistente Pflanzen (James 1998), auf einem weiteren Prozent Pflanzen, die sowohl herbizid- als auch insektenresistent waren. 28 % der Fläche wurde mit insektenresistentem Mais oder Baumwolle bebaut. Alle anderen Eigenschaftsveränderungen wie Virusresistenzen oder Inhaltsstoffveränderungen blieben deutlich unter 1 %.

Herbizidresistenz, Insektenresistenz und alle weiteren bisher realisierten Eigenschaftsveränderungen werden in die modernen Hochleistungssorten eingebaut. Diese stellen hohe Ansprüche an Düngepraxis und Bewässerung, sowie Unkraut- und Schädlingsbekämpfungsmanagement, um die entsprechenden Erträge realisieren zu können. Auch der Monokulturanbau bleibt unverändert. Daraus folgt, dass die dringendsten Probleme der industrialisierten Landwirtschaft, die aus dieser Praxis folgen, nämlich Erosion, Bodenbelastung und Gewässerkontamination, Versalzung und Wüstenbildung keine Verbesserung erfahren. Dies gilt auch für die Pflanzen der zweiten Generation, die sich derzeit noch in der Entwicklung befinden, und z.B. als Functional Food mit einem Zusatzgesundheitsnutzen ausgestattet werden sollen. Hier wird nur auf einzelne Inhaltsstoffe geachtet, aber keine Veränderung der Anbaupraxis angestrebt.

Zusätzlich sind die derzeitigen Entwicklungen hauptsächlich auf den Futtermittelsektor ausgerichtet. Die Nutztierzucht wird aber unter Umweltaspekten als die mit den grössten Schadwirkungen verknüpfte landwirtschaftliche Produktion angesehen: Nutztiere verbrauchen etwa die Hälfte der jährlich erzeugten Getreideernte¹. Auch zur Ernährungssicherung in den armen Ländern trägt sie wenig bei, denn dort konzentriert sich die Ernährung hauptsächlich auf pflanzliche Produkte. Allerdings ist der Verzehr von Fleisch und tierischen Produkten in den OECD Ländern hoch und wächst stetig in den Ländern mit steigendem Wohlstand: Neben den USA werden vor allem in China grosse Getreidemengen in der Tierproduktion veredelt. Auch in Deutschland werden 75-80 % der gesamten Getreideproduktion als Tierfutter verwendet, wobei nur etwa 15 % der verfütterten Energiemenge in den resultierenden tierischen Produkten enthalten sind (Pinstrop-Andersen 1998; Umweltbundesamt 1998).

Trotz allem werden transgene Pflanzen als Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung charakterisiert. Dies wird mit möglichen Ertragssteigerungen einerseits und Einsparungen auf der Pestizidseite andererseits begründet. Auch wenn ein solcher punktueller Ansatz dem Nachhaltigkeitskonzept nicht entspricht, das eine sehr viel umfassendere Integration verschiedener Aspekte fordert, kann mittlerweile in Ansätzen überprüft werden, ob diese Hoffnungen sich in der Praxis realisieren lassen.

¹ FAO-Daten von 1995, zitiert nach Goodland 1997.

8.1.1 Herbizidresistenz

Herbizidresistente Nutzpflanzen helfen nach Meinung der Industrie Spritzmittel einzusparen und damit Erträge zu steigern. Mit diesen Argumenten wird ihre Nachhaltigkeit begründet.

Mittlerweile liegen erste Daten zu den Spritzmittelaufwendungen und Erträgen transgener herbizidresistenter Pflanzen in der Vereinigten Staaten vor. Untersucht wurden herbizidresistenter (HR) Mais, HR-Baumwolle und HR-Sojabohnen.

Sojabohnen

Round Up Ready Sojabohnen, die 1998 auf fast 50 % der Sojaanbaufläche in den USA angebaut wurden, tolerieren den Herbizid-Wirkstoff Glyphosat. Nach Unterlagen der Herstellerfirma Monsanto konnten im Schnitt 22 % (1996) bzw. 26 % (1997) Herbizide eingespart werden und eine durchschnittliche Ertragssteigerung von 5 % erzielt werden (Monsanto 1998). In einer Übersicht, die kürzlich vom amerikanischen Landwirtschaftsministerium vorgelegt wurde, ergibt sich eine wesentlich differenziertere Sicht. In drei von fünf Regionen konnten bei den Sojabohnen zwischen 20 bis 50 % Herbizide eingespart werden, in den beiden anderen Regionen war der Herbizidverbrauch bei RR-Sojabohnen gleich oder etwas höher. Nur in einer Region konnte der Ertrag gesteigert werden, in allen anderen untersuchten Regionen gab es entweder keine statistisch signifikanten Unterschiede oder die Erträge sanken. Untersuchungen der Universität Madison kommen zu nochmals anderen Ergebnissen. Hier wurden 5172 konventionelle Sorten mit 3067 gentechnisch veränderten Round Up Ready-Sorten in acht verschiedenen Staaten verglichen. Der Ertrag der RR-Sojabohnen schwankte zwischen 86 % und 113 % bezogen auf die Erträge der konventionellen Sorten. Der Durchschnittsertrag betrug 96 %. Nur in Illinois und dem südlichen Michigan zeigten die RR-Sojabohnen durchweg bessere Erträge als ihre konventionellen Vergleichssorten (Oplinger *et al* 1999). Gleichzeitig wird in der erwähnten Studie festgehalten, dass in der Regel zwei bis drei Spritzungen von Round Up Ready notwendig waren und zusätzlich zwei bis drei weitere Herbizide eingesetzt wurden, um wirklich alle Unkrautprobleme in den Griff zu bekommen. Nach (Benbrook 1999) ist dieses System damit das teuerste System, das jemals auf dem Feld zum Einsatz kam. Trotz allem vermuten Oplinger *et al.*, dass auch 1999 weitere US-Farmer auf RR-Sorten umstellen werden, weil sie bereit seien, Erträge zugunsten der Einfachheit des Unkrautbekämpfungssystems zu opfern. Zusätzlich gehen die Autoren davon aus, dass in Zukunft die Spritzmengen weiter steigen werden, da es bereits erste Anzeichen für tolerante Unkrautpflanzen in einigen Bundesstaaten gäbe.

Mais

Im herbizidresistenten Mais konnten keine Unterschiede in den Herbizidaufwandsmengen gemessen werden. Der Einsatz der Schädlingsbekämpfungsmittel blieb unverändert.

Nur in einer von drei untersuchten Regionen konnte ein Ertragszuwachs für den Mais gemessen werden.

Baumwolle

Im Mississippi-Delta wurden mit Baumwolle keine Einsparungen beim Herbizidverbrauch realisiert, allerdings lagen in den südöstlichen Anbauregionen die eingesparten Aufwandsmengen bei ca. 22 %. Ein Ertragszuwachs wurde in keiner der Anbauregionen gemessen (USDA 1999, Rissler 1999).

8.1.2 Insektenresistenz

Nicht viel anders sieht die Bilanz bei insektenresistenten Pflanzen aus. Für den insektenresistenten Mais wurden keine Unterschiede in den Pestizidaufwandsmengen festgestellt. Bt-Baumwolle im Mississippi-Delta benötigte sogar 53 % mehr Spritzmittel als die nichttransformierten Vergleichssorten. In allen anderen Regionen wurden keine Unterschiede im Verbrauch gemessen.

Bezogen auf die Erträge zeigten Bt-Mais und Bt-Baumwolle in jeweils zwei Regionen Ertragszuwächse, in einer Region wurden keine Unterschiede gemessen. Allerdings basieren diese Zahlen teilweise auf Schätzungen. Auch ist nicht angegeben, ob die Refugien mit in die Berechnungen einbezogen wurden. Nach Aussage von Monsanto werden die Refugien häufig nicht mit berücksichtigt.

Auch diese Zahlen zeigen, dass der angegebene Nutzen sehr viel kleiner ausfällt als ursprünglich angenommen und damit das derzeitige Landwirtschaftssystem keine wesentlichen Entlastungen erfährt.

8.2 Soziale und wirtschaftliche Kriterien

Das Konzept der Nachhaltigkeit legt besonderen Wert auf soziale Gerechtigkeit bzw. darauf, diese zu ermöglichen. Die die Einführung einer Technologie begleitenden politisch strukturellen und rechtlichen Massnahmen sollen daher die Chancengleichheit auf den verschiedenen Ebenen, wie sie in dem Kriterienraster angesprochen werden, ermöglichen oder verbessern. Die Einführung der Gentechnik in die Landwirtschaft ist von harten Auseinandersetzungen um die Frage des Eigentums an den natürlichen Ressourcen, besonders der biologischen Vielfalt, begleitet. Erstmals in der Geschichte der Menschheit können Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen, aber auch menschliche Gene in den Privatbesitz einzelner Firmen oder Personen überführt werden, die damit ein ausschliessliches Verfügungsrecht darüber erwerben.

Diese Praxis ist kaum dazu angetan, eine interregionale, internationale oder intertemporale Chancengleichheit zu ermöglichen oder zu verbessern. Eher werden bestehende Unterschiede in der Entwicklung durch den unterschiedlichen Technikzugang zementiert und weiter zugespitzt (siehe Exkurs zu Patenten Seite 102). Andere Entwicklungen und eine gleichberechtigte Partizipation werden verhindert und auch die Vielfalt im ökonomischen wie sozialen Bereich wird eher behindert denn befördert, da weltweit im wesentlichen ein System der Festlegung geistiger Eigentumsrechte verwirklicht werden muss.

Auch die Frage, welche wirtschaftlichen Wirkungen von bestimmten Entwicklungen ausgehen, muss jeweils neu gestellt werden. Gerade im Bereich Landwirtschaft und Ernährung muss eine ökonomische Messlatte aber durch weitere Kriterien ergänzt werden. Jede Innovation ist darauf hin zu prüfen, ob sie hilft, die existentielle Grundversorgung, das Recht auf Nahrung, zu verbessern und langfristig zu sichern. Darauf wird es keine globale Antwort geben, sondern diese müssen jeweils vor Ort, eingebettet in die politischen, sozialen und kulturellen Gegebenheiten, gefunden werden. Technische Entwicklungen und die sie begleitenden oder durch sie induzierten Rahmenbedingungen sollten diese notwendige Vielfalt von Antworten vor Ort verbessern oder ermöglichen, sicher nicht verhindern. Zusätzlich zur bereits diskutierten Problematik der Patente lässt sich die Entwicklung der Terminator-technologie (siehe Seite 103) als ein Instrument qualifizieren, dass eine existentielle und eigenständige Grundversorgung in einem bisher nicht gekannten Masse beeinflussen und behindern sowie die Entwicklung von Vielfalt einschränken oder sogar unmöglich machen wird. Sterile Pflanzen unterbrechen in einem bisher in der Evolution und auch in menschlichen Züchtungsanstrengungen nie gekannten Masse eine Weiterentwicklung der genutzten Arten und Sorten. Sie engen die Entwicklungsmöglichkeiten auf einige wenige Optionen in der Hand immer weniger Akteure ein. Dies steht in direktem Gegensatz zum international verankerten Recht auf Nahrung und dem systemischen Prinzip der Vielfalt.

8.3 Fazit

Die Entwicklung transgener Pflanzen orientiert sich an technologischer Machbarkeit, Vorteile für den Anbieter und an dem erwarteten Umfang eines Marktes. Gerade die Vereinheitlichung der Landwirtschaft, sowohl in Bezug auf die Anbaupraxis als auch in Bezug auf eine weltweite Durchsetzung einer ähnlichen Art von Landwirtschaft mit weltweit wenigen Sorten mit wenig Rücksicht auf die unterschiedlichen ökologischen, klimatischen aber auch sozialen Gegebenheiten vor Ort, kann aber als eine der Hauptursachen einer Zerstörung der natürlichen Ressourcen angesehen werden. Langfristig ist offensichtlich ein industrielles Paradigma auf die landwirtschaftliche Produktion nur unter Inkaufnahme der Zerstörung der eigenen Grundlagen anwendbar. Das hat die Praxis der letzten 50 Jahre bereits sehr deutlich gezeigt.

Werden diese Ergebnisse zusätzlich den Risikoaspekten gegenübergestellt und mit den alternativen Ansätzen verglichen, lässt sich die Entwicklung transgener Pflanzen nicht als Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung, sondern eher als Zementierung einer bereits als problematisch dargestellten Praxis charakterisieren.

Literatur

- Benbrook C. M. (1999): World Food System Challenges and Opportunities: GMO's, Biodiversity, and Lessons from America's Heartland. unter: benbrook@hillnet.com
- Goodland R. (1997): Environmental sustainability in agriculture: diet matters. *Ecological Economics*, 23, 189 -200
- James C. (1998): Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 1998. ISAAA Briefs No. 8 (The International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications); ISAAA: Ithaca NY.
- Monsanto (1998): Das Roundup Ready Sojabohnen-System: Nachhaltigkeit und Herbizideinsatz. Broschüre April 1998; Monsanto (Deutschland) GmbH Düsseldorf.
- Oplinger E. S., Martinka M. J., Schmitz K. A. (1999): Performance of Transgenic Soybeans - Northern US; Department of Agronomy, UW-Madison.
- Pinstrup-Andersen P. (1998): Die Welt ist, was sie isst. Future. Das Hoechst Magazin 1/98, 12 -21.
- Rissler J. (1999): Analysis of USDA data on benefits of GE crops; corrected version 7/1/99; jrissler@ucsusa.org
- Umweltbundesamt (1998): Nachhaltiges Deutschland. Wege zu einer dauerhaft umweltgerechten Entwicklung. 2. durchges. Aufl. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- USDA (1999): Report erhältlich unter: www.econ.ag.gov/new-at-ers

Exkurs - Patente auf transgene Pflanzen: eine neue Entwicklung

Patente und Sortenschutz

Die gentechnisch verfahrenende Industrie besteht darauf, transgene Pflanzen zu patentieren und macht geltend, dies sei nötig, um die hohen Investitionen und Forschungskosten abzusichern.

Das europäische Patentgesetz ist im "Europäischen Patent-Übereinkommen (EPUE)", dem auch die Schweiz angehört, festgeschrieben. Die wichtigste Voraussetzung für die Erteilung eines Patentes ist, dass eine "Erfindung" (und nicht bloss eine "Entdeckung") vorliegt, die vollständig beschreibbar und nachbaubar ist. Zudem enthält das EPUE klare Ausnahmeregelungen zur Patentierbarkeit. So schreibt z.B. Art. 53 b vor, dass "Pflanzensorten und Tierarten" nicht patentiert werden dürfen. Das Patentsystem, das zeigt sich deutlich, ist seinem Wesen nach für unbelebte Materie, nicht aber für Lebewesen ausgelegt. Denn Lebewesen zeichnen sich gerade dadurch aus, dass sie eben nicht erfunden, nicht vollkommen beschrieben und auch nicht nachgebaut werden können. Eben dies ist der grossartige und einzigartige Unterschied zwischen Lebewesen und toter Materie.

Auch ohne die Möglichkeit der Patentierung gibt es bei Pflanzen aber bereits ein sehr wirkungsvolles Schutzsystem: der Sortenschutz, bei dem der Züchter einer neuen Pflanzensorte das ausschliessliche Vermarktungsrecht auf seine neue Sorte erhält. Dieses Schutzsystem hat bis anhin recht gut funktioniert. Das industrielle Patentrecht geht nun viel weiter. Während zum Beispiel der Sortenschutz immer nur auf eine bestimmte Sorte (z.B. die Kartoffelsorte Granola) beschränkt ist, sind Patente auf alles erhältlich, Patente können Monopolrechte auf ganze Pflanzenfamilien, auf alle Pflanzen überhaupt, die ein bestimmtes Merkmal aufweisen oder auf einzelne Pflanzenteile gewährt werden. Der Sortenschutz in seiner jetzigen Form erlaubt es dem Bauern zudem, aus seiner Ernte Saatgut für die nächste Aussaat zu gewinnen (sog. Bauern-Vorbehalt), und der Züchter darf Saatgut anderer Pflanzensorten für seine Züchtungen frei verwenden (sog. Züchter-Vorbehalt). Beides ist unter dem Patentsystem nicht mehr zulässig.

Zum Beispiel: Das Patent auf Roundup-Ready Soja

Durch das Instrument der Patentierung wird eine generelle Monopolisierung zum Zweck der individuellen Profiterzeugung veräussert. Bemerkenswert an Pflanzenpatenten ist die ausserordentliche Breite des Geltungsbereiches. So besitzt die US-Firma Monsanto als Inhaberin des Patentes für die transgene Round-Up-Ready Soja (mit der Nummer EP 546 090) nicht nur ausschliessliche Nutzungsansprüche auf alle transgenen Sojapflanzen, die gegen das Totalherbizid Roundup resistent sind, sondern überhaupt auf alle gentechnisch veränderten Pflanzen, die eine künstlich herbeigeführte Roundup-Ready Resistenz enthalten, wie zum Beispiel "Weizen, Reis, Soja, Baumwolle, Zuckerrübe, Raps, Flachs, Sonnenblume, Kartoffel, Tabak, Tomate, Alfalfa, Pappel, Ananas, Apfel und Traube" (claim 28, aus der Patentschrift No EP 546 090). Das Patent, das 15 Jahre gültig ist, erstreckt sich auch auf alle nachfolgenden Generationen.

Die durch ein Patent garantierten ausschliesslichen Monopolrechte können für die betroffenen Landwirte direkte Folgen haben. US-Landwirte, die von Monsanto transgenes herbizidresistentes Saatgut kaufen, müssen erst ein 'Technology Agreement' unterschreiben. Sie verpflichten sich u.a., nur Monsanto-Herbizide anzuwenden und dürfen aus der Ernte kein eigenes Saatgut für das nächste Jahr gewinnen. Monsanto engagierte daraufhin Privatdetektive der Firma Pinkerton, um den Bauern nachzustellen und sicherzustellen, dass nur bei Monsanto gekauftes Saatgut verwendet wird. Landwirte, die beim Gebrauch von eigenem Saatgut erwischt wurden, mussten hohe Bussen bezahlen oder wurden angezeigt. Eine jahrhundertealte Praxis - die Gewinnung von eigenem Saatgut aus der Ernte - wird durch den Akt der Patentierung zu einem kriminellen Tat.

Patente als Schlüssel zur Kontrolle und Konzentrierung des Weltmarktes

1998 wurden weltweit beinahe 28 Millionen Hektaren transgene Pflanzen angebaut, vor allem Soja, Mais, Baumwolle, Raps und Kartoffeln. Besonders auffallend ist dabei nicht nur die grosse Fläche, sondern die Tatsache, dass eine kleine Anzahl transnationaler Konzerne den Markt mit gentechnisch manipulierten Pflanzen dominieren. Gemäss Schätzungen von Sparks Companies beherrschte 1998 in den USA (dem weltweit grössten transgenen Saatgutmarkt) allein die Firma Monsanto 88 Prozent des gesamten transgenen Saatgutmarktes. AgrEvo (heute Aventis) kam auf 8 Prozent, und Novartis auf 4 Prozent (RAFI-Communique, March/April 1999). Bei diesem globalen Wettkampf um Marktanteile spielen Patente eine Schlüsselrolle, denn wenn eine Firma ein Patent auf ein bestimmtes Verfahren oder auf eine transgene Kulturpflanze besitzt, kann sie bei Konkurrenten Lizenzgebühren für die Verwendung der patentgeschützten "Erfindung" verlangen oder diese gänzlich von dieser "Erfindung" ausschliessen.

Gemäss einer Datenbankrecherche (1998) sind in den USA 138 Patente auf transgene Maislinien vergeben worden. Novartis etwa besitzt mindestens 15 solche Patente. Viele Patente, die auch schon erteilt wurden, überschneiden sich oder stehen in direkter Konkurrenz zueinander. In den USA finden zahlreiche Patentverletzungsklagen statt. Hinter all dem verbirgt sich eine enorme Verwirrung darüber, wer das Recht auf welches Patent besitzt (Seedling 1996), denn Patente im Saatgutbereich sind zu einem zentralen Element der Marktsicherung geworden. Gentechnik muss unter diesen Bedingungen überall eingesetzt werden, um zu solchen Patenten zu gelangen, denn transgene Pflanzen sind patentierbar, konventionell gezüchtete hingegen nicht. Das strategische Mittel, um zu Patenten zu gelangen, ist also die Herstellung transgener Pflanzen (Koechlin 1998). Allein die Tatsache, dass nur gentechnisch veränderte Pflanzen patentierbar sind, übt einen grossen Druck auf die allgemeine Forschungsrichtung aus. Gentechnologie dominiert das Feld, währenddem andere Forschungsgebiete, bei

denen keine patentierbaren Produkte als Endresultat herauschauen (wie z.B. die Forschung für ökologischen Landbau), immer mehr an den Rand gedrängt werden.

Die Situation in Europa

In Europa zeigt sich zur Zeit ein widersprüchliches Bild. Massgebend für die europäische Regelung ist das Europäische Patent-Uebereinkommen (EPUE), dem 14 europäische Staaten angehören (u.a. auch die Schweiz als Nicht-EU-Land). "Verwalterin" des EPUE ist das Europäische Patentamt (EPA) in München. Eine Firma kann zum Beispiel ein Patentgesuch beim EPA anmelden und wünschen, dass dieses Patent in England, Schweden, Deutschland und der Schweiz gilt. Innerhalb des EPA besteht zur Zeit grosse Unsicherheit bezüglich der Patentierbarkeit von Pflanzen und Tieren. So hat die Technische Beschwerdekammer des EPA auf Anfrage hin die Meinung vertreten, breite Patente auf Pflanzen und Tiere seien nicht statthaft, denn sie würden dem EPUE widersprechen. Eine offizielle Stellungnahme wird 2000 erwartet. Andererseits hat der Verwaltungsrat des EPUE am 16. Juni 1999 mit einer Revision der Ausführungsverordnung die Patentierung von transgenen Pflanzen und Tieren gutgeheissen.²

Zahlreiche Einsprüche von NGOs gegen bereits gewährte Patente auf Tiere und Pflanzen sind zur Zeit noch hängig (so z.B. die Einsprüche gegen das Krebsmaus-Patent, gegen das RoundupReady-Soja-Patent, gegen das FlavrSavr-Patent).

Das EU-Parlament hat im Mai 1998 eine Patent-Richtlinie verabschiedet, die die Patentierung von transgenen Pflanzen und Tieren sowie von menschlichen Genen und Zellen ermöglichen soll³. Die EU-Mitgliedstaaten sind nun angehalten, ihre eigenen nationalen Patentgesetze dieser Richtlinie anzupassen. Gegen die Richtlinie haben aber die Regierungen von Holland, Italien und Norwegen beim Europäischen Gerichtshof Klage eingereicht (Hauptbegründung: Die Richtlinie widerspreche in wesentlichen Teilen dem EPUE). Der Entscheid steht noch aus.

In der Schweiz haben die beiden eidgenössischen Räte eine Motion verabschiedet, die eine Anpassung der schweizerischen Gesetzgebung an die EU-Richtlinie verlangt. Zur Zeit wird vom Bund ein entsprechender Vorschlag ausgearbeitet. Gegen diese Verschärfung des Schweizerischen Patentgesetzes haben viele Verbände protestiert; auch in der Schweiz ist die Lage bezüglich Patentierbarkeit von Pflanzen und Tieren noch offen.

Literatur

Koechlin F. (Hrsg): 1998. Das patentierte Leben. Rotpunktverlag, Zürich.

RAFI-Communique, March/April 1999. <http://www.rafi.org>

Seedling, Okt. 1996, The quarterly newsletter of GRAIN (Genetic Resources Action International, Web: <http://www.grain.org>).

Exkurs: Terminorttechnologien: Kontrolle über das Saatgut

Die sogenannte "Terminorttechnologie"⁴ hat weltweit zu kontroversen Diskussionen geführt: Mit diesem gentechnischen Verfahren soll das Saatgut von verschiedenen Pflanzenkulturen steril gemacht werden. Mit dem US Patent No. 5723765 erhielt die amerikanische Firma Delta and Pine Land, heute eine Tochterfirma des US-Konzerns Monsanto, und das US-Landwirtschaftsdepartement 1998 das exklusive Monopolrecht auf die Terminorttechnologie. Bei dem Verfahren geht es nicht um eine Verbesserung des Saatgutes, sondern ausschliesslich darum, das Saatgut durch den gentechnischen Einbau von "Selbstmord"-Gensequenzen unfruchtbar zu machen.

Der Zweck des Verfahrens besteht darin, dem Patentinhaber die Kontrolle auch über Kulturen zu garantieren, bei denen dies bis anhin schwer möglich war. Wenn die Terminorttechnologie tatsächlich funktioniert - bisher reagieren nur Baumwolle und Tabak - könnte sie massive Auswirkungen auf den seit mehr als zwölftausend Jahre praktizierten Nachbau ausgerechnet derjenigen Pflanzen haben, von denen sich ein grosser Teil der Weltbevölkerung ernährt: Reis, Weizen, Sorghum, Hirse und Soja. Diese wurden bisher von den Life-Science-Industrien wenig beachtet, da ihre Verwendung und Verbreitung kaum kontrollierbar sind: Im Gegensatz zu Hybrid-Saatgut können Landwirte Saatgut für die nächste Saison aus der Ernte gewinnen und sind nicht auf einen alljährlichen Einkauf von Saatgut angewiesen. Diese Praxis ist vor allem in südlichen Ländern weit verbreitet. Gemäss Schätzungen gewinnen rund drei Viertel aller Kleinbauern und Kleinbäuerinnen ihr Saatgut ausschliesslich aus eigenem Anbau.

Die Terminator-Technologie hängt von einer Promotor-Sequenz⁵ ab, die erst bei der Samenreife aktiv wird und das an sie gekoppelte Gen "anschaltet". Dieses Gen exprimiert ein Protein, das die Keimfähigkeit des Samens zerstört (oder eben "terminiert"). Die transgenen Pflanzen wachsen normal auf, doch gegen Ende der Wachstum-

²Ob diese Rechtsänderung von grösstem Gewicht zulässig ist, wird sich noch zeigen müssen. Die Frage ist hier, ob eine solche grundsätzliche Aenderung des EPUE nicht zumindest einer formellen Revision des EPUE selber (und nicht bloss der Ausführungsverordnung) bedurft hätte. Das kann aber einzig eine diplomatische Konferenz aller Mitgliedstaaten vornehmen.

³ Das EPUE ist formell unabhängig von der EU (so ist z.B. die Schweiz Mitglied des EPUE, nicht aber der EU) und somit nicht an die EU-Patent-Richtlinie gebunden.

⁴ Die Bezeichnung "Terminator-Technologie" stammt von der in den USA ansässigen Organisation RAFI und hat sich weltweit durchgesetzt.

⁵ Sequenz des Gens "Late Embryogenesis Abundant LEA"

speriode, zur Zeit der Samenreife, wird das fremde Gen "angeschaltet" und damit die Keimfähigkeit der Samen der heranwachsenden Pflanze zerstört. Erst wenn die Samen in eine Lösung mit dem Antibiotikum Tetracyclin getaucht werden, gewinnen sie ihre Keimfähigkeit wieder zurück. Gemäss einem Dokument des Patent Cooperation Treaty haben die Verantwortlichen das Patent in mindestens 87 Ländern angemeldet⁶.

Zahlreiche Proteste aus der ganzen Welt haben inzwischen dazu geführt, dass Monsanto vom ursprünglichen Fahrplan etwas zurücktrat. Doch im Windschatten des Terminator-Gen-Patentes sind bereits über drei Dutzend Patente für eng verwandte Techniken vergeben worden, wie die in den USA ansässige Organisation RAFI (Rural Advancement Foundation International) herausfand (RAFI-Communiqué 1999). Alle grossen Life Science Industrien, so auch Novartis, Aventis, Zeneca/Astra (UK) oder DuPont (USA), forschen intensiv an Terminator-verwandten Technologien. Allein Novartis besitzt rund 12 Patente in diesem Bereich. Dabei geht es meistens darum, von aussen induzierbare Promotoren mit wichtigen Pflanzeigenschaften zu verkoppeln. Die Promotoren - und dadurch die damit verbundenen Gensequenzen - können dann durch die Behandlung mit den entsprechenden Chemikalien (z.B. firmeneigenen Herbiziden oder Düngemitteln) aktiviert werden. Dabei geht es längst nicht mehr nur um Samensterilität. Auch die Fähigkeit, Blüten zu bilden, gesund heranzuwachsen, Schädlinge abzuwehren und weitere Eigenschaften, die für die Pflanze von vitaler Bedeutung sind, sollen durch die Wahl geeigneter Promotor-Sequenzen von aussen reguliert werden können.

Einige Patent-Beispiele:

- Monsanto beantragt mit dem Patent WO9744465 eine Weiterentwicklung der Terminortechnologie.
- Astra Seneca besitzt das Patent (US 5808034) auf eine Technologie, bei der "novel killer genes" durch Besprühen mit bestimmten Chemikalien "an- und abgeschaltet" werden können.
- Die Novartis-Patente US 5650505 und US 5804693 zielen auf eine externe Kontrolle pflanzlicher Abwehrmechanismen ab: Es geht um die gezielte „An- und Abschaltung“ sog. PR-Proteine (Pathogen Related Proteins). Im Novartis Patent US 5789214 wird unter anderem ausgeführt, dass der von aussen benötigte Katalysator oder "Regulator" zum „An- oder Abschalten“ der genetischen Eigenschaften an Herbizid- und Düngemittelanwendungen geknüpft werden kann.

Hauptziel dieser "zweiten Generation" gentechnischer Eingriffe ist es, die Kontrolle über das Saatgut zu verstärken, indem vitale Pflanzeigenschaften biologisch an die Applikation firmeneigener Chemikalien gekoppelt werden. Erreicht wird dabei eine zunehmende Abhängigkeit der Landwirte von der Life Science Industrie: Diese müssen das Saatgut - zusammen mit den entsprechenden Chemikalien - jedes Jahr neu einkaufen. Das Wissen um den Anbau und die Behandlung des Saatgutes verschiebt sich weg vom Landwirt hin zur Saatgutindustrie. Patente auf Terminator-ähnliche Verfahren werden auch die Konzentration im Saatgutbereich verstärken, falls sie sich als erfolgreich erweisen.

Zudem stellt sich hier auch die Frage, ob eine derartige Verdinglichung von pflanzlichen Lebewesen nicht eine Verletzung der in der Verfassung festgeschriebenen Norm bedeutet, dass die "Würde der Kreatur" zu achten sei. Diese Norm bezieht sich auf alle nichthumanen Lebewesen, also auch auf Pflanzen (auch wenn klar ist, dass die Diskussion bei Pflanzen eine andere ist als bei Tieren).

Das Ziel der neuen Generation gentechnischer Eingriffe besteht explizit darin, die dem Organismus eigenen Regulations- und Kontrollmechanismen auszuschalten, und damit auch eine "selbstständige Lebensführung" (Amman & Goetschel 1999) der Pflanzen zu verunmöglichen. Pflanzen werden zu Sachen zu degradiert, die von aussen an- und abschaltbar werden.

Literatur

Amman D. und Goetschel A. (1999): Die Verfassungsnorm der Würde der Kreatur. Konsequenzen für die Zulassung genmanipulierter Tiere. SAG-Studienpapiere, Zürich.
RAFI- Communiqué, Jan./Feb.1999 (<http://www.rafi.org>).

⁶ So z.B. in Australien, Brasilien, Südafrika, Japan, Kanada und den meisten europäischen Ländern.

9 Biolandbau und Nachhaltigkeit

Der moderne Biolandbau entstand als Reaktion auf die Entwicklungen in der Landwirtschaft, die zunehmend auf die Loslösung von standörtlichen natürlichen Rahmenbedingungen sowie externem Input setzt (Bsp. Mineraldünger). Der Biolandbau setzt dem einen systemorientierten Ansatz entgegen, der mit möglichst geringem Ressourceneinsatz auf die Optimierung von Input und Output hinarbeitet, ohne die natürlichen Ressourcen dauerhaft zu schädigen. Er hat die folgenden Grundsätze:

- Wirtschaften im Einklang mit dem Agroökosystem: Systemorientierung, Vernetzung, Interdisziplinäres Denken und Ursachenbehebung statt Bekämpfung von Einzelproblemen
- Förderung und Verstärkung von natürlichen Regulationsmechanismen und Widerstandskräften von Boden, Pflanzen und Tieren innerhalb des Agroökosystems
- Haushälterischer Umgang mit den natürlichen Ressourcen und anstreben von geschlossenen Kreisläufen

Diese Grundsätze finden ihre Umsetzung in einem Mosaik von vielfältigen Methoden und präventiven Massnahmen sowie Lösungsstrategien zur Bekämpfung von Unkräutern, Schädlingen und Krankheiten, wie sie in den Fallstudien in Teil I bereits detailliert aufgezeigt wurden. Dies sind z.B. Bodenpflege, Kompost- und Hofdüngereinsatz sowie eine vielseitige Fruchtfolge zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, Integration von Tierhaltung und Pflanzenbau, Verwendung von standortgerechten, robusten Sorten, Verwendung von Sortenmischungen, Saatgutauswahl und –vorbehandlung, Förderung von Nützlingen und Antagonisten durch Wiesenstreifen, Buntbrachen und andere ökologische Ausgleichsflächen sowie biologische anstelle von chemisch-synthetischer Schädlingsbekämpfung. Diese Massnahmen sollen einerseits die agrarischen und andererseits die ökologischen Bedingungen verbessern, weshalb man auch von der Optimierung des Agroökosystems spricht.

9.1 Ökologische Kriterien

Die Nachhaltigkeit wurde im Bereich der ökologischen Kriterien weitgehend in der Praxis nachgewiesen, als Beispiel werden nachfolgend die Bodenfruchtbarkeit und die Artenvielfalt genannt, welche wesentliche Indikatoren für Nachhaltigkeit sind.

9.1.1 Beispiel Bodenfruchtbarkeit

Ein fruchtbarer Boden ist biologisch aktiv, weist eine gute Struktur auf und bietet Lebensraum für eine artenreiche Gemeinschaft. Diese Eigenschaften werden im Biolandbau durch einen weitgehenden Verzicht auf Pestizide und den Verzicht auf leichtlösliche mineralische Dünger, in der Regel breitere Fruchtfolgen mit einem höheren Kleeanteil sowie schonende Bodenbearbeitung gefördert (Nowack *et al.* 1996, Mäder *et al.* 1996, Schinner und Sonnleitner 1996): Der Humusgehalt, die Belebung und Artenvielfalt (Mikroorganismen und Arthropoden) und die Strukturstabilität des Bodens sind häufig in biologischen gegenüber konventionellen Anbausystemen höher. So lag z.B. im DOK-Versuch¹ die mikrobielle Biomasse in den Bioverfahren um 20 bis 30 %, die Aktivität verschiedener Enzyme um 30 bis 130 % höher als im konventionellen Verfahren. Winterweizen und eine Zwischenfrucht wiesen in den Bioverfahren eine stärkere Mykorrhizierung ihrer Wurzeln auf (Niggli *et al.* 1995). Die Populationen in biologisch bewirtschafteten Feldern wiesen auch häufig mehr juvenile und eine höhere Anzahl der vertikal grabenden Regenwurmarten auf als in konventionellen Vergleichsparzellen (Pfiffner und Mäder 1997). Als positive Folgeeffekte sind auf biologisch bewirtschafteten Fläche eine stärkere Gefügebildung (Kleyer und Babel 1984) und höhere Aggregatstabilität (Siegrist *et al.* 1994) durch die Regenwürmer festgestellt worden. All diese Indikatoren deuten auf eine nachhaltige Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit hin. So beugt eine gute Stabilität und Belebung der Erosion und Verdichtung vor, zusammen mit einem höheren Gehalt an organischer Substanz und Humus ist die Wasserspeicherfähigkeit höher.

9.1.2 Beispiel Artenvielfalt

Die schonende Bodenbewirtschaftung, die Anlage von ökologischen Ausgleichsflächen und gezielte Nützlingsförderung fördern die pflanzliche und tierische Vielfalt. Bei Betriebsvergleichen und in Parzellenexaktversuchen ist auf biologisch bewirtschafteten Flächen häufig eine wesentlich höhere Artenvielfalt und Individuenzahl als auf konventionell bewirtschafteten festgestellt worden (z.B. Pfiffner 1996). Dies ist hauptsächlich bei den landwirtschaftlich meist nützlichen Arthropoden wie Laufkäfern, Kurzflüglern, Marienkäfern, Wanzen, Spinnen, Weberknechten, Milben, Hundertfüssern und Regenwürmern der Fall. So wurde zum Beispiel im DOK-Versuch in drei Untersuchungsjahren ein um 90 % höheres Vorkommen epigäischer Nutzarthropoden als in den konventionellen

¹ Die Anbauverfahren Biologisch-Dynamisch, Organisch-Biologisch und Konventionell werden in einem seit 1978 laufenden Parzellenversuch in Therwil (CH) miteinander verglichen. Dieser Versuch wurde sehr detailliert untersucht, weshalb hier einige Beispiele exemplarisch aufgeführt sind. In anderen Systemvergleichsversuchen sei es auf Parzellenebene oder bei Betriebsvergleichen zeigten sich sehr ähnliche Resultate z.B. (Koop 1993), Petterson *et al.* (1992), Diez *et al.* (1991), Gehlen (1987), Bokhorst (1989)

festgestellt. Die Artenvielfalt der Laufkäfer war in den biologischen Verfahren um etwa 50 % höher (Piffner *et al.* 1993).

Biologisch bewirtschaftete Flächen leisten somit einen Beitrag zu einer hohen Artenvielfalt und zum Überleben verschiedenster Tier- und Pflanzenarten in der Kulturlandschaft (Review: Friebe und Köpke 1994). So ist z.B. das Vorkommen von Arthropoden für verschiedene Vogelarten von grosser Bedeutung. In ungespritzten Ackerbrachen in England wurde ein bis zu dreifach höheres Angebot an Insekten für Rebhühner als in den konventionellen Weizenfeldern festgestellt (Moreby und Aebischer 1992). Eine vierjährige Untersuchung auf 31 Biobetrieben in Dänemark zeigte auf, dass von 57 nachgewiesenen Vogelarten 31 Arten auf den Biobetrieben signifikant häufiger vorkamen als auf den konventionellen (Christensen *et al.* 1996).

Die ökologischen Auswirkungen des Biolandbaus beschränken sich aber nicht nur auf die biologisch bewirtschafteten Flächen: Die Belastungen von Luft, Boden und Grundwasser durch Pestizide oder Nitrat sind minimiert. So zeigen z.B. die Resultate von Drinkwater (1998), dass die Kohlenstoff- und Stickstoffverluste in einer Hofdüngervariante und einer Variante mit Leguminosen geringer sind als bei mineralischer Düngung. Gleichzeitig nahm der Gehalt an organischem Kohlenstoff und Stickstoff in der Hofdüngervariante deutlich zu.

Die Energiebilanz (Energieaufwand pro Gewichtseinheit Ernteertrag) ist im Biolandbau günstiger als in der konventionellen Landwirtschaft (Alföldi *et al.* 1999, Alföldi *et al.* 1994, Haas und Köpke 1995). So lag der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieressourcen pro Tonne Ernteertrag im Bioanbau in allen Kulturen im DOK-Versuch (mit Ausnahme der Kartoffeln) tiefer als in der integrierten Variante. Über alle Kulturen der Fruchtfolge beträgt der Unterschied 20 %, bezogen auf die Fläche 35 % (Alföldi *et al.* 1999). In der gleichen Studie wurde mit der Ökobilanzierungsmethode auch die Potentielle Versauerung berechnet, wobei das biologische Verfahren aufgrund des tieferen Ertragsniveaus schlechter abschneidet, d.h. es entstehen 30 % mehr SO₂-Äquivalent pro Tonne Ertrag als bei der integrierten Variante. Bei der Umweltkategorie "Potentielle Bodentoxizität" schneidet das organisch-biologische Verfahren jedoch deutlich (10 mal) günstiger ab als das integrierte.

9.2 Soziale und wirtschaftliche Kriterien

9.2.1 Gesamtökonomie

Dass der Biolandbau ökologisch verträglicher ist, ist einleuchtend und wurde im vorangehenden Kapitel beschrieben. Die Bewertung bezüglich Nachhaltigkeit im Sozialen und Ökonomischen ist umstrittener, weil der biologische Anbau gegenüber dem konventionellen in der Regel weniger Ertrag abwirft und ein höherer Arbeitseinsatz nötig ist.

Wenn man die Gesamtökonomie betrachtet, muss man jedoch auch die externen Umweltkosten einbeziehen: Die biologische Bewirtschaftung verursacht keine oder nur geringe volkswirtschaftliche Kosten für die Behebung von Umweltschäden (z.B. Pestizide, Bodenverdichtung und -erosion). Die volkswirtschaftlichen Kosten des chemisch-synthetischen Pflanzenschutzes (Trinkwasser, Artenrückgang, Giftschäden an Insekten, Rückstände in Lebensmitteln, Belastungen für die menschliche Gesundheit und staatliche Kosten) betragen allein für die alten deutschen Bundesländer 250 Mio. DM (Weibel und Fleischer 1998).

Dass sich der Biolandbau (bisher als Nischenprodukt) in Europa behaupten kann und immer weiter wächst, zeigt die Statistik. In der Schweiz zum Beispiel stieg die Anzahl der Biobetriebe von 1991 mit knapp 1000 Betrieben auf 1999 über 5000 Betriebe an.

Die Anzahl der Betriebe in Westeuropa stieg in der gleichen Zeitspanne von 18'000 auf 73'000 an. Diese Entwicklung war möglich durch drei Faktoren: einerseits eine grosse Nachfrage nach Bioprodukten, zweitens eine gute Vermarktung durch Biogenossenschaften und Grossverteiler, drittens durch staatliche Subventionen an die ökologische Landwirtschaft (zusätzlich zu den bestehenden Subventionen). Subventionen für ökologische Leistungen der Landwirtschaft sind solange notwendig, wie die externen Kosten der Landwirtschaft nicht internalisiert werden.

Wie in der Einleitung erwähnt wurde, konnte eine geplante ökonomische Studie, die nicht auf Einzelbetrieben basieren, noch nicht realisiert werden.

9.2.2 Einzelbetrieb

Ob sich die biologische Bewirtschaftung für den einzelnen Betrieb finanziell auszahlt oder nicht, hängt stark von der Betriebsausrichtung, vom Produktionsrisiko, der bisherigen Bewirtschaftungsintensität, der Höhe und Förderdauer der staatlichen Subventionen (und dem Unterschied zwischen konventionell, integriert und biologisch) und den Vermarktungsmöglichkeiten (Bioprämie) ab. Die Nachfrage von Konsumentenseite wächst kontinuierlich, und die Preise sind höher. So hat ein Biobetrieb zwar in der Regel weniger Ertrag, aber pro Ertragseinheit mehr Einnahmen. Zudem hat er weniger Ausgaben für Kunstdünger und Pestizide. Seit der Einführung der Direktzahlungen in der Schweiz (Abgeltung für ökologische Leistungen) hat sich die Wettbewerbsfähigkeit des biologischen Landbaus kontinuierlich verbessert. So lag das Einkommen pro Fläche untersuchter Biobetriebe 1994-96 um 14 % höher als dasjenige vergleichbarer IP-Betriebe (FiBL, BIO SUISSE, 1997).

1998 waren die direktkostenfreien Erträge in der Schweiz je Hektar bei Weizen, Gerste und Kartoffeln bei den untersuchten Biobetrieben deutlich höher als bei den vergleichbaren IP-Betrieben, beim Rindvieh (Milch) waren sie leicht höher und beim Futterbau und rauhfutterverzehrenden Tieren etwas tiefer (FAT 1999). Die Zahlen der FAT (Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik) sind auf die landwirtschaftliche Fläche bezogen. Gemessen an ihrem Arbeitsaufwand verdienen die Biobetriebe jedoch gleichviel oder eher weniger, wenn das Betriebseinkommen pro Arbeitstag verglichen wird. Dies ist auf den höheren Arbeitsbedarf (v.a. Beikrautregulierung, eigene Verarbeitung, Direktvermarktung, vielfältigere Betriebe und Kulturen) zurückzuführen. (FiBL, BIO SUISSE 1997). Dies heisst aber auch, dass es im Biolandbau mehr Arbeitsplätze gibt, was wiederum unter langfristigen sozialen Aspekten positiv ist (siehe Exkurs Arbeitsplätze Seite 109). Es darf hingegen auch nicht vergessen werden, dass die Arbeitszeiten in der Landwirtschaft immer noch sehr lang und vergleichsweise sehr schlecht bezahlt sind.

Zwei deutsche Studien, welche die Wirtschaftlichkeit der Umstellung auf ökologischen Landbau untersuchten kamen zu ähnlichen Schlüssen:

Die Umstellung auf ökologischen Landbau führte bei der Mehrzahl der untersuchten Betriebe positiven Einkommenseffekten (Nieberg 1999). Bei der Versuchsstation "Klostergut Scheyern" schnitt der ökologische Betrieb ausser bei den deutlich niedrigeren Erträgen bei den untersuchten ökologischen und ökonomischen Kennzahlen in der Ackernutzung günstiger ab als der integrierte Betrieb (Wechselberger et al. 1999). Wesentliche Einflussgrössen sind wie in der Schweiz die Zusammensetzung der Extensivierungsprämien und Vermarktungsmöglichkeiten.

Eine entscheidende, vom Markt und der Politik zu beantwortende Frage sei daher, welche Mengen als landwirtschaftliche Erzeugnisse in Zukunft bereitzustellen sind, bzw. welche Flächen wie bewirtschaftet werden sollen, welche Flächenproduktivität dazu erforderlich ist und mit welchen Landbausystemen diese Ziele nachhaltig zu erreichen sein.

9.2.3 Schlussfolgerung

Wie diese Ausführungen zeigen, trägt der Biolandbau als ökologisch nachhaltiges Anbausystem wesentlich zur Ökologisierung der Landwirtschaft bei (Artenvielfalt, Sortenvielfalt, Bodenfruchtbarkeit). Dies ist schlussendlich auch eines seiner innersten Anliegen. Es gibt aber auch ökologische Schwachpunkte, wie z.B. Kupferpräparate. Bezüglich wirksamen und ökologischen Pflanzenschutzmitteln besteht noch ein grosser Forschungsbedarf.

Wie in Teil I aufgezeigt wurde, liegen dennoch für fast alle Anbauprobleme Lösungen oder Lösungsansätze vor, obwohl z.B. nur ein Bruchteil der öffentlichen Mittel (im Vergleich zur konventionellen und Gentechnik-Forschung) zu seiner Weiterentwicklung aufgewendet wurden. Die zahlreichen innovativen interdisziplinären Forschungsansätze zeigen auch das hohe Problemlösungspotential, welches der Biolandbau hat. Die wachsende Zahl an Biobauern zeigt, dass sich Biolandbau unter den derzeitigen Rahmenbedingungen durchaus betriebswirtschaftlich lohnt. Eine konsequente Forschungsförderung könnte Potentiale erschliessen, die auch volkswirtschaftlich sehr lohnend sind. Eine langfristige Stabilität und Erhaltung der natürlichen Ressourcen ist schlussendlich auch ökonomisch.

Literatur

- Alföldi Th., Schmid O., Gaillard G., Dubois D. (1999): IP- und Bio-Produktion: Ökobilanzierung über eine Fruchtfolge. *Agarforschung*, 6 (9), 305-308.
- Alföldi T., Spiess E., Niggli U. und Besson J.-M. (1995): DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell IV. Energiebilanzen, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* Sonderheft DOK Nr. 2, 1-16.
- Bokhorst J.G (1989): The organic Farm at Nagele. In: J.C. Zadoks (Ed): Development of farming Systems. Evaluation of the five-year period 1980-1984. S. 57-65.
- Christensen D.K., Jacobsen E.M., Nohr H. (1996): A comparative study of bird faunas in conventionally and organically farmed areas. *Dansk. Orn. Forn. Rdsskr*, 90, 21-28
- Diez T., Beck T., Borchert H., Capriel P., Krauss M. und Bauchhens J. (1991): Vergleichende Bodenuntersuchungen von konventionell und alternativ bewirtschafteten Betriebsschlägen - 2. Mitteilung. *Landwirtschaftliches Jahrbuch*, 68 (4), 409-443.
- Drinkwater L.E., Wagoner P. und Sarrantonio M. (1998): Legume-Based Cropping Systems have Reduced Carbon and Nitrogen Losses. *Nature*, 396: 262-265.
- FAT (Forschungsanstalt für Agrartechnik) (1999): Betriebszweigergebnisse 1998. Medienmitteilung vom 12. Juli 1999.
- FiBL und BIO SUISSE (Hrsg.) (1997): Statistik der biologischen Landwirtschaftsbetriebe der Schweiz 1997.
- Friebe B. und Köpke U. (1994): Bedeutung des organischen Landbaues für den Arten- und Biotopschutz in der Agrarlandschaft. In: Integrative Extensivierungs- und Naturschutzstrategien. Forsch.berichte der Universität Bonn Nr. 15: 77-88.
- Gehlen P., 1987: Bodenchemische, bodenbiologische und bodenphysikalische Untersuchungen konventionell und biologisch bewirtschafteter Acker-, Gemüse-, Obst- und Weinbauflächen. Diss. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

- Haas G. und Köpke U. (1995): Klimarelevanz des Organischen Landbaus - Ziel erreicht? In: Wege zu dauerfähiger, naturgerechter und sozialverträglicher Landwirtschaft. Kiel. T. Dewes und L. Schmitt. Vol. 37-40.
- Kleyer M. und Babel U. (1984): Gefügebildung durch Bodentiere in „konventionell“ und „biologisch“ bewirtschafteten Ackerböden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 147, 98-109.
- Koop W. und Ahrens E. (1993): Der Einfluss unterschiedlicher Düngungsarten (mineralisch, organisch, biologisch-dynamisch) auf bodenmikrobiologische Indikatoren in einem Feldversuch. *Kongressband VDLUFA*, 37, 201-204.
- Mäder P., Pfiffner L., Fliessbach A., von Lütow M. und Munch J. C. (1996): Soil ecology - The impact of organic and conventional agriculture on soil biota and its significance for soil fertility. In: T. V. Østergaard (ed) Fundamentals of Organic Agriculture. Proceedings of the 11th IFOAM Scientific Conference, Vol. 1.1. Copenhagen. p. 24-46.
- Moreby S. und Aebischer N. (1992): Invertebrate abundance on cereal fields and set-aside land: Implication for wild gamebird chicks. *BSPC Mono* 50, 181-186
- Nieberg H. (1999): Wirtschaftlichkeit der Umstellung auf ökologischen Landbau in Deutschland: Empirische Ergebnisse aus den Jahren 1990-1997. In: Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 23.-25. Februar in Berlin. Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Niggli U., Alföldi T., Mäder P., Pfiffner L., Spiess E. und Besson J.-M. (1995): DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell VI. Synthese, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* 4 (4).
- Nowack K., Oberholzer B. und Niggli U. (1996): Welche Landwirtschaft ist bodenverträglich? Studie im Auftrag des WWF Schweiz, Zürich.
- Pettersson B. D., Reents H. J. und Wistinghausen E. (1992): Düngung und Bodeneigenschaften. Ergebnisse eines 32-jährigen Feldversuches in Järna, Schweden. Institut für biologisch-dynamische Forschung. Schriftenreihe Band 2. Darmstadt.
- Pfiffner L. (1996): Welche Anbaumethoden fördern die Vielfalt der Kleintierfauna? *Agrarforschung*, 3 (11-12): 537-540.
- Pfiffner L., Mäder P., Besson J.-M. und Niggli U. (1993): DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-Dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell III. Boden: Untersuchungen über die Regenwurmpopulationen. *Schweiz. Landw. Fo.*, 32 (4): 547-564.
- Pfiffner L. und Mäder P. (1997): Effects of biodynamic, organic and conventional production systems on earthworm populations. *Entomological Research in Organic Agriculture (Special edition of Biological Agriculture and Horticulture)* 15, 3-10.
- Schinner F. und Sonnleitner R. (1996): Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik. Band 2: Bodenbewirtschaftung, Düngung und Rekultivierung. Springer Verlag, Berlin, 359 S.
- Siegrist S., Schaub D., Pfiffner L. und Berner A. (1994): Einfluss unterschiedlicher Anbauintensitäten auf Regenwurmbesatz und Erodierbarkeit eines Lössbodens der NW-Schweiz. *Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz. Dokument* 5, 19-24.
- Wechselberger P., Köbler M., Heissenhuber A. (1999): Ökonomische und ökologische Beurteilung von Bewirtschaftungsmassnahmen bzw. unterschiedlichen Bewirtschaftungssystemen. In: *Berichte über Landwirtschaft- Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft. Band 77 (2)* 184-200.
- Weibel H. und Fleischer G. (1998): Kosten und Nutzen des chemischen Pflanzenschutzes in der deutschen Landwirtschaft aus gesamtwirtschaftlicher Sicht. *Agrarökonomische Monographien und Sammelwerke*, Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG.

Exkurs: Ökolandbau und Arbeitsplätze

Die Autorin Simone Rapp kommt in einer Diplomarbeit "Zukunftsfähiges Deutschland" zum Schluss, dass Bio-Landbau bis zu 20 Prozent mehr Arbeitsplätze schafft (Rapp 1998). Landwirte aus rund 1'000 Bioland-Betrieben wurden über Produktionszweige, die Verarbeitungs- und Vermarktungswege sowie die Anzahl der Arbeitskräfte vor und nach der Umstellung befragt. Von den rund 1'000 Fragebogen betrug die Rücklaufquote 45 Prozent.

Das Ergebnis ist eindeutig: Bei den Betrieben, die auf biologischen Anbau umgestellt hatten, war die Zahl der Beschäftigten von 618 auf 1'010 gestiegen. Durch den Einstieg in die ökologische Landwirtschaft entstanden also 392 neue Arbeitsplätze. Berücksichtigt wurden dabei ausschliesslich feste und sozial abgesicherte Arbeitsplätze, nicht aber Aushilfskräfte und Saisonarbeiter.

Die Zunahme der Arbeitskräftezahl ist damit zu erklären, dass die Betriebe bei der Umstellung auf ökologischen Landbau neue Produktionszweige aufnahmen. Beispielsweise engagierte sich fast jeder dritte Betrieb nach der Umstellung im Bereich Sonderkulturen. Die am weitesten verbreitete Form des Sonderkulturanbaus ist der sehr arbeitsintensive Gemüsebau.

Darüberhinaus steigen viele Betriebe nach der Umstellung in die hofeigene Verarbeitung ein (siehe Tabelle). Vor der Umstellung hatten lediglich 7 Betriebe eine angeschlossene Hofbäckerei. Nach der Umstellung waren es 32 Betriebe. Ähnlich ist das Ergebnis bei den Hofmetzgereien bzw. -molkereien. Für die Verarbeitung, die viel Zeit in Anspruch nimmt, werden häufig zusätzliche Arbeitskräfte eingestellt.

Anzahl Betriebe mit eigener Verarbeitung:

	Vor der Umstellung	Nach der Umstellung
Hofbäckerei	7	32
Hofmetzgerei	10	34
Hofmolkerei	5	25

Bei der Vermarktung ändert sich durch die Umstellung am meisten. Da die Produkte über möglichst kurze Wege an die KonsumentInnen gelangen sollen, ist im ökologischen Landbau die Direkt-Vermarktung ein oft benutzter Vermarktungsweg. Von den befragten Betrieben vermarkteten vor der Umstellung 130 LandwirtInnen einen Teil ihrer Produkte direkt an die KonsumentInnen. Nach der Umstellung stieg die Zahl der Betriebe mit Direktvermarktung auf 356. Unabhängig davon, ob die Waren im Hofladen, auf dem Wochenmarkt oder über Abo-Kisten vermarktet werden, entsteht ein höherer Arbeitsaufwand.

Die Zahlen in Bezug auf die Aufteilung der Arbeit spiegeln diese Tendenzen wider: Vor der Umstellung arbeiteten insgesamt 548 Arbeitskräfte in der Produktion, 20 in der Verarbeitung und 36 in der Vermarktung. Nach der Umstellung nahm die Zahl der Arbeitskräfte in allen drei Bereichen zu, wobei der Zuwachs bei der Vermarktung am deutlichsten ist: In der Produktion stieg die Arbeitskräftezahl auf 868, in der Verarbeitung auf 85 und in der Vermarktung auf 262 Arbeitskräfte.

Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass 128 Betriebsleiter vor der Umstellung auf ökologischen Landbau an eine Aufgabe der Betriebes gedacht haben, den Betrieb jetzt jedoch aufgrund der Umstellung weiterführen. Auch die Arbeitszufriedenheit hat sich verändert. 287 Betriebsleiter (das entspricht 63,9 Prozent) äusserten, sie seien seit der Umstellung zufriedener. Einige von ihnen würden unter keinen Umständen mehr einen konventionellen Betrieb bewirtschaften wollen.

Literatur

Anonym (1998): Ökolandbau schafft Arbeitsplätze. *Ökologie und Landbau*, 108, 29-31.
Rapp S. (1998): Veränderung der betrieblichen Parameter (insbesondere der Arbeitskräfte) bei der Umstellung auf ökologischen Landbau am Beispiel vom Bioland. Diplomarbeit Fachbereich Agrarwirtschaft der Fachhochschule Nürtingen. Erstellt im Auftrag des Bioland-Bundesverbandes. Zu beziehen bei: Bioland, Kaiserstr.18, D-55116 Mainz.

10 Naturnahe Landwirtschaft ohne Gentechnik - eine Chance für die Schweizer Landwirtschaft?

In den vorigen Abschnitten stand die Frage im Vordergrund, in welchem Ausmass transgene Pflanzen einerseits und Biolandbau andererseits die Kriterien einer nachhaltigen Landwirtschaft erfüllen. Dabei wurde deutlich, dass transgene Pflanzen kaum einen Beitrag zur nachhaltigen Landwirtschaft leisten werden.

Hier soll die Bedeutung einer "naturnahen" Landwirtschaft ohne Gentechnik als mögliche Option für die Zukunft diskutiert werden. Mit "naturnah" ist in diesem Kontext sowohl der Biolandbau als auch der Anbau nach Kriterien der Integrierten Produktion (IP) gemeint. Die IP-Produktion ist ein gutes Stück näher an einer nachhaltigen Landwirtschaft als die konventionelle High-Input Landwirtschaft und für eine gentechfreie Gesamtvision für die Landwirtschaft Schweiz ist IP nicht (oder noch nicht) wegzudenken.

Es geht in diesem Kontext auch um die Frage, ob das vom BUWAL im Rahmen der Revision des Umweltschutzgesetzes vorgeschlagene zehnjährige Moratorium für die Freisetzung transgener Pflanzen¹ nicht auch eine ökologische, wirtschaftliche und soziale Chance für die Schweizer Landwirtschaft darstellt, um in dieser Zeit die Weichen für eine zukunftsorientierte, moderne und nachhaltige Landwirtschaft zu stellen.

10.1 Sinkende Akzeptanz für gentechnisch veränderte Lebensmittel

Sämtliche Umfragen in Europa weisen darauf hin, dass die KonsumentInnen gentechnisch veränderte Lebensmittel mehrheitlich ablehnen. Interessant ist auch, dass die Ablehnung bei zunehmender Informiertheit eher zunimmt (und nicht abnimmt). Einige Beispiele:

- Das britische Meinungsforschungsinstitut Healey-Baker befragte im Herbst 1998 6'700 EuropäerInnen (8 EU-Länder und die Tschechische Republik, Ungarn und Polen), ob sie gentechnisch veränderte Lebensmittel essen würden. 61 % der Befragten würden es vorziehen, keine gentechnisch veränderten Lebensmittel zu essen. Der Widerstand ist in Italien mit 79 % am höchsten, in Holland mit 47 % am tiefsten. Ueber 57 % der Befragten wünschten sich mehr biologisch produzierte Lebensmittel in den Regalen (Ammann 1999).
- In der Schweiz zeigte eine Umfrage der Weltwoche im Juni 1999, dass 71 % der Schweizer Bevölkerung (82 % der Frauen) keine Gentech-Lebensmittel kaufen wollen. 65 % der Leute würden sogar für herkömmliche Lebensmittel mehr bezahlen als für Gentech-Produkte (Zucker 1999).
- Das in der Schweiz durchgeführte PubliForum zu „Gentechnik und Ernährung“ verlangte ein Moratorium für die Zulassung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln und Pflanzen (Schweizerischer Wissenschaftsrat 1999).

Ein Grossteil von Europas Supermarktketten haben inzwischen der "Konsummacht" nachgegeben und den Verzicht auf GVO-Produkte bei ihren eigenen Marken bekanntgegeben.² Auch COOP und Migros (Schweiz) geben an, keine GVO-Produkte zu führen. In England gehen die Supermarktketten inzwischen einen grossen Schritt weiter: Sie wollen auch alles Fleisch aus ihren Regalen verbannen, das von Tieren stammt, die mit Gentech-Futtermittel gemästet wurden.

Die Freisetzung von transgenen Pflanzen in die Umwelt gerät wegen nicht abschätzbaren Folgen für die Umwelt ebenfalls vermehrt ins Kreuzfeuer der Kritik. Am 25. Juni haben die Umweltminister der EU ein "de-facto"-Moratorium für die Freisetzung transgener Pflanzen eingeführt, das so lange gelten soll, bis sich die EU auf verbindliche Regeln geeinigt hat.³ ExpertInnen rechnen mit einem Zeitraum von zwei Jahren.

Nicht nur in Europa, auch weltweit brechen die Absatzmärkte für gentechnisch veränderte Lebensmittel (und Saatgut) zusammen, wie an zwei Beispielen aufgezeigt werden soll:

Brasilien, das hinter den USA zweitgrösste Sojaexportland, wehrt sich gegen transgene Pflanzen. Der Staat Rio Grande do Sul als grösster Sojaproduzent erklärt sich offiziell zur "Gentech-freien Zone", wegen unbekannter Risiken und auch weil die Gentechnik eine Bedrohung für viele KleinbäuerInnen darstelle. Gemäss einem nationa-

¹Das BUWAL schlägt vor: Art 63a (neu): Befristetes Verbot für gentechnisch veränderte Organismen: Gentechnisch veränderte Organismen dürfen bis am ... (10 Jahre nach Inkrafttreten dieser Aenderung) weder direkt in die Umwelt noch zu diesem Zweck in Verkehr gebracht werden. Vom Verbot des Ausbringens ausgenommen sind Freisetzungsversuche, die ausschliesslich Forschungszwecken dienen."

² Am 17.3.1999 haben die 7 Supermarktketten Sainsbury's (GB), Marks&Spencer (GB), Carrefour (F), Efelunga (I), Delhaize (B), Superquinn (I) und Migros (CH) ein Konsortium gegründet, um ihre eigenen Produktlinien garantiert gentechfrei halten zu können. Seither verzichten zahlreiche weitere Supermarktketten auf genmanipulierte Lebensmittel.

³ Die UmweltministerInnen konnten sich nicht auf ein legales Moratorium festlegen, doch wurden zwei leicht unterschiedliche Deklarationen verabschiedet. Die weitergehende Deklaration, die von Dänemark, Frankreich, Griechenland, Italien und Luxemburg unterzeichnet wurde, legt fest, dass diese Staaten jede weitere Freisetzung (experimentell und kommerziell) suspendieren werden, bis dass verbindliche Normen vorliegen. Damit haben sie nach Art.21 eine Sperrminorität.

len Gerichtsentscheid darf bis August 2000 kein Gentech-Soja gepflanzt werden: Bevor irgend etwas angebaut werden dürfe, müsse eine Umweltverträglichkeitsstudie vorliegen, befand das Gericht. Die Verantwortlichen sehen darin auch eine grosse wirtschaftliche Exportchance für Europa und Japan.

USA: Selbst in den USA beginnen die Fronten zu bröckeln. Zwar üben die transnationalen Konzerne und mit ihnen die Regierung massiven Druck aus und drohen Europa mit einem neuen Handelskrieg. Zwar werden 1999 in den USA rund 40 Prozent aller Maisanbauflächen und rund 30 Prozent aller Sojaanbauflächen mit genmanipuliertem Saatgut bepflanzt sein - eine beeindruckende Fläche. Doch die Skepsis wächst. Der weltweit bekannte Baby-food Hersteller "Gerber" (inzwischen eine Tochterfirma von Novartis) verkündete Ende Juli 1999, dass die Firma ganz auf genmanipuliertes Soja und Mais verzichten werde. Die zwei andern grossen US Baby-Nahrungshersteller, H.J. Heinz & Co. und Poway, wollen baldmöglichst nachziehen.

Sogar in Bankenkreisen wächst die Skepsis gegenüber genmanipulierten Lebensmitteln: Ein amerikanisches Analyseteam der Deutschen Bank (Deutsche Banc Alex. Brown, USA) bewertete in ihrem Bericht "AG Biotech: Thanks, but No Thanks?" die Chancen der Biotech-Industrie sehr problematisch (Mitsch 1999). Das Analyseteam, das sich durchaus nicht grundsätzlich gegen GVOs ausspricht, bemerkt jedoch: "Die Industrie hat die "Wahrnehmungskriege" verloren, eine Schlacht nach der andern, und es gibt in absehbarer Zukunft wenig Aussicht, dass die "General Picketts Charge" zugunsten der Industrie umgebogen wird." Das Team der Deutschen Bank konzentrierte ihre Analyse vor allem auf den US-Markt. Die GVO-Debatte wäre nach ihrer Einschätzung auch in den USA viel früher losgebrochen, wenn das FDA die Frage zur Diskussion offengelegt hätte. Doch das FDA hatte früh beschlossen, GVOs (im Unterschied zu Europa) nicht zu deklarieren. Die öffentliche Debatte werde dadurch - wenn sie erst einmal aufkomme - umso heftiger geführt werden. Gemäss einer kürzlichen Umfrage denken fast die Hälfte aller AmerikanerInnen, dass ihr Essen 100% frei von GVOs sei. In Wirklichkeit aber enthalten fast 60% aller prozessierten Lebensmittel GVO-Bestandteile. Dieser Bruch zwischen Wahrnehmung und Realität könne für die Industrie nicht gut ausgehen, wenn die Diskussion erst einmal losgehe. Der Bericht geht auch auf die Frage eines aufgeteilten Marktes ein: Dieses Jahr werden in den USA von vielen Getreidehändlern Extra-Prämien für GVO-freie Ware ausbezahlt. So zahlt zum Beispiel Archer Daniels Midland (ADM, einer der grössten im Geschäft) eine Prämie von 18 Cents/bushel für gentechfreies Soja. Und die U.K. Farmer's Weekly berichtete kürzlich, dass Saatguthändler davon ausgehen, dass die Bauern bis zu 20 % des GVO-Mais-Saatgutes an die Händler zurückgeben. Wichtig bei der Prämienvergabe für GVO-freie Produkte sei wohl auch die Konkurrenz mit Brasilien, wo zur Zeit keine transgenen Pflanzen angebaut werden.

Gegen die grössten Life Science Konzerne (Monsanto, Du Pont, Novartis u.a.) wird eine 'Antitrust'- Sammelklage in bis zu 30 Ländern angestrengt. Grund: Die Life Science Industrien würden mit gentechnisch verändertem und patentiertem Saatgut eine bisher nie dagewesene Konzentration und Machtkontrolle im Saatgutbereich anstreben. Durch die Praxis der Patentierung würde das Saatgut den Bauern nicht mehr gehören, sie müssten für den Nachbau jedes Jahr Lizenzgebühren zahlen. Vor allem für Länder des Südens würde sich die angestrebte Marktkontrolle verheerend auswirken (Eaglesham 1999) ⁴.

10.2 Chance für Produkte aus naturnaher Landwirtschaft

Während das Vertrauen in gentechnisch veränderte Lebensmittel europaweit sinkt, tun sich gleichzeitig Marktnischen für nicht gentechnisch veränderte Produkte auf, in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit ausreichender Mengen. Der Verzicht auf gentechnisch veränderte Landwirtschafts-Produkte kann in diesem Kontext zu einem wichtigen Wettbewerbsparameter werden: eine grosse Chance für die Schweizer Landwirtschaft. Gerade für die kleinräumige Schweizer Landwirtschaft mit ihren grossen Anteilen an hügeligem und bergigem Landwirtschaftsgebiet könnte dies eine hervorragende Perspektive darstellen, da die Konkurrenzfähigkeit auf dem Gebiet der high-input Landwirtschaft im Raume Europa wohl immer kleiner werden dürfte.

Auch im BUWAL wird über die Option einer Schweizer Landwirtschaft ohne Gentechnik als Zukunftsperspektive für die Schweiz nachgedacht: Zur Begründung ihres Vorschlages, ein 10-jähriges Moratorium für die kommerzielle Freisetzung von transgenen Pflanzen gesetzlich zu verankern, führen sie u.a. an: "Für wen sollen im heutigen Zeitpunkt gentechnisch veränderte Produkte in der Schweiz hergestellt werden und wozu sollen von der Allgemeinheit ökologische und andere Probleme, selbst wenn sie gering sein sollten, in Kauf genommen werden? Ein konsequenter Verzicht auf die Verwendung gentechnisch veränderten Saatgutes während der nächsten zehn Jahre gäbe der Schweiz Gelegenheit, ihren Ruf zu bewahren, über eine naturnahe Landwirtschaft zu verfügen. Gegenüber einem Einsatz gentechnisch veränderter Organismen bildete sich so eine wohldurchdachte und differenzierte Haltung heraus. Gleichzeitig liesse sich die notwendige Infrastruktur und Logistik aufbauen, die es braucht, um getrennte Versorgungswege für gentechnisch veränderte und andere Güter zu gewährleisten" (BUWAL 1999).

⁴ Die Sammelklage wird von 20 US-Anwaltsbüros vertreten. Initianten sind die Foundation on Economic Trends (um Jeremy Rifkin), die US National Family Farm Coalition sowie einzelne Bauern aus Lateinamerika, Asien, Europa und den USA.

Ein Verzicht auf transgenes Saatgut in der ganzen Schweiz würde zudem das Problem unbeabsichtigter Kontaminationen mit transgenem Pollen minimieren. So haben sich Biobauern in verschiedenen Ländern (so etwa in Deutschland, England und Kanada) gerichtlich dagegen gewehrt, dass ihre Felder von transgenem Pollen aus Nachbarfeldern verseucht wurden. In England zum Beispiel wurde deshalb ein Sicherheitsabstand von 200 m rund um transgene Felder festgelegt. Doch neuere Untersuchungen stellen diese Abstände in Frage. Raps-Pollen zum Beispiel kann bis zu 8 km weit transportiert werden, und Pollen von Mais und Kartoffeln etwa ein Kilometer weit (New Scientist 1998). Bienen, so haben britische Untersuchungen gezeigt, können Pollen 4 km vom Versuchsfeld wegtransportieren (Nuttall 1999). Eine weitere Studie der britischen Soil Association zeigt am Beispiel von Mais, dass die Übertragungsdistanzen und Wahrscheinlichkeiten der Hybridbildung weit grösser als erwartet ausfallen (Emberlin 1999).

Die beste Möglichkeit, um Kontaminationen mit transgenem Pollen zu verhindern und damit die GVO-Freiheit landwirtschaftlicher Produkte (weitestgehend) zu garantieren, bleibt demnach der konsequente Verzicht auf transgenes Saatgut.

Es wäre wohl falsch, die wachsende Ablehnung von gentechnisch veränderten Lebensmitteln als temporäre "Mo- deerscheinung" zu werten, die sich bald wieder legen werde. Denn zu tief ist die Verunsicherung der KonsumentenInnen, zu oft haben Lebensmittelkrisen (BSE, Dioxin, Hormon) das Vertrauen in die industrielle Nahrungsmittelproduktion erschüttert. Gentechnisch veränderte Lebensmittel, ebenfalls von Krisen begleitet, reihen sich in diese Kette von Verunsicherungen ein. Die KonsumentInnen sind risikobewusster geworden. Und dann spielen sicher noch weitere Faktoren eine Rolle, wie der deutsche Soziologe Ulrich Beck vermerkt: "In den Fragen der Konsumenten nach dem Risiko (von Gentech-Food, fk) steckt auch die Forderung nach Mitbestimmung in den Angelegenheiten industrieller Produktion: Wer eigentlich regiert unser Leben?" (U. Beck, NZZ, 3./4.7.1999).

Acht Supermarktketten haben im Sommer 1999 den "World Organic Supermarket Club" gegründet, um in ihren Ladenketten garantiert biologische Lebensmittel anbieten zu können.

Diese Entwicklung kann auch in der Schweiz beobachtet werden. Die Nachfrage nach Bio-Produkten wächst so stark, dass sie zeitweise kaum befriedigt werden kann. Bei COOP etwa betrug der Umsatz mit "Knospe"-Produkten 1998 220 Mio Franken, was einer Umsatzsteigerung von 29% gleichkommt. Mit naturgerecht hergestellten Fleisch- und Eierprodukten ohne "Knospe"-Label erzielte COOP weitere 130 Mio Sfr. Bei Pastmilch beträgt der Anteil von Bio-Milch mit "Knospe"-Label bereits 30% vom Gesamtumsatz. Das Ziel von COOP ist, bis 2008 mit den vier ökologischen Produktelinien einen Umsatz von einer Milliarde zu machen.

Biologische und naturnahe Lebensmittel sind die moderne Option für die Zukunft. Dabei spielt neben der hohen Qualität dieser Lebensmittel und der ökologischen Pluspunkte auch die Transparenz und die "Fairness" in der Produktion zunehmend eine Rolle. Der Verzicht auf gentechnisch hergestellte Lebensmittel könnte für die Schweiz eine ausgezeichnete internationale Marktchance darstellen.

Literatur

- Ammann D. (1999): Gentechnik an Lebensmitteln, Studienpapier der SAG, Zürich
BUWAL (1999): Botschaft zur Änderung des USG, Entwurf 7.7.1999, S.9.
Eaglesham E. 1999: Life Science groups face lawsuits, Financial Times, 13/9/99.
Emberlin J., Adams-Groom B. und Tidmarsh J.A. (1999): A report on the dispersal of maize pollen. National Pollen Research Unit, Univeristy College, Worcester, Soil Association (ed.).
Mitsch F. & Mitchell J. (1999): Deutsche Banc Alex.Brown, DuPont: AG Biotech: Thanks, But No Thanks? <http://www.biotech-info.net/Deutsche.html>
New Scientist (1998): 160, 2158.
Nuttall N (1999): The Times, UK, 15.4.1999
Schweizerischer Wissenschaftsrat (1999): PubliForum Gentechnik und Ernährung, 4.-7. Juni 1999. Bericht des Bürgerpanels. Bern.
Zucker A. (1999): Weltwoche-Umfrage. Genfood will keiner. Die Weltwoche, 24.6.99, S.40

Annex

Potentials and threats of the Genetic Engineering Technology: Quest for an African Strategy at the Dawn of a New Millennium

Hans R. Herren

Director General, The International Centre of Insect Physiology and Ecology (ICIPE), P.O. Box 30772, Nairobi, Kenya

Background

Do we need genetically engineered crops to feed the world? This question is at the centre of several major controversies, ranging from intellectual property rights to biodiversity conservation via social and economic considerations. The major question really lies in what choices are science, industry and governments proposing to the farmers and the consumers? In Africa's special case, what solutions to food security makes sense in this particular socio-economic and environmental setting? The scepter of a new fiasco lies very near, as the farmers are likely to be simply weaned from pesticides to be force fed biotech seeds, in other words, taken off one treadmill and set on a new one!

According to a Monsanto-initiated publicity campaign, which seeks endorsement from African heads of state, the solutions to the elusive developing world food security problem are to be found in genetically engineered food crops. It claims the following: "Biotechnology is one of tomorrow's tools in our hands today. Slowing its acceptance is a luxury our hungry world cannot afford".

What is really meant is that these biotechnology products-- in this case seeds from genetically modified crops-- will cater for the needs of an increased global population. The public sector has also joined the bandwagon, which reinforces my personal concern about the dangers of such a limited approach to food security issues. The trend towards a quasi-monopolization of funding in agricultural development into a narrow set of technologies is dangerous and irresponsible. Also, too many hopes and expectations are being entrusted in these technologies, to the detriment of more conventional and proven technologies and approaches that have been very successful.

It is only too obvious to concerned scientists, farmers and citizens alike that we are about to repeat, step by step, the mistakes of the insecticide era, even before it is behind us. I would even argue that these new miracle technologies are mostly not necessary, let alone desirable, to solve the world's food security problem. I am not denying that in some instances they may be of use in increasing the qualities of food crop varieties, but this aspect has relevance only once abundance has been achieved. Africa needs a homegrown food security research, capacity and institution building and implementation strategy that is tuned to its economic and social constraints and is in harmony with its diverse environment.

The problems and possible solutions

Despite the enormous investments to date, the progress in developing new crop varieties and livestock breeds and clones, although quite dramatic in scientific terms, has so far lagged behind expectations and promises, particularly in the genetic engineering sector. Transgenic crop varieties (tgv's) are already being used on rather wide areas in the developed countries and are here to stay and will certainly also be deployed by some farmers in Africa. We need, therefore, to deal with at least two major issues which have been neglected by the promoters of genetically modified organisms (GMOs), and unfortunately also by most donors: (i) the potentially negative impact of widespread use of these GMOs on health, the environment, food security and the economy, and (ii) the modalities of their utilization. This is what I would call, 'the other side of the coin'.

When considering the many different products arising from biotechnology and genetic engineering, of particular concern are the newly developed transgenic varieties of common crops. We have here a typical example of a technology (genetic engineering) that is 'looking for an application', in other words, a stockholder/technology-driven rather than a problem-driven approach. The fact that there are many more efficient and sustainable, yet under-exploited, approaches readily available or easily researchable seems not to amount to much in the eyes of policymakers and many donor agencies.

A good example could be the cassava mealybug, if the problem were to occur today. The solution of today's genetic engineers would be to insert some mealybug resistance genes into the cassava plant. I doubt that I would be able to sell the biological control approach today as I did 20 years ago. Note that through biocontrol, the mealybug problem has been eliminated once and for all. This environmentally 'soft' biotech solution was applied

over a period of 15 years, which included research and implementation across all of Africa. The latest reported cost-to-benefit ratio is 1:200. Hard to beat, even with the best tgvs!

But why this shift in interest away from natural, sustainable solutions which re-emerged some 15 years ago, but which are now on the way out? My explanation is that most of these solutions are not considered marketable, by virtue of the very definition of the term 'sustainable'. The agro-industry obviously has in mind its shareholders, who are more interested in the short-term profitability than in the long-term sustainability of any given production system, even for their own food. Thus, if industry can sell a package that has to be bought over and over again, perhaps at an increasing number and cost per application, the better. This trend can be illustrated by the packaging of herbicide-resistant seeds and complementary herbicide. The latest development in this profit-to-use treadmill direction is the 'terminator' gene, which will ensure that a given transgenic crop variety will not germinate in the second season, forcing the farmer to buy new seeds every season. On the one hand this may assure better quality seeds, but on the other, what does it do for the sustainability of the African farming system, for the evolution of land races, and for the economics of the small farm and the ever poorer rural and urban populations.

Most of the genetic material now being exploited by the agro-industry came from those very land races that this same industry is now likely to bring to extinction with its plans to widely disseminate tgvs. It may be true that there are seed specimens of land races in freezers, which may serve as a potential gene source for some years to come, but can we tolerate mortgaging the food security of future generations without raising the red flag? The turf battles between the seed/agro-chemical giants and the intellectual property rights proponents are making it clear that sharing nature's wealth for the benefit of the poor is not around the corner. When it comes to utilization, conservation and equitable sharing of genetic resources, Dr M.S. Swaminathan stresses that, "What's important is not to clog the channel of cooperation, but to keep alive the very principle of evolution of agriculture of the past 10,000 years".

The narrow genetic base of the tgvs is another factor that speaks against them. Given the wide variety of agro-ecologies found in the tropics, Africa in particular, there is therefore a need for a broad range of ecologically suited varieties. Sufficient evidence already exists of past crop failures due to genetic uniformity to be worried: five in the last 25 years. It seems that here, also, there is a problem in learning from past experience.

The use of new, high yielding and possibly pest- and disease- resistant tgvs will bring with it the need to invest in extra inputs, as shown during the Green Revolution in Asia. With or without the tgvs, there will be a need for extra inputs, but the seed costs alone for high-yielding varieties-- and more so for the transformed ones-- is likely to be above the means of most African farmers. As it is, most Third World farmers can scarcely afford the regular hybrid or improved open-pollinated seeds.

It is well documented that yield can be increased two- or three-fold in most of sub-Saharan Africa and other tropical areas through increased use of fertilizers (both organic and inorganic), weed control, IPM and utilization of already developed and available varieties, in other words, many of the 'soft', or 'old', biotechnologies. The black bean example in Mexico is proof that sustainable agriculture can also be productive.

You may say that we need to prime the pump, and get the farmers out of the vicious circle. Yes, that could have been done 25 years ago, if it were feasible. The problem is the lack of policies and will, at government level, to put agriculture at the top of the agenda. Tgvs will not change that. The tgv concept is based on the profit motive of seed and agrochemical companies, not on the welfare of farmers and consumers and the need to develop a sustainable and self-reliant production strategy. Tgvs will not feed the hungry, they will make them poorer, if the Green Revolution is an indicator of what we can expect.

What Africa needs now is not tgvs, it is a progressive policy environment, in which farmers are given the necessary credit facilities, a tool box with manageable solutions to their agronomic problems and access to markets. They must be given the chance to purchase, through micro-credit schemes, the right inputs at reasonable prices, and on time! Without micro-credit, no technology, either traditional or biotech-based, can be introduced.

There is, however, little indication that governments in the South are revising their budget allocations and giving agriculture in concert with health the importance they merit. Agriculture and health need to go hand in hand if there is to be any hope of achieving the growth in productivity necessary to keep pace with population increase.

The solution lies not with tgvs, but in a different approach, an approach which developing countries and their farmers alike can afford. Such an approach would give priority to training farmers in the basics of plant growth; nutrient uptake and application; organic fertilizer production and application; pre- and post-harvest pest management; farm management; and farmers' cooperative development, among others. It is essential that a holistic approach to training in the farmers' field schools (FFS) be implemented. Farmers' training and credit facilities may indeed be the fastest way forward towards the goal of food security. If an example is needed, the programme pioneered by Sasakawa-Global 2000 may well fit, even though it is not yet perfect (it lacks an integrated production approach).

The funds now being invested by the public sector in developing and deploying new tgvs would go a long way towards educating farmers in the application of presently available and under-utilised technologies, and could fund research and development of truly sustainable and affordable solutions to crop production. Some promising solutions to achieving food security without incurring heavy financial burdens and the uncertain negative ecological

impact of tgvs have been identified by the Conference of the Parties of the CBD. They lie in increasing our knowledge of the dynamics of soil microorganisms, their roles in fertility conservation and restoration, and of the impact of pollinators on the yield of food and horticultural crops.

Africa in particular needs investment and technical know-how in the production of natural, or soft-biotech, integrated pest management (IPM) products such as pathogens, predators and parasitoids, semiochemicals and botanicals. Many of these technologies are currently available in China, India and Brazil, and should be transferred under South-South cooperation schemes.

There is also a mounting body of research and evidence that shows all is not well with the use of when it comes to side effects and threats to biodiversity. I have been lobbying over the last several years for increased research support for environmental impact studies in Africa, but have found only deaf ears. I am trying to promote the idea that public money, i.e. taxpayers' money, should be spent on assessing the impact of tgvs on the environment, on the wild relatives of genetically engineered crops, on the general ecosystem functioning, as well as their effects on human health. At present, these aspects are looked at only marginally or to fulfil the regulatory process, but do not address the long-term implications of tgv use, as ought to be the case. Such research would also help the biotech industry, by providing solutions for a more efficient deployment of tgvs, thus increasing the 'life span' of such products! For instance, it has already been shown that insects will develop resistance to tgvs within a few generations, therefore negating years of research. Also, the industry is misleading the farmers by promoting insect resistance. It is noteworthy to explain, that the resistance so far available covers only lepidoptera and coleoptera pests, but not most sap sucking insects or mites, which are also major pests. In short, although the farmer may have a Bt maize, she/he may still have to spray against other pests. A famous plant breeder, Dr. N.W. Simmonds, has called the genetic engineering of food crops "a pie in the sky" or "most spectacular con trick in crop improvement", and is very critical of what he call the collapse of decent science in the face of biotechnology.

On the critical biosafety issue, who will develop the necessary regulations, not so much from the developed nations' point of view, but from the developing countries' vantage point? There may well be differences between the two, given their different ecological, social and economic environments. In many developing countries, steps are being undertaken to formulate such regulations based on those already available from developed countries. The costs for these activities in terms of scarce human and financial resources is a matter for concern. There are many other more important tasks at hand for African scientists and other professionals than these 'imposed' tasks, which will primarily allow the agro-industry to get the legislation in place to test and sell their goods-- goods which are of doubtful priority, unfinished as yet, and most certainly not affordable by the average farmer. The more science is driven by intellectual property rights, the more the issues being tackled will be the ones where profit can be made. Dr. Ismail Serageldin mentions as example the pharmaceutical industry, largely driven by private sector investments with proprietary science. Despite the fact that malaria is the world's most important disease, there is hardly any investment in malaria control options (with exception for the US military). So we can well imagine the private sector using the genetic material from the South, for yield improvement mostly in the developed countries. The developing ones will hardly be able to afford to pay for the technology, and furthermore, this technology may not be ecologically adapted to their needs in the first instance. In a continent with 40 to 45 % of its population living in absolute poverty, and in need for a job, industrialised agriculture is not the solution. There are numerous examples of very successful organic agriculture in the North. This type of agriculture requires more labor, and yields higher profits. Would that not be the better path to follow?

With the tightening of the rules on biotech activities in Europe, Africa is now being targeted by many biotech companies for the testing of tgvs under the pretense that Africa needs these solutions immediately (the EC has plans to spend 206 million Ecus on 152 projects related to biotechnology). The truth is that Africa can double, or treble its production without any tgvs, but that Africa represents an ideal, yet almost regulation free test ground.

Africa is the home (centre of origin) of several major food crops. The wild relatives of these crops are now in danger of becoming bio-contaminated with stray genes from their genetically modified cultivated relatives. This scenario is real, and represents, next to the loss or bio-contamination of land races, the most serious issue facing the deployment of tgvs. In order to assess the potential threat, there is a need to urgently undertake research on gene flow, of sorghum, cowpeas, coffee, cucurbits etc. Unless such detailed studies are done and the results made available, no field testing nor deployment of tgv should be allowed. This research could yield on the one hand the data to make informed decisions on the way to proceed, and on the other provide the training ground for specialists to control tgv experiments. The testing of tgvs, without proper information on potential for unwanted gene flow, is yet the biggest threat to biodiversity, and in particular the diversity of our food crop relatives, from which our children will need new genes to overcome new pest and disease problems, as we did do it ourselves. Are we right in denying them this right by not acting quickly and seriously?

There is a need to change the tone of the dialogue, and to start demanding that the public sector continues to invest in research for the South. That the South also starts to invest seriously in agricultural, health and environmental research. Africa cannot afford to follow the bandwagon of the biotech lobby of the North if it wants

to survive and develop a strong, ecologically and environmentally sound and sustainable food security system, that includes agriculture, health and the environment, and which it can afford. Africa will double its population over the next 25 years, so there is no room for complacency, or mis-directed investments. Hunger is caused by poverty, and therefore any research and training programme must tackle this issue in tandem with the other three elements in sustainable development. Food security, health and environmental (water) issues are interconnected and need a holistic problem solving approach. New partnerships, serious and problem solving partnerships, need to be established and funded to bring about the solutions required to overcome the urgent problems of today and the ones looming in the years ahead.

Conclusions

In summary, I do not see the likelihood of tgvs making a major impact on food security in Africa within the next 15 to 20 years, or until such time as the general economic climate has improved, supported by new agricultural policies. However, there will still remain the questions of economic and environmental viability of the technology. Looking at the investment pattern by industry and the public sector, the chance that we are going to end up with the same mess as with the current pesticide treadmill is just around the corner. We shall have learned nothing since Rachel Carson's *The Silent Spring* was published over 30 years ago. What a shame!

In a recent article concerning the biosafety protocol for the management of threats posed by living modified organisms, UNEP's Director General, Dr. Klaus Topfer writes: "We need a bio-safety regime that does not hinder biotechnology innovations, but also one that can prevent misuse, escapes and accidents that could have irreversible consequences".

I fully agree, and this statement reflects my thinking and confirms my concerns. I hope my message will reach the decision-makers who can influence the allocation of public, and also private sector, funds to the 'other side of the coin' and to the sustainable soft biotechnologies, this to assure that the poor also can grow crops and buy food.

As for Africa, the quest for a new strategy to assure food security at continental, regional, national and household levels at the dawn of the new millennium is and should be a matter of priority. If I can make a few suggestions on what is required, I would sum up as follows:

1. Africa needs new investment policies and means for research, capacity and institution building and development in the areas of agriculture, health and the environment as a matter of priority, in particular as they relate to alternatives to the high development and input cost technologies offered by developed countries industry.
2. The research in conventional, and advanced, technologies should focus on the needs, realistic financial means and the technical absorption capacities of the farmers and rural populations of the research outputs. It also needs to be flexible and adapted to the very diverse ecological conditions, and therefore requirements for site specific solutions.
3. Africa needs positive economic and social development, fostered through social and political reforms. Agriculture should be the area of first priority when it comes to investment, as it provide employment, generates income, and stimulate non-farm activities.
4. Africa needs to consider its available resources as a starting point for technological improvements, not only the available technologies from the developed countries.
5. Trade and fiscal policies and decisions need to be shifted from benefiting Governments to benefiting the agricultural sector, as it is agriculture which is the engine of sustainable development.

Pflanzenwahrnehmung und Pflanzenkommunikation

Florianne Koechlin

Wenn Raupen der Gattung *Spodoptera exigua* Hübner Maispflanzen befallen und an den Blättern zu fressen beginnen, kommen bald auch natürliche Feinde dieser Raupen angefliegen: In diesem Falle Wespen der Gattung *Cotesia marginiventris*. Diese Wespen parasitieren auf den Raupen, legen ihre Eier in sie hinein und führen so mit der Zeit zu deren Tod.

Warum aber finden die Wespen ihre Opfer so schnell und zuverlässig? Dieser Frage hat Ted Turlings, Professor an der Universität Neuchâtel und gebürtiger Holländer, die letzten zehn Jahre seiner Forschungsarbeit gewidmet. Denn die Raupen sind recht unscheinbar und auch geruchlos - sie selber ziehen die Wespen kaum an. Das liegt auch in ihrem evolutionären "Interesse". Doch wenn es nicht an den Raupen liegt, dann müssen die Pflanzen selber die Wespen anlocken können.

Um dies herauszufinden, hat Ted Turlings mit seiner Gruppe die Wirkung von verletzten Maisblättern untersucht. Mit einem Messer verletzte Blätter haben keine Wirkung auf Wespen, von Raupen angefressene Blätter hingegen üben eine hohe Anziehungskraft auf Wespenweibchen aus. Die Forscher haben dann versucht, die Geruchstoffe zu analysieren, die die Pflanze aussendet. Sie wurden fündig. "Sie können es selber riechen: Eine von Raupen verletzte Pflanze produziert nach ein paar Stunden ein stark duftendes Gemisch an Geruchstoffen. Anfangs riechen Sie den Duft von geschnittenem Gras - den Geruch von verletzten Pflanzen also, wir kennen dieses Duftstoffgemisch seit längerem. Nachher kommt ein anderer Duft dazu, ein starker Duft, und dieser Duft zieht die Wespenweibchen an, und zwar unabhängig davon, ob die Raupen noch am Blatt sind oder nicht", sagt Ted Turlings. Chemische Analysen der Duftstoffe ergaben, dass die flüchtigen S.O.S.-Signale der Maisblätter aus einem Gemisch von Indol und Terpenoiden bestehen.

Wie aber "weiss" die Maispflanze, dass sie von diesen Raupen befallen ist und nun die kleinen Wespen zur Hilfe rufen muss? Die ForscherInnen haben Maisblätter mit dem Messer verletzt: Es gibt keine Reaktion. Sobald aber die verletzten Blätter mit Raupenspeichel beschmiert werden, beginnen sie mit der Produktion der S.O.S.-Duftstoffe. Also müssen die Pflanzen die Raupen an ihrem Speichel "schmecken", sobald diese sie angreifen. Nun begann eine vier Jahre dauernde, sehr aufwendige Suche nach dem Signalstoff im Raupenspeichel. Raupen wurden aufgezogen, gefüttert, dann zum Erbrechen gebracht und ihr Speichel mit modernster Analysemethodik untersucht. Erst letztes Jahr fanden die Forscher den Stoff und nannten ihn Volicitin. Die Pflanze "schmeckt" im Raupenspeichel das Volicitin und beginnt dann sofort mit der Produktion ihrer Duftstoffe, um damit die Wespenweibchen anzuziehen, die ihrerseits die Fressraupen langsam abtöten - das Puzzle zu diesem faszinierenden Zusammenspiel kam langsam zusammen.

Doch die ForscherInnen kamen noch mehr ins Staunen: So berichtete eine Forschergruppe um Tumlinson (USDA-ARS) letztes Jahr in der renommierten Wissenschaftszeitung 'nature', dass Pflanzen nicht einfach bloss einen Notsignal-Duftstoff herstellen, sondern ein Repertoire verschiedener Duftstoffe haben und je nach Raupenart ganz spezifische Duft-Not-Signale aussenden. Die Wespen "wissen" dann genau und zuverlässig, welche Raupenart gerade an diesen Maispflanzen frisst, und zwar - und auch dies ist erstaunlich - lernen die Wespen assoziativ die Duftgemische zu unterscheiden und finden auf diese Weise ihre bevorzugte Raupenart. Das haben Geruchsversuche mit Wespen gezeigt. Es ist also nicht so, wie bislang angenommen, dass Wespen mit diesem "Wissen" auf die Welt kommen, und starr und instinktiv nur immer dem gleichen Geruch folgen. "Wespen sind sehr gute Lerner", bestätigt Turlings.

Er ist sich jedoch nicht so sicher, ob Pflanzen wirklich so differenziert ihre Duftstoffe produzieren. Vielmehr hat sein Team herausgefunden, dass unterschiedliche Maissorten sehr unterschiedliche Duftstoffgemische herstellen, einige wenig und andere mehr. "Wir haben verschiedene Maissorten aus Frankreich in Bezug auf Duftstoffemissionen untersucht und haben dramatische Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten festgestellt", so Turlings. Zudem produzieren junge Maispflanzen viel mehr Notruf-Gerüche als alte Pflanzen (die jungen Blätter sind auch viel verletzlicher und gefährdeter), und Trockenheit begünstigt die Duftstoffproduktion eher. Sein Team untersucht nun, wie sich dieses flexible und dynamische Dreiecksverhältnis für die biologische Schädlingsbekämpfung verwenden lässt. Kann ein ausgeklügeltes Anbausystem im Maisbau dazu beitragen, dass die Pflanzen mehr Duftstoffe produzieren und somit mehr Wespen anziehen, um sich besser gegen Raupenfrass zu schützen? Oder gelingt es, durch Kreuzungen Maispflanzen zu züchten, die viel Duftstoffe produzieren und gleichzeitig einen hohen Ertrag haben? Eine faszinierende Perspektive für den Biolandbau.

Turlings Forschung wird auf die Schweiz selber kaum grosse Auswirkungen haben. Er untersucht Raupen, die vor allem wärmeren Gegenden - in Lateinamerika, in Israel und Aegypten, aber auch in Südeuropa zu wahren Plagen werden können. Seine Forschung wird deshalb auch vom der DEZA mitunterstützt. "Vielleicht, wenn die globale Erwärmung derart voranschreitet wie bisher, wird meine Forschung auch für die Schweiz relevant werden. Leider." sagt Ted Turling.

Pflanzen haben noch viele andere Möglichkeiten, um Schädlinge abzuwehren. Sie können sich zum Beispiel selber aktiv gegen Schädlinge und Krankheitsbefall zur Wehr setzen. Sie können befallene Zellen sofort zum

Absterben bringen, um Schädlinge an der Verbreitung in der ganzen Pflanze zu hindern. Sie können auch verschiedene Toxine gegen die Eindringlinge (sogenannte Phytoalexine) bilden. Reben zum Beispiel bilden in den Trauben das Pilztoxin Resveratrol gegen die Graufäule. (Resveratrol wiederum soll Herzbeschwerden vorbeugen, meinen etliche Experten und empfehlen daher den regelmässigen Genuss von etwas Rotwein).

Wichtig ist bei allen diesen Abwehrmassnahmen, dass die Pflanzen den Eindringling schnell und zuverlässig erkennen können. Und über die Fähigkeiten pflanzlicher Erkennungssysteme kommen die ForscherInnen immer mehr ins Staunen.

So können Pflanzen noch viel mehr als den Speichel von Raupen schmecken. Pflanzen können riechen, sehen, spüren und hören, wie Andy Coughlin in der Wissenschaftszeitung *New Scientist* (26.10.98) berichtet. Und viele dieser erstaunlichen Eigenschaften helfen ihnen, ihre Umgebung ziemlich gut wahrzunehmen und sich vor Feinden zu schützen.

Pflanzen können riechen: Untersuchungen an Tomaten haben ergeben, dass verletzte Tomaten den Duftstoff Methyl-Jasmonat als Notsignal aussenden. Benachbarte Pflanzen können dann "riechen", dass Gefahr in Anzug ist, und mit der Schädlingsabwehr beginnen. Methyl-Jasmonat ist ein häufig verwendeter Stoff in Parfums. Das gab Probleme für die ForscherInnen. "Wir mussten die Frauen warnen, im Gewächshaus kein Parfum zu verwenden weil dies unsere Experimente durcheinander gebracht hätte", sagt Bud Ryan von der Washington State University. Inzwischen haben Forscher auch noch andere Warn-Duftstoffe gefunden. Sie wollen prüfen, ob diese Duftstoffe vor einer Raupeninvasion zur Warnung der Pflanzen eingesetzt werden können. Wenn die Raupen dann kommen, wären die Pflanzen optimal vorbereitet.

Pflanzen können sehen: Sie enthalten in vielen Pflanzenorganen photosensitive Komponenten, die jeweils sehr spezifisch auf bestimmte Wellenlängen des Lichtes reagieren können. Diese Lichtsensoren teilen der Pflanze zum Beispiel mit, ob es Tag oder Nacht ist, wie lange der Tag ist, wieviel Licht da ist und von wo das Licht kommt. Das sind alles elementar wichtige Informationen für die Pflanze, und ihr Wachstum und Metabolismus richtet sich nach solchen Daten. Erst kürzlich haben Forscher um Gareth Jenkins von der University of Glasgow zudem herausgefunden, dass Pflanzen auch die schädlichen UV-B-Strahlen registrieren können. Dann lösen sie die Herstellung bestimmter Pigmente aus, die die UV-B-Strahlen herausfiltern können. "Pflanzen stellen in der Gegenwart von UV-B-Strahlen ihre eigene Sonnenschutzcreme her", bemerkt Gareth Jenkins. Dass dies nötig ist, wissen die Fachleute: Wenn Pflanzen aus dem (sonnenlosen) Gewächshaus direkt in die Sonne gestellt werden, laufen sie Gefahr, einen "Sonnenbrand" zu bekommen.

Pflanzen können tasten: Alle kennen wir die Mimose, deren Blätter sich bei geringster Berührung nach unten biegen. Auch gewöhnliche Pflanzen können Bewegung, zum Beispiel den Wind, "spüren" und sich vorsehen, denn starker Wind kann bei Blättern grosse Schäden anrichten. Wie Andy Coughlin im *New Scientist* erwähnt, haben Untersuchungen ergeben, dass Maispflanzen, die jeden Tag 30 Sekunden lang geschüttelt wurden, 30 bis 40 Prozent weniger Ertrag ergaben. Dafür waren die Zellwände ihrer Blätter und ihres Stengels massiv verstärkt worden; eine Schutzmassnahme gegen das Schütteln.

Und ob Pflanzen hören können? Mordecai Jaffe von der Universität Wake Forest (USA) hat Pflanzen permanent mit Tönen in der Lautstärke von menschlichen Stimmen beschallt und stellte fest, dass Zwergerbsen doppelt so gross wurden wie normal.

Pflanzen, so zeigt gerade die Forschung der letzten Jahre, wissen sehr viel mehr über ihre Umwelt als dies bisher angenommen wurde. Könnte dies nicht auch bedeuten, dass der Status von Pflanzen neu überdenkt werden muss? Der in der Schweizer Verfassung verankerte Grundsatz, dass die "Würde der Kreatur" zu achten sei, wird bisher nur in Bezug auf Tiere diskutiert. Warum eigentlich? Warum sollten Pflanzen, die schmecken, riechen, sehen oder hören, bloss als Sachen gelten, an denen beliebig herummanipuliert werden kann und die patentierbar sind wie irgendeine Chemikalie?

Literatur

A.Coughlin (1998): Sensitive flower, *New Scientist*, 26.9.98.

Turlings T. and Benrey B. (1998): Effects of plant metabolites on the behaviour and development of parasitic wasps, *Ecoscience*, 5(3),321.

De Moraes C.M.et al. (1998): Herbivore-infested plants selectively attract parasitoides', *Nature*, 393, 570

Alborn H.T. et al (1997): An elicitor of plant volatiles from Beat Armyworm Oral Secretion, *Science*, 276, 945.

Lewis W.J. and Takasu K. (1990): Use of learned odours by a parasitic wasp in accordance with host and food needs, *Nature*, 348, 635.