

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 201 67 430/06
UBA-FB 000514



Alternativen zu gentechnisch veränderten Pflanzen

von

Dipl.-Ing. Werner Müller
Mag. Marianne Miklau
Dr. Andreas Traxler
Dr. Kathrin Pascher
Dr. Helmut Gaugitsch
Dr. Andreas Heissenberger

Umweltbundesamt GmbH,
Wien

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

Vorauszahlung von 7,50 Euro

durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet IV 2.5
Ina Ebert

Berlin, Oktober 2003

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Alternativen zu gentechnisch veränderten Pflanzen		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dipl.-Ing. Werner Müller, Mag. Marianne Miklau Dr. Andreas Traxler, Dr. Kathrin Pascher, Dr. Helmut Gaugitsch, Dr. Andreas Heissenberger	8. Abschlußdatum Oktober 2002	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt GmbH Wien Spittelauer Lände 5 A-1090 Wien	9. Veröffentlichungsdatum	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	10. UFOPLAN-Nr. 201 67 430/06	
	11. Seitenzahl 145	
	12. Literaturangaben	
	13. Tabellen und Diagramme 13	
14. Abbildungen -		
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung In dieser Studie stehen pflanzenbauliche (im Falle der Kartoffel verarbeitungstechnische) Probleme der Landwirtschaft im Zentrum der Betrachtung, zu denen mit Hilfe der Gentechnik Lösungen gesucht werden oder solche bereits entwickelt wurden. In fünf Fallbeispielen (Unkrautbekämpfung bei Raps, Insektenbefall bei Mais, Rizomania-Befall bei Zuckerrübe, Kartoffel mit veränderter Stärkezusammensetzung und Mehltaubefall bei Wein) werden diese gentechnischen Lösungsansätze jeweils jenen der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft gegenüber gestellt. Die Entscheidung der Landwirte für oder gegen eine Maßnahme ist jedoch nicht nur von der technischen und ökologischen Machbarkeit, sondern auch von sozio-ökonomischen Faktoren abhängig. Diese bestimmen - oft entscheidend - mit, welche Maßnahmen sich letztlich in der Praxis durchsetzen. Mögliche Chance und Hindernisse der Umsetzung von Alternativen sind in unterschiedlichen, sich teilweise gegenseitig beeinflussenden Bereichen - vom Agrarfördersystem, über den Markt und das soziale Image einer Maßnahme bis hin zu umweltethischen Überlegungen - zu finden. In dem vorliegenden Bericht wurde keine umfassende Risikobewertung der unterschiedlichen Ansätze durchgeführt, sondern die Grenzen der drei wichtigsten Methoden (Risikoabschätzung, Vergleichsversuche und Life Cycle Assessment - LCA) aufgezeigt. Für umfassende Vergleiche (z.B. Bewertung verschiedener Anbausysteme) sollten daher alle drei Methoden angewandt und weiterentwickelt werden. Sofern man sich aus finanziellen Gründen Gründen - und/oder bedingt durch andere (politische) Rahmenbedingungen - bei der Risikobewertung auf eine Methode beschränken muß, wäre es doch notwendig, einen Mechanismus zu finden, der den Blick auf systemische Wirkungszusammenhänge öffnet. Die Fallbeispiele zeigen zwar deutlich, dass es Lösungsmöglichkeiten ohne gentechnisch veränderte Organismen gibt, aber ebenso dass Forschungsbedarf in der Weiterentwicklung des vorsorgeorientierten Pflanzenschutzes besteht.		
17. Schlagwörter		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Alternatives to genetically modified plants		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Dipl.-Ing. Werner Müller, Mag. Marianne Miklau Dr. Andreas Traxler, Dr. Kathrin Pascher, Dr. Helmut Gaugitsch, Dr. Andreas Heissenberger	8. Report Date October 2002	
6. Performing Organisation (Name, Address) Federal Environment Agency Ltd. Spittelauer Lände 5 A-1090 Vienna	9. Publication Date	
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	10. UFOPLAN-Ref. No. 201 67 430/06	
	11. No. of Pages 145	
	12. No. of Reference	
	13. No. of Tables, Diagrams 13	
14. No. of Figures -		
15. Supplementary Notes		
16. Abstract This study focuses on problems related to modern agriculture (and in the case of potatoes problems of processing), for which possible solutions using gene technology have already been found or are being sought. These approaches of genetic engineering have been compared to solutions of conventional and organic farming by the way of five case studies (weed control in the case of oil seed rape, infestation of maize with corn borer, infestation of sugar beet with rhizomania, potatoes with altered starch composition and grape mildew). However a farmer's decision for or against a certain measure is not only dependent on its technical and ecological feasibility, but also on socio-economic circumstances. The latter contribute critically - sometimes even decisively - to the success or failure of one or the other measure in practice. Potential opportunities and obstacles in the implementation of alternative measures can be found in a wider array of different, partly interdependant, areas. They range from the agricultural subsidy system, the market situation and the social image of a measure to ethically driven environmental concerns. In this study no comprehensive risk evaluation has been conducted for the different approaches. Instead the limits and constraints of the three methods (environmental risk assessment, comparative experiments and life cycle assessment - LCA) are pointed out. So for extensive comparisons, e.g. evaluation of different agricultural systems all three methods should be applied and improved. If for financial or other (political) reasons one has to restrict risk evaluation to one method, it would be advisable to find a mechanism which provides insight in systemic effects relationships. Even though the case studies clearly show that usually there are several possible solutions to an agricultural problem at the same time it becomes clear from this study that there is substantial need to further develop approaches to plant protection in line with the precautionary principle.		
17. Keywords		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG.....	5
SUMMARY	7
1 EINLEITUNG	9
1.1 ZIELE UND GRENZEN DIESER STUDIE	10
2 FALLBEISPIEL UNKRAUTBEKÄMPFUNG BEI RAPS.....	14
2.1 GRUNDLAGEN DES RAPSANBAUS	14
2.1.1 Wichtige Krankheiten und Schädlinge	15
2.1.2 Unkrautdruck im Rapsanbau.....	15
2.2 LÖSUNGSANSÄTZE IN DER UNKRAUTBEKÄMPFUNG	15
2.2.1 Standardmaßnahme gegen Unkräuter - Herbizideinsatz	15
2.2.2 Alternativen zum Einsatz von Herbiziden im Rapsanbau.....	16
2.2.3 Unkrautbekämpfung mit herbizidtolerantem Raps.....	16
2.2.4 Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau.....	17
2.3 UMWELTRELEVANTE EFFEKTE	18
2.3.1 Umweltrelevante Effekte des Herbizideinsatzes	18
2.3.2 Umweltrelevante Effekte des Einsatzes von herbizidtolerantem Raps	20
2.3.3 Umweltrelevante Effekte der Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau	24
2.4 FAZIT.....	25
2.5 LITERATUR.....	26
3 FALLBEISPIEL INSEKTENBEFALL BEI MAIS	30
3.1 GRUNDLAGEN DES MAISANBAUS	30
3.1.1 Wichtige Krankheiten und Schädlinge	32
3.1.2 Biologie und Schadenspotential des Maiszünslers.....	32
3.2 LÖSUNGSANSÄTZE FÜR DAS MAISZÜNSLERPROBLEM	34
3.2.1 Standardmaßnahme – Stoppel- und Bodenbearbeitung	34
3.2.2 Alternativen zur Stoppel- und Bodenbearbeitung	34
3.2.3 Maiszünslerbekämpfung mit Bt-Mais	36
3.2.4 Maßnahmen im Ökologischen Landbau.....	37
3.3 UMWELTRELEVANTE EFFEKTE	37
3.3.1 Umweltrelevante Effekte der konventionellen Maiszünslerbekämpfung	37
3.3.2 Umweltrelevante Effekte des Einsatzes von von Bt-Mais	39
3.3.3 Ökologischer Landbau	42
3.4 FAZIT.....	44
3.5 LITERATUR.....	45

4	FALLBEISPIEL RIZOMANIA-BEFALL BEI ZUCKERRÜBE.....	48
4.1	GRUNDLAGEN DES ZUCKERRÜBENANBAUS	49
4.1.1	<i>Wichtige Krankheiten und Schädlinge</i>	52
4.1.2	<i>Biologie und Schadenspotential von Rizomania</i>	53
4.2	LÖSUNGSANSÄTZE FÜR DEN RIZOMANIABEFALL	54
4.2.1	<i>Standardmaßnahmen gegen Rizomania</i>	54
4.2.2	<i>Alternativen zur konventionellen Standardmaßnahme.....</i>	58
4.2.3	<i>Einsatz von transgenen Rizomania-resistenten Zuckerrüben.....</i>	58
4.2.4	<i>Zuckerrübenanbau im Ökologischen Landbau</i>	59
4.3	UMWELTRELEVANTE EFFEKTE	60
4.4	FAZIT.....	63
4.5	LITERATUR.....	64
5	FALLBEISPIEL KARTOFFEL MIT VERÄNDERTER STÄRKEZUSAMMENSETZUNG.....	67
5.1	GRUNDLAGEN DES KARTOFFELANBAUS.....	68
5.1.1	<i>Wichtige Krankheiten und Schädlinge</i>	70
5.1.2	<i>Grundlagen zur Nutzung von Stärke</i>	70
5.2	LÖSUNGSANSÄTZE FÜR DIE VERWENDUNG VON AMYLOSEFREIER STÄRKE ALS INDUSTRIELLER ROHSTOFF.....	71
5.2.1	<i>Standardmaßnahmen – die industrielle Kartoffelstärkegewinnung</i>	72
5.2.2	<i>Konventionelle Züchtungen</i>	73
5.2.3	<i>Einsatz von transgenen Kartoffeln mit verändertem Stärkemetabolismus</i>	75
5.2.4	<i>Stärkegewinnung im Ökologischen Landbau</i>	76
5.3	UMWELTRELEVANTE EFFEKTE	77
5.4	GVO-ANSATZ VERSUS DIVERSITÄTS-ANSATZ	78
5.5	FAZIT.....	80
5.6	LITERATUR.....	80
6	FALLBEISPIEL MEHLTAUBEFALL BEI WEINREBEN	83
6.1	GRUNDLAGEN DES WEINBAUS	83
6.1.1	<i>Wichtige Krankheiten und Schädlinge</i>	86
6.1.2	<i>Biologie und Schadenspotential des Echten und des Falschen Mehлтаupilzes.....</i>	86
6.2	LÖSUNGSANSÄTZE FÜR DAS MEHLTAUPROBLEM.....	88
6.2.1	<i>Standardmaßnahmen gegen Mehлтаubefall - Fungizideinsatz</i>	88
6.2.2	<i>Alternativen zum Fungizideinsatz.....</i>	91
6.2.3	<i>Einsatz von transgenen pilztoleranten Weinreben</i>	93
6.2.4	<i>Mehltaubekämpfung im Ökologischen Weinbau</i>	94
6.3	UMWELTRELEVANTE EFFEKTE	96
6.3.1	<i>Konventionelle Alternativen</i>	97
6.3.2	<i>Transgene pilztolerante Weinreben.....</i>	97
6.3.3	<i>Ökologischer Landbau</i>	98

6.4	FAZIT.....	101
6.5	LITERATUR.....	102
7	CHANCEN UND HINDERNISSE DER UMSETZUNG VON ALTERNATIVEN – MACHBARKEITSANALYSE.....	107
7.1	EINLEITUNG	107
7.2	TECHNISCHE UND STANDORTBEDINGTE MACHBARKEIT.....	107
7.3	SOZIO-ÖKONOMISCHE MACHBARKEIT	108
7.3.1	<i>Einführung.....</i>	<i>108</i>
7.3.2	<i>Ökonomisches Motiv</i>	<i>109</i>
7.3.3	<i>Unsicherheitsvermeidung - Sicherheits- Motiv</i>	<i>113</i>
7.3.4	<i>Soziale Machbarkeit - soziales Ansehen einer Maßnahme.....</i>	<i>114</i>
7.3.5	<i>Überbetriebliche Maßnahme versus einzelbetriebliche Maßnahme</i>	<i>114</i>
7.3.6	<i>Umweltethisches Motiv.....</i>	<i>115</i>
7.4	FAZIT.....	115
7.5	EXKURS: MACHBARKEIT UND GLOBALE ASPEKTE	116
8	MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER BEWERTUNG	121
8.1	METHODEN ZUR ERFASSUNG VON UMWELTAUSWIRKUNGEN	121
8.1.1	<i>Risikoabschätzung.....</i>	<i>121</i>
8.1.2	<i>Vergleichsversuche.....</i>	<i>124</i>
8.1.3	<i>Life Cycle Assessment - LCA</i>	<i>126</i>
8.1.4	<i>Unsicherheit – „Uncertainty“</i>	<i>127</i>
8.1.5	<i>Fazit.....</i>	<i>127</i>
8.2	EXKURS: VERNETZTHEIT VON UMWELTWIRKUNGEN LANDWIRTSCHAFTLICHER EMISSIONEN	128
9	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	133
9.1	FORSCHUNGSBEDARF	136
10	LITERATUR FÜR KAPITEL 1, 7, 8 UND 9	140
11	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	147

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: <i>Biologische Grundlagen von Raps (Brassica napus)</i>	14
Tabelle 2: <i>Gegen Glyphosat (Round up) resistente Unkräuter</i>	21
Tabelle 3: <i>Biologische Grundlagen des Mais (Zea mays)</i>	30
Tabelle 4: <i>Wirkung verschiedener Bekämpfungsverfahren gegen den Maiszünsler</i>	36
Tabelle 5: <i>Biologische Grundlagen der Zuckerrübe (Beta vulgaris)</i>	48
Tabelle 6: <i>Zuckerbilanzen in Deutschland und in der EU im Wirtschaftsjahr 2000/2001</i>	51
Tabelle 7: <i>Normalsorten auf Standorten ohne Rizomania-Befall</i>	55
Tabelle 8: <i>Rizomania-tolerante Sorten auf Standorten mit Rizomania-Befall</i>	55
Tabelle 9: <i>Biologische Grundlagen der Kartoffel (Solanum tuberosum)</i>	67
Tabelle 10: <i>Biologische Grundlagen der Weinrebe (Vitis vinifera)</i>	83
Tabelle 11: <i>Wichtige Wirkstoffgruppen zur Pilzbekämpfung</i>	89
Tabelle 12: <i>Genkonstrukte des Freisetzungsvorgangs in Deutschland</i>	93
Tabelle 13: <i>Qualität biologischer und chemischer Risiken im Vergleich</i>	123

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Studie stehen pflanzenbauliche (im Falle der Kartoffel verarbeitungstechnische) Probleme der Landwirtschaft im Zentrum der Betrachtung, zu denen mit Hilfe der Gentechnik Lösungen gesucht werden oder solche bereits entwickelt wurden. In fünf Fallbeispielen (Unkrautbekämpfung bei Raps, Insektenbefall bei Mais, Rizomania-Befall bei Zuckerrübe, Kartoffel mit veränderter Stärkezusammensetzung und Mehltaubefall bei Wein) werden diese gentechnischen Lösungsansätze jeweils jenen der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft gegenübergestellt. Dabei werden die technische Umsetzbarkeit und die dabei bestehenden Schwierigkeiten analysiert. Es zeigt sich, dass in jedem der fünf Fälle, Lösungsansätze ohne den Einsatz von GVP existieren, die technisch und ökologisch machbar und entwicklungsfähig sind – seien es konventionelle Neuzüchtungen (z.B. Zuckerrübe, Wein, Kartoffel), verbesserte Verarbeitungsprozesse (z.B. Kartoffel) oder Standardmaßnahmen der konventionellen (z.B. Mais) oder der ökologischen Landwirtschaft (z.B. Raps).

Die Entscheidung der Landwirte für oder gegen eine Maßnahme ist jedoch nicht nur von der technischen und ökologischen Machbarkeit, sondern auch von sozio-ökonomischen Faktoren abhängig. Diese bestimmen - oft entscheidend - mit, welche Maßnahmen sich letztlich in der Praxis durchsetzen. Mögliche Chancen und Hindernisse der Umsetzung von Alternativen sind in unterschiedlichen, sich teilweise gegenseitig beeinflussenden Bereichen - vom Agrarfördersystem, über den Markt und das soziale Image einer Maßnahme bis hin zu umweltethischen Überlegungen - zu finden. Die Entscheidung für oder gegen die Nutzung unterschiedlicher Möglichkeiten wird unter anderem davon abhängen, ob Förderpolitik und/oder Lebensmittelverarbeitung und -handel eine kontrolliert gentechnikfreie Lebensmittelverarbeitung etablieren werden. Sofern keine Differenzierungsstrategien zwischen GVO und nicht-GVO Maßnahmen und Produkten durchgeführt werden, ist davon auszugehen, dass sich jeweils die kostengünstigste Maßnahme oder diejenige, welche dem Streben der Landwirte nach Vermeidung von Unsicherheiten entspricht, durchsetzt.

Anhand der Fallbeispiele wird ein Einblick in Unterschiede in der Umweltexposition (z.B. bezüglich des Pflanzenschutzmitteleinsatzes) der einzelnen landwirtschaftlichen Maßnahmen gegeben. Daraus kann jedoch weder auf Unterschiede in der Form der Umweltwirkungen insgesamt geschlossen werden, noch eine Bewertung unterschiedlicher Lösungsansätze oder verschiedener Anbausysteme erfolgen. Mögliche Unterschiede einzelner Maßnahmen oder landwirtschaftlicher Systeme bezüglich ihrer Umweltwirkungen müssen in vergleichenden Untersuchungen erarbeitet werden. In dem vorliegenden Bericht wurde auch keine umfassende Risikobewertung der unterschiedlichen Ansätze durchgeführt, sondern die Grenzen der unterschiedlichen Methoden einer vergleichenden Risikobewertung aufgezeigt. Die wichtigsten Methoden (Risikoabschätzung, Vergleichsversuche und Life Cycle Assessment - LCA) verfügen jeweils

über spezifischen Stärken und Schwächen, sodass die Anwendung einer dieser Methode allein nur ein unvollständiges Bild ergibt. Für umfassende Vergleiche (z.B. Bewertung verschiedener Anbausysteme) sollten daher alle drei Methoden angewandt und weiterentwickelt werden. Wenngleich das Mehrkosten für die Risikobewertung bedeutet, könnte es ein solcher vorsorgeorientierter Ansatz trotzdem günstiger sein als Reperaturlösungen im Schadensfall. Sofern man sich aus finanziellen Gründen - und/oder bedingt durch andere (politische) Rahmenbedingungen - bei der Risikobewertung auf eine Methode beschränken muß, wäre es doch notwendig, einen Mechanismus zu finden, der den Blick auf systemische Wirkungszusammenhänge öffnet. Schließlich sind hierfür sowohl die kontinuierliche Erforschung komplexer Umweltwirkungen (z.B. der Emissionen der Landwirtschaft) als auch die Festlegung von Umweltqualitätszielen (z.B. Erhöhung der Agrarbioidiversität) und die Definition von Schadensbegriffen unerlässlich.

Die Fallbeispiele zeigen zwar deutlich, dass es meist mehrere Lösungsmöglichkeiten für ein landwirtschaftliches Problem gibt, aber aus dieser Arbeit ist ebenso ersichtlich, dass es Forschungsbedarf in der Weiterentwicklung des vorsorgeorientierten Pflanzenschutzes gibt. Basierend auf einer Optimierung des Agrarökosystems (z.B. einer vielfältig gestalteten Fruchtfolge) könnte den im Bereich der Symptombekämpfung bekannten Problemen (z.B. Resistenzwettlauf) erfolgreich begegnet werden. Damit in Zusammenhang wäre auch die Frage nach den Hindernissen der Transformation wissenschaftlicher Ergebnisse näher zu untersuchen.

Die Frage, die es zu beantworten gilt, lautet daher: „Welcher Weg wird jeweils den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung unter Berücksichtigung des Vorsorgeprinzips am ehesten gerecht?“ Der gentechnische Ansatz scheint dem Wunsch nach einfachen Lösungen entgegen zu kommen und klingt daher oft vielversprechend. Die bisherigen Ergebnisse gentechnischer Lösungsansätze sind jedoch hinter den Erwartungen zurückgeblieben, weil sich immer wieder neue Problemfelder eröffnet haben (z.B. multiple Resistenzen bei Unkräutern). Es ist daher problematisch, sich auf einen Lösungsansatz, z. B. durch einseitig hohe Förderungen, festzulegen. Die Chancengleichheit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Anbauformen sollte gewahrt bleiben und regionale bzw. wirtschaftliche Aspekte der Anwendbarkeit verschiedener Lösungsansätze, so z.B. in Entwicklungsländern, nicht außer Acht gelassen werden.

Mit der Entwicklung effektiverer Bewertungsmethoden für den Vergleich einzelner landwirtschaftlicher Maßnahmen und Systeme und der Festlegung von Nachhaltigkeitszielen und -indikatoren kann die Basis für transparente und fachlich nachvollziehbare Entscheidungen geschaffen werden. Sofern diese (ebenso wie die Zielgrößen) von der Politik auch entsprechend kommuniziert werden, können letztlich eventuelle Lenkungsmaßnahmen (z.B. Förderungen) von der Bevölkerung und den Landwirten mitgetragen werden.

SUMMARY

This study focuses on problems related to modern agriculture (and in the case of potatoes problems of processing), for which possible solutions using gene technology have already been found or are being sought. These approaches of genetic engineering have been compared to solutions of conventional and organic farming by the way of five case studies (weed control in the case of oil seed rape, infestation of maize with corn borer, infestation of sugar beet with rhizomania, potatoes with altered starch composition and grape mildew). Aspects of their technical implementation as well as possible difficulties connected therewith are analysed. This study shows that in all of the five cases possible solutions without the use of genetically modified organisms exist, which are considered technically and ecologically feasible and capable of further development – be it conventionally bred varieties (e.g. sugar beet, grape vine, potatoes), improved processing technologies (e.g. potatoes) or practices of conventional (e.g. maize) or organic (e.g. oil seed rape) agriculture.

However a farmer's decision for or against a certain measure is not only dependent on its technical and ecological feasibility, but also on socio-economic circumstances. The latter contribute critically - sometimes even decisively - to the success or failure of one or the other measure in practice. Potential opportunities and obstacles in the implementation of alternative measures can be found in a wider array of different, partly interdependent, areas. They range from the agricultural subsidy system, the market situation and the social image of a measure to ethically driven environmental concerns. A decision in favour of or against the use of a certain possibility will, among other things, depend on whether the policy of (agricultural) subsidies and/or the food processing and retailing industry can establish a regulated production and marketing system that is free of GMOs. Unless differentiation strategies are implemented with respect to GM and non-GM products and measures, one can expect the most cost-efficient measures to be most favoured by the farmers. Besides, farmers, who work under hardly predictable circumstances (e.g. weather conditions), tend to avoid uncertainty wherever they can. This is another critical factor in the adoption of certain measures.

On the basis of the five case studies differences in the environmental exposure of different agricultural measures (e.g. pesticide usage) are elaborated. Nevertheless from this one can neither conclude differences in the overall environmental impact (order: altogether) nor assess and compare different solutions or different agricultural systems. Possible differences between agricultural measures and systems with respect to their environmental impact need to be elaborated in comparative studies. In this study no comprehensive risk evaluation has been conducted for the different approaches. Instead, the limits and constraints of various methods of comparative risk evaluation are pointed out. Each of the three most important methods (environmental risk assessment, comparative experiments and life cycle assessment - LCA) has its

specific strengths and weaknesses. So the application of one of these methods alone can only give an incomplete picture and therefore all three methods should be applied and improved for extensive comparisons, e.g. evaluation of different agricultural systems. Even though this would mean additional costs for risk evaluation such a precautionary approach would be more favourable instead of a solution in case of damage. If for financial or other (political) reasons one has to restrict risk evaluation to one method, it would be advisable to find a mechanism which provides insight in systemic effects relationships. Moreover the continuous investigation of complex environmental impacts (e.g. of emissions of agriculture), the definition of goals in environmental standards (e.g. increase in agro-biodiversity) as well as the definition of environmental hazards are indispensable.

Even though, the case studies clearly show that usually there are several possible solutions to an agricultural problem, at the same time it becomes clear from this study that there is enormous need to further develop plant protection oriented towards the precautionary principle. Based on an optimization of the agricultural ecosystem (e.g. multifaceted crop rotation) problems well known from combating symptoms (e.g. footrace of resistance) could be tackled effectively. In this respect a closer look should be taken at the question of obstacles of transformation of scientific findings.

So, the question that needs to be answered is this: "What way is the most suitable at each case to achieve the goals of sustainable development with respect to the precautionary principle?" The approach of gene technology appears to comply with a preference for simple solutions and is, therefore, often considered to be rather promising. However, developments of gene technology have hitherto fallen short of expectations, because new problems have arisen (e.g. multiple herbicide resistance in weeds and volunteer plants). As a result, it would be problematic to settle on a single approach, e.g. through an unbalanced system of high subsidies. Equal opportunities for different forms of agricultural cultivation should be maintained and regional and economic aspects of the implementation of different possible solutions, for example in developing countries, should be taken into account.

With the development of efficient evaluation strategies for the assessment of agricultural measures and systems and with the definition of clear objectives and indicators for sustainable development a basis for transparent and comprehensible decisions can be created. Provided that these decisions (and objectives) are properly communicated by politicians, the public - especially farmers - are likely to support possible regulatory measures (e.g. subsidies).

1 EINLEITUNG

Die Diskussion um den Einsatz der Gentechnik in der Landwirtschaft wurde von Anfang sehr kontrovers geführt. Der Hoffnung durch eine Verbesserung der Kulturpflanzen den Hunger in der Welt zu besiegen stand die Sorge um mögliche nachteilige Effekte für Mensch und Umwelt gegenüber. Die nachdrückliche Forderung der Wissenschaft nach mehr Forschung zur Abklärung offener Fragen und die wachsende Skepsis der Konsumenten führten in der Europäischen Union schließlich zu einem mittlerweile mehrere Jahre dauernden de facto Moratorium bei der Marktzulassung von GVO und zur Änderung der Richtlinie über die absichtliche Freisetzung von GVO in die Umwelt (2001/18/EG).

Der Schwerpunkt bei Risikoabschätzungen von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen lag anfangs stark auf der jeweiligen Pflanze und ihren neuen Eigenschaften. Später erkannte man, dass bei der Frage nach nachteiligen Umweltauswirkungen der Nutzpflanzen auch die landwirtschaftliche Produktion an sich und insbesondere geänderte Produktionsmaßnahmen zu berücksichtigen sind (TORGERSEN et al. 1996). Die Tatsache, dass es also bei Freisetzungen und Inverkehrbringen von GVP nicht nur zu direkten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt kommen kann, sondern möglicherweise auch indirekte und verzögerte Wirkungen als Folge von Gentransfer, der Interaktion mit anderen Organismen oder geänderter landwirtschaftlicher Praktiken u.ä. auftreten können, wird in der neuen EU-Richtlinie anerkannt. Sie spricht in diesem Zusammenhang von „*consideration of direct, indirect, immediate or delayed effects*“ (2001/18/EG). Bei der Bewertung von GVP ist es somit nicht ausreichend, die neue Sorte mit ihren neuen Eigenschaften zu betrachten. Ihre Wirkung im landwirtschaftlichen und ökologischen System muß mitberücksichtigt werden. Das bedeutet grundsätzlich, dass die Zielvorstellungen für diese Bereiche (Naturschutz, Landwirtschaft, Biodiversität) - und somit auch die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung - auch für die Beurteilung von Anwendungen von GVP in der Landwirtschaft maßgebend sein sollten.

Diese Verbreiterung der Bewertungsdiskussion führt dazu, dass weniger Risiken und Nutzen einzelner GVP im Zentrum der Betrachtung stehen, sondern vielmehr die Frage, welchen Beitrag die Gentechnik zu einer nachhaltigen Landwirtschaft leisten kann. Bei einer solchen ziel- und lösungsorientierten Betrachtung muß man ebenso fragen, für welche landwirtschaftlichen (Umwelt-) Probleme (z.B. Schädlinge, Pflanzenschutzmitteleinsatz) die Gentechnik Lösungen bieten kann. Diese gilt es dann, im Vergleich zur konventionellen Praxis und anderen Alternativen zu bewerten.

Bisherige Anwendungen der Gentechnik in der Landwirtschaft sind weniger aus einer solchen Betrachtung heraus entstanden. Es wurden vielmehr Produkte entwickelt, deren Herstellung sich oft vorwiegend an den Möglichkeiten der Methode und den Interessen der Industrie orientiert hat (KOECHLIN et al. 1999). Die vergleichende Bewertung landwirtschaftlicher Produkti-

onsmethoden bezüglich Umweltauswirkungen mit geeigneten Methoden und Indikatoren stellt zur Zeit eine große Herausforderung für die Forschung in diesem Bereich dar. Ein erster Schritt, um ökologische Auswirkungen von geänderten landwirtschaftlichen Produktionsmethoden zu untersuchen, wurde in England mit den sogenannten „Farm Scale Evaluations“ gesetzt (DEFRA 2002). Dort wird über drei Jahre hinweg am Beispiel von verschiedenen transgenen herbizidtoleranten Nutzpflanzen (Mais, Futterrübe, Raps) der Einfluß von Änderungen im Unkrautmanagement auf das Agrarökosystem im Vergleich zur herkömmlichen landwirtschaftlichen Praxis auf der Ebene landwirtschaftlicher Betriebe erhoben. Eine bereits standardisierte Methodik zur Abschätzung von Umweltauswirkungen ist die Ökobilanz (LCA), die von Klöpffer et al. erstmals auf gentechnisch veränderte Nutzpflanzen angewandt (KLÖPFFER et al. 1999) und methodisch weiterentwickelt wurde, um Aspekte der Risikoabschätzung in die Wirkungsabschätzung mit einzubeziehen (KLÖPFFER et al. 2001). Diese Arbeiten zeigen, dass die Methodik prinzipiell auch für eine vergleichende Analyse unterschiedlicher Agrartechniken in Abhängigkeit von regionalen ökologischen Rahmenbedingungen herangezogen werden kann und die LCA als Basis für die Abwägung möglicher ökologischer Vor- und Nachteile neben Risikoabschätzungen einen wichtigen Beitrag zur politischen Entscheidungsfindung leisten kann.

Für die Diskussion und die Weiterentwicklung der Risikoabschätzung transgener Organismen - sowie für die neue EU Richtlinie – war auch die Konvention zur Biologischen Vielfalt maßgebend. In ihr wurden die Prinzipien „ökosystemarer Ansatz“ und „Vorsorgeprinzip“ erstmals niedergeschrieben und für die verschiedenen thematischen Bereiche - für GVO z.B. im „Cartagena Protocol on Biosafety“ – weiterentwickelt. Letzteres spricht in Annex III, Punkt 9, Absatz g auch über „Risk Assessment“ - beispielsweise von *"intended use of the LMO, including new or changed use compared to the recipient organism or parental organisms"*. Der ökosystemare Ansatz kombiniert den Schutz der biologischen Vielfalt mit der nachhaltigen Nutzung von Ökosystemen, also den Erhalt der Ökosystemfunktionen für Land-, Fischerei- und Forstwirtschaft und andere Sektoren. Das Vorsorgeprinzip ist der Versuch, der fehlenden wissenschaftlichen Sicherheit über das Wissen betreffend Art und Ausmaß von nachteiligen Effekten in Entscheidungsfindungen explizit Rechnung tragen zu können. Auch dieses Prinzip trägt dazu bei, dass bei Risikoabschätzungen neben den zu erreichenden Zielen v.a. das „Wie“ der Zielerreichung an Bedeutung gewinnt, wie also ein Ziel mit minimalem Risiko für Mensch und Umwelt zu erreichen ist.

1.1 Ziele und Grenzen dieser Studie

Diese Studie orientiert sich insofern an der „neuen Risikodiskussion“ als dass die Betrachtung eines Problems und seiner Lösungsmöglichkeiten im Zentrum der Betrachtung steht. Ausgangspunkt für das jeweilige Fallbeispiel sind pflanzenbauliche (in einem Fall verarbeitungstechnische) Probleme, zu denen jeweils mit Hilfe der Gentechnik Lösungen gesucht werden

oder solche bereits zur Verfügung stehen. Ähnlich wie in der Studie „Zukunftsmodell Schweiz – Eine Landwirtschaft ohne Gentechnik?“ (KOECHLIN et al. 1999) werden auch in dieser Studie – z.T. schon vorhandene, z.T. noch zu entwickelnde – Lösungsansätze der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft dargestellt. Ausgehend von der Standardmaßnahme in der konventionellen Landwirtschaft werden jeweils Alternativen dazu in der konventionellen Landwirtschaft, der Landwirtschaft mit Hilfe von GVP und dem Ökologischen Landbau aufgezeigt.

Darüber hinaus gibt es noch andere Produktionsverfahren, wie z.B. die integrierte Produktion, (IP) welche hauptsächlich durch den integrierten Pflanzenschutz charakterisiert ist. Das wesentlichste Prinzip des integrierten Pflanzenschutzes ist das Schadschwellenkonzept, wonach je nach Situation zu entscheiden ist, ob eine Pflanzenschutzmaßnahme notwendig ist oder nicht. Alle bereits entwickelten und zur Verfügung stehenden Methoden und Mittel (Pflanzenschutzmittel, Herbizide etc.) sind zumindest von der Konzeption her erlaubt. Die Entscheidung über deren Einsatz stellt hohe Anforderungen an die Betriebsleiter, die sich dabei gerne auf Warndienste stützen. Für die integrierte Produktion bestehen allerdings weder systematische Ansätze noch internationalen Standards oder Produktionsrichtlinien, wie beispielsweise für den Ökologischen Landbau mit der EU-Verordnung (EWG) Nr. 2092/91. Das bedeutet, dass die IP in verschiedenen Ländern unterschiedlichen Charakter hat. So sind entsprechende Programme in Österreich beispielsweise streng auf Kulturarten und nicht auf das landwirtschaftliche Produktionssystem als Ganzes ausgerichtet. Im Gegensatz dazu werden bei der IP in der Schweiz sehr wohl Faktoren wie die Fruchtfolge oder die Gestaltung der Agrarlandschaft (Hecken, Feldraine etc.) mitberücksichtigt. Man kann also davon ausgehen, dass die IP auch einen Beitrag zur Reduktion von Umweltbelastungen leisten kann, der je nach Charakter mehr oder weniger groß ausfällt (z.B. biologische Schädlingsbekämpfung). Im Gegensatz zum gentechnologischen Ansatz, der zwar von der Konzeption her ebenfalls kein systemischer ist, beeinflusst die integrierte Produktion aber Anbauverfahren im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft weit weniger als beispielsweise der Einsatz von transgenen herbizidtoleranten Pflanzen das Unkrautmanagement. Aufgrund ihrer heterogenen Ausprägung und der mangelnden Berücksichtigung des gesamten Agrarsystems wird hier jedoch nicht näher auf die integrierte Produktion eingegangen.

Außerdem stehen hier nicht die bestehenden Anbauverfahren selbst, sondern die Lösungsansätze, die sie für Probleme in der Landwirtschaft gefunden haben, im Mittelpunkt der Betrachtung. Der Ökologische Landbau, der für sich genommen eine alternative Produktionsmethode darstellt, dient hier auch als Beispiel dafür, wie Innovation und damit Alternativen überhaupt entstehen und was Initiativen (aus ethischen o.ä. Gründen) letztlich entgegen wirtschaftlicher Logik bewirken können. So hat der Ökologische Landbau beispielsweise eine Änderung der wirtschaftlichen Rahmenbedingung bewirkt, indem er den Markt für seine Produkte überhaupt erst neu geschaffen hat. Obwohl die Förderungen für Biotechnologie und den Ökologischen Landbau bisher höchst ungleich verteilt waren, hat letzterer mit vielen innovativen Ideen die

konventionelle Landwirtschaft befruchtet und dazu beigetragen Umweltbelastungen zu reduzieren. So wurde beispielsweise das Konzept der flächenbezogenen Tierhaltung im österreichischen Programm für ländlicher Entwicklung (ÖPUL) übernommen. Im Zuge des Umbaus des Prämiensystems für Rinder wird auch in Deutschland mittelfristig angestrebt, nur Betriebe mit nicht mehr als 2 GVE/ha zu fördern (BMVEL 2001). Im ökologischen Landbau entwickelte Verfahren, wie z.B. Zwischenfruchtanbau oder Mulchsaat, werden auch in der konventionellen Landwirtschaft gefördert. Der Grundsatz des Ökologischen Landbaus, die Ursachen von Problemen zu beheben anstatt Symptome zu bekämpfen, und sein Streben nach möglichst geschlossenen Kreisläufen (Systemdenken) führt zu anderen Lösungsstrategien und daher zu anderen Ergebnissen als konventionelle Lösungsansätze.

Für die einzelnen Fallbeispiele wird in der Studie analysiert, welche Lösungsansätze technisch umsetzbar sind bzw. wo noch Schwierigkeiten liegen. Dabei bestehen z.T. große Unterschiede zwischen den einzelnen Fallbeispielen, bedingt durch die ungleiche Entwicklung gentechnischer Lösungsansätze. So existieren in manchen Fällen schon Praxiserfahrungen mit dem Anbau von GVP (z.B. herbizidtoleranter Raps in Kanada), während gentechnisch veränderte Weinreben beispielsweise erst in Freisetzungsversuchen getestet werden. Zusätzlich werden jeweils auch Unterschiede in der Umweltexposition (z.B. bezüglich des PSM-Einsatzes) der einzelnen landwirtschaftlichen Ansätze dargestellt. Allerdings werden die einzelnen Aspekte (z.B. umweltrelevante Effekte des PSM-Einsatzes) nicht in jedem Fallbeispiel dargestellt, weil einerseits die Aussagen bezüglich der globaler Wirkungen unabhängig von der Art der Kulturpflanze Gültigkeit haben (siehe auch 8.2) und andererseits der Schwerpunkt bei den Fallbeispielen auf die jeweils durch die gentechnische Modifikation veränderte Eigenschaft gelegt wird.

Eine vergleichende Bewertung unterschiedlicher Lösungsansätze bzw. Anbausysteme ist nicht Thema dieser Arbeit, weil dafür Umweltwirkungen und Expositionspfade für jeden Fall detailliert behandelt werden müssten. Es kann hier lediglich ein kurzer Einblick in diese Thematik gegeben werden, der auch die Schwierigkeiten bei der Erfassung komplexer Umweltwirkungen aufzeigt. In einem eigenen Kapitel wird schließlich grundsätzlich auf methodische Möglichkeiten und Grenzen der Bewertung von Umweltwirkungen eingegangen. Im Rahmen dieser Studie erfolgt auch keine Bewertung bezüglich der Zielvorstellungen einer nachhaltigen Landwirtschaft. Hierfür stehen derzeit weder eine ausreichende Datengrundlage noch allgemein anerkannte Kriterien und Indikatoren zur Verfügung. Der Ökologische Landbau mit dem systemischen Ansatz in seinen Prinzipien (z.B. möglichst geschlossene Nährstoffkreisläufe u.dgl.) kann jedoch als exemplarische Grundlage für ein nachhaltiges System betrachtet werden. Die Diskussion um die Frage des Zusammenspiels einer nachhaltigen Landwirtschaft zu anderen, damit in Bezug stehenden Sektoren (z.B. Energie) steht allerdings ebenfalls erst am Anfang.

In dieser Studie werden jedoch sozio-ökonomische Zusammenhänge, die wesentlich mitbestimmen, ob eine bestimmte Alternative in der Praxis umgesetzt wird oder nicht, diskutiert. In

einer „Machbarkeitsanalyse“ wird aufgezeigt, wie vielseitig und voneinander abhängig die Faktoren (wirtschaftliche Gegebenheiten bis hin zu ethischen Überzeugungen) sind, die die Möglichkeiten der Umsetzung von Alternativen in der Praxis beeinflussen und die letztlich bestimmen, welche Methoden sich durchsetzen.

2 FALLBEISPIEL UNKRAUTBEKÄMPFUNG BEI RAPS

Tabelle 1: Biologische Grundlagen von Raps (*Brassica napus*)

Taxonomie	Familie: Brassicaceae (Kruziferen), Gattung: Brassica, Art : <i>Brassica napus</i> L. var. <i>napus</i>
geographische Verbreitung, verwandte Arten, Anbaugebiete	Raps ging im Mittelalter als Hybride von Rübsen (<i>B. rapa</i>) und Gemüsekohl (<i>B. oleracea</i>) hervor. Rübsen stammt aus Europa und Asien, während Gemüsekohl ursprünglich an Küstenregionen des Mittelmeeres und des Atlantiks beheimatet war. Raps ist in Mitteleuropa mit einigen Ackerwildkräutern kreuzbar: u.a. Ruderalraps (<i>B. napus</i>), Rübsen (<i>B. rapa</i>), Hederich (<i>Raphanus raphanistrum</i>), Schmalblatt-Doppelrauke (<i>Diploaxis tenuifolia</i>) und Ackersenf (<i>Sinapis arvensis</i>). Ruderalraps kann in Mitteleuropa außerhalb des Ackers eigenständige Populationen aufbauen (PASCHER et al. 2000) und kommt verwildert auf Ruderalflächen vor.
Blühbiologie	Raps ist fakultativer Fremdbefruchter, wobei der Fremdbefruchtungsanteil bei ca. 25 % - 60 % (HOFFMANN et al. 1985) liegt. Je nach Sorte können deutliche Schwankungen auftreten. Die Befruchtung erfolgt durch den Wind und durch Insekten. Blütenpollen und Nektar werden von den Bienen gesammelt.
Pollenreich- weite	Insektenbefruchtung: 2-4 km, Windbefruchtung: bis zu 2,5 km bei männlich sterilen Sorten

2.1 Grundlagen des Rapsanbaus

Die in Europa verbreitetste Anbauform des Raps ist der Winterraps. Sommerraps wird in Mittel- und Nordeuropa im deutlich geringerem Ausmaß (bis zu 10 %) angebaut. Die Aussaat von Winterraps erfolgt in der zweiten Augushälfte und hat ein enges Anbaufenster. Er muss vor der Winterruhe das 6-8 Blattstadium erreicht haben, um erfolgreich den Winter zu überstehen. Ein tiefgründiger Boden und ein guter Wasserhaushalt sind für den Raps von Vorteil. In trockenen Lagen, wie beispielsweise dem Pannonicum im Osten Österreichs, stößt Raps an seine Anbaugrenzen. Der Anspruch an die Nährstoffversorgung (z.B. mit Stickstoff) ist hoch. Raps wird fast ausschließlich zu Ölen (Speiseöle, technische Öle) verarbeitet. Der bei der Pressung anfallende Rapsschrot findet als Futtermittel Verwendung. Zunehmend an Bedeutung gewinnt der Anbau von Raps zur Herstellung von Raps-Methyl-Ester (RME) für die Produktion von „Biodiesel“, der auch auf Stilllegungsflächen angebaut werden darf. Gründüngungsrap wird ebenfalls verstärkt angebaut.

2.1.1 Wichtige Krankheiten und Schädlinge

Ertragseinbußen bei Raps werden vor allem durch Schädlinge verursacht. In einzelnen Jahren kann der Rapsanbau auch durch Pilzkrankheiten bedeutende Ertragsausfälle erfahren. Die bedeutendsten Schädlinge sind Ackerschnecken, Rapserdfloh, Rapsstängelrüssler, Rapsglanzkäfer und Kohlschotenrüssler. Krankheiten, wie z.B. Kohlhernie, Wurzelhals und Stängelfäule, Rapswelke und Weißstängeligkeit (Rapskrebs), können Raps ebenfalls in stärkerem Ausmaß schädigen. Möglichkeiten des vorbeugenden Pflanzenschutzes liegen in der Einhaltung einer mindestens fünfjährigen Anbaupause von Raps und anderen Kreuzblütlern, in der Wahl widerstandsfähiger Sorten gegen Pilze, sowie früh blühender Sorten gegen Rapsglanzkäfer und Kohlschotenrüssler. Als direkte Bekämpfungsmaßnahmen stehen sowohl chemisch synthetische Insektizide als auch z.T. biologische Bekämpfungsmittel zur Verfügung.

2.1.2 Unkrautdruck im Rapsanbau

Unkräuter konkurrieren mit Kulturpflanzen um die Faktoren Licht, Nährstoffe, Wasser und Raum und können auf diese Weise das Wachstum und das Ertragspotential der Kulturpflanze beeinträchtigen. Neben diesen grundsätzlich negativen Aspekten haben Unkräuter auch positive Effekte, wie beispielsweise die Förderung von Nützlingen und den Erosionsschutz. Ziel ist es, durch Unkrautregulierungsmaßnahmen den Unkrautdruck in der kritischen Phase der Kulturentwicklung zu minimieren. Dadurch wird der Kulturpflanze ein entscheidender Wachstumsvorsprung gesichert, der es ihr ermöglicht, durch Beschattung und größere Wurzelausdehnung das Wachstum der Unkräuter zu schwächen. Im Vergleich zu Getreide ist Raps konkurrenzfähiger gegen Unkraut. In der Regel ist Raps eine schnell wachsende, stark Unkraut unterdrückende Kultur. Trotzdem treten manche Herbstkeimer (wie z.B. Ackerfuchsschwanz, Hirtentäschel, Taubnessel, Ehrenpreis oder Klettenlabkraut) so stark auf, dass eine Unkrautbekämpfung notwendig ist. Faktoren, die die Konkurrenzkraft von Raps beeinträchtigen können, sind: Spät-, Dünnsaat, unregelmäßiger Aufgang, Frostschäden, Insekten- und Schneckenfraß (DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994).

2.2 Lösungsansätze in der Unkrautbekämpfung

2.2.1 Standardmaßnahme gegen Unkräuter - Herbizideinsatz

Die Standardmaßnahme gegen Unkräuter in der konventionellen Landwirtschaft ist die Applikation von Herbiziden. Circa 80 – 90 % der Landwirte wenden diese Maßnahme an. Bei den Herbiziden unterscheidet man zwischen blatt- und bodenwirksamen Herbiziden. Blattherbizide wirken ausschließlich über das Blatt und erfassen damit nur jene Unkräuter, die bereits zur Zeit

der Behandlung aufgelaufen sind. Später auflaufende Unkräuter können mit bodenwirksamen Herbiziden erfasst werden, die mehrere Tage und Wochen wirksam bleiben können.

Der Einsatz von Herbiziden richtet sich je nach Standort und den dort vorherrschenden Problemunkläutern bzw. auftretenden resistenten Unkräutern. In vielen Fällen wird eine Kombination selektiver Herbizide (Tankmischungen) ausgebracht. In der Regel wird im frühen Nachauflauf eine Applikation mit sowohl Blatt- als auch bodenwirksamen Herbiziden, beispielsweise mit Butisan TOP (Metazachlor 750g/ha + Quinmerac 250g/ha), durchgeführt (vergleiche dazu GEHRING 2000).

2.2.2 Alternativen zum Einsatz von Herbiziden im Rapsanbau

Mechanische Unkrautbekämpfung

Die mechanische Unkrautbekämpfung im Rapsanbau wird im konventionellen Landbau im Gegensatz zum Ökologische Landbau (siehe 2.2.4) nur noch sehr selten durchgeführt. Ursachen hierfür liegen in der Arbeitsökonomie, da die mechanische Unkrautbekämpfung ein bis zwei Arbeitsgänge mehr erfordert sowie entsprechendes Know-how und Geschick der Durchführung der Unkrautregulierung erfordert.

2.2.3 Unkrautbekämpfung mit herbizidtolerantem Raps

In der EU sind auf Basis der Richtlinie 90/220/EWG folgende Raps-Linien zugelassen: Zwei Winter-Raps Hybride MS1, RF1 und MS1, RF2 (System zur Erzeugung von Hybridsaatgut mit Toleranz gegen Herbizide mit dem Wirkstoff Phosphinothricin) und ein glufosinat-resistenter Sommerraps (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera*) für den Import in die EU und die Verarbeitung.

Glufosinat-Amonium ist ein nicht selektiv wirkendes Herbizid und wird unter folgenden Namen vertrieben: Basta, Liberty, Ignite (WEEDSCIENCE 2002).), und hat dadurch ein deutlich breiteres Wirkungsspektrum als selektive Herbizide. Nicht-selektive Herbizide wirken deshalb auch gegen Kulturpflanzen und können nur dort eingesetzt werden, wo durch gentechnische oder andere Methoden die Resistenzeigenschaft auf die Kulturpflanze übertragen worden ist. Im Winterrapsanbau werden für Deutschland je eine Behandlung im Herbst und Frühjahr empfohlen (GEHRING 2000, BBA 2000).

In Vergleichsversuchen mit konventionellen Applikationen erzielten die unterschiedlichen Glufosinat-Anwendungen ein sehr differenziertes Wirkungsergebnis. Hierbei waren auch die spezifischen Standortbedingungen ausschlaggebend. Die sichersten Bekämpfungserfolge wurden mit Zweifachbehandlungen erzielt. Bei Einfachbehandlungen war das Unkrautspektrum, die Unkrautentwicklung und die jeweils eingesetzte Aufwandmenge entscheidend. Im Mittel der Ver-

suche war eine Aufwandmenge von 549 – 640 g/ha Glufosinat für einen befriedigenden Bekämpfungserfolg ausreichend. Die Versuchsergebnisse bestätigten eine vergleichsweise hohe Anwendungsflexibilität bei der Unkrautbekämpfung. Es zeigte sich außerdem, dass starre Anwendungskonzepte keinen sicheren Bekämpfungserfolg ermöglichen (GEHRING 2000). Zur Problematik der Wirkungslücken beim Einsatz von Glufosinat im Rapsanbau sei hier auf Kapitel 2.3.2 verwiesen.

2.2.4 Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau

Es sind vor allem Schädlinge, die den Raps für den Ökologischen Landbau bisher wenig attraktiv gemacht haben. Aber auch die begrenzte Verfügbarkeit von organischen Düngemitteln macht den Anbau der Pflanze, die viel Stickstoff benötigt, nicht einfach und auch Ausfallgetreide kann in der Rapskultur zum Problem werden. Im Ökologischen Landbau ist im Gegensatz zur konventionellen Landwirtschaft ein Mindestbesatz an Beikräutern ausdrücklich erwünscht. Neben der nachteiligen Konkurrenz mit den Kulturpflanzen um Nährstoffe, Wasser und Licht gibt es auch eine Reihe positiver Effekte von Unkräutern (vergleiche dazu HERRMANN und PLAKOLM 1993, DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994).

Die Unkrautbekämpfung im ökologischen Rapsanbau erfolgt durch eine intensive Stoppelbearbeitung vor der Pflugfurche, um Ausfallgetreide zurückzudrängen. Zwischen Pflugfurche und Aussaat sollte genügend Zeit für eine sorgfältige Saatbettbereitung liegen, die ein wesentlicher Baustein der Unkrautbekämpfung ist. Kurz nach dem Auflaufen von Raps kann gehackt werden, wobei beim ersten Durchgang möglichst nah an der Saatreihe gehackt werden muss. Bei den nachfolgenden Durchgängen sollte so schnell gefahren werden, dass der dabei entstehende Häufeleffekt das Unkraut in der Reihe zudeckt. Da Raps im Biolandbau kaum angebaut wird, gibt es keine spezifischen Erfahrungen mit Rapsanbau auf sandigen Böden. Für den Getreideanbau, der als Vergleich herangezogen werden kann, lässt sich jedoch sagen, dass auch auf leichten sandigen Böden eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung mit pflugloser Bodenbearbeitung durchgeführt werden kann. Es handelt sich hierbei um ein sehr ausgeklügeltes, ineinandergreifendes Anbauverfahren, das die Betriebsleiter für ihren Standort individuell entwickelt haben (vergleiche dazu NIEMANN 1998).

Abschließend soll noch in allgemeiner Form auf die Bedeutung der Fruchtfolgegestaltung in der Unkrautregulierung hingewiesen werden. Als Beispiel sei hier auf den mehrjährigen Feldfutterbau verwiesen, der ein typischer Bestandteil ökologischer Fruchtfolgen ist und mehrere Funktionen gleichzeitig erfüllt: Futter für das Vieh, Stickstoffversorgung der Fruchtfolge durch Leguminosenanbau und als Nebeneffekt u.a. eine hochwirksame beikrautsanierende Wirkung durch seine Dichte, Wüchsigkeit und Beschattung (NEUERBURG und PADDEL 1992). Ebenso wer-

den Unkräuter im 2 jährigen Kleegrasanbau aufgrund häufiger Schnittnutzung und der hohen Konkurrenzkraft der Feldfutterpflanzen reduziert (KAHNT 1986).

Die Wirkung der Fruchtfolge lässt sich folgendermaßen erklären: Unkräuter sind in ihren Keimzeiten, ihrem Wachstumsrhythmus und ihrer Vermehrung an bestimmte Anbauverfahren für Kulturpflanzen (Winteranbau, Sommeranbau etc.) angepasst. Daher ist die wirkungsvollste vorbeugende Unkrautregulierung die Einhaltung einer vielseitigen und durchdachten Fruchtfolge. Der Wechsel zwischen Futterbau, Hackfrüchten und Getreide verhindert das stärkere Auftreten einzelner angepasster Unkrautarten. Einseitige Fruchtfolgen fördern eine einseitige Unkrautzusammensetzung, während vielseitige Fruchtfolgen eine vielseitige Unkrautzusammensetzung begünstigen, die sich problemloser mechanisch regulieren lässt. Der Zwischenfruchtanbau trägt vor allem durch die zusätzliche Bodenbearbeitung, durch Beschattung und Schnitt sowie durch seine Schnellwüchsigkeit zur Unkrautverminderung bei. Untersaaten haben kaum Effekte auf Unkrautunterdrückung (NEUERBURG und PADDEL 1992).

Der hohe Stellenwert der Fruchtfolge auf die Unkrautentwicklung wird auch in der konventionellen Landwirtschaftsforschung gesehen, wie z.B. folgendes Zitat zeigt:

„Die Fruchtfolge übte einen überragenden Einfluss auf die Dichte und artenmäßige Zusammensetzung der Verunkrautung im Getreide aus, wenn auf die Herbizidanwendung verzichtet wurde. So konnte durch den konsequenten Wechsel von Blatt- und Halmfrucht der Besatz mit *Apera spica-venti* bereits ohne die Anwendung von Herbiziden im Getreide auf niedrigem Niveau gehalten werden... Die Dichte und artenmäßige Zusammensetzung der Verunkrautung hing ferner von der Vorfrucht ab. So trug der anstelle von Winterraps angebaute Sommerraps zu einer beträchtlichen Senkung des Auflaufes von *Apera spica-venti* in der Nachfrucht bei“ (BBA 1997).

2.3 Umweltrelevante Effekte

2.3.1 Umweltrelevante Effekte des Herbizideinsatzes

Herbizid-Austrag in Umweltkompartimente und Herbizid-Abdrift bei Raps

Neben der Versickerung in tiefere Bodenhorizonte bzw. in das Grundwasser werden auch die hohen Verdunstungsverluste der Herbizide von bis zu 90 % binnen 24 Stunden nach der Ausbringung (NEURURER und WOMASTEK 1991, NEURURER und WOMASTEK 1992) und dadurch der Eintrag in die Atmosphäre zunehmend kritisch gesehen. Eine allgemeine Übersicht über die Expositionspfade von Pflanzenschutzmitteln im Allgemeinen und deren schwierige Bewertung wird in Kapitel 8.2 gegeben.

Wirkungen auf Nicht-Zielorganismen

Inwiefern auch Nützlinge durch den Einsatz von Herbiziden im Rapsanbau geschädigt werden, wird hier nicht im Detail diskutiert. Dies ist auch prinzipiell schwierig zu beurteilen. Auf einer Rapsversuchsfläche in Deutschland und in unmittelbarer Umgebung konnten eine Vielzahl an Insekten (49 Schwebfliegenarten, 94 Bienen- und 96 Pflanzenwespenarten) nachgewiesen werden (SAURE et al. 2000). Da sich Toxizitätstest naturgemäß auf wenige Schlüsselarten reduzieren müssen, ist offenkundig, dass nur begrenzt Aussagen von Ökotoxizitätstests abgeleitet werden können. BÖRNER (1997) stellt fest, dass in Versuchen mit Herbiziden sowohl hemmende als auch fördernde Effekte auf die mikrobielle Aktivität des Bodens wie auch auf die Bodenfauna (Regenwürmer, Milben, Collembolen) beobachtet wurden. Es wurde auch eine Verstärkung (in manchen Fällen eine Verminderung) des Befalls durch Krankheitserreger beobachtet. BÖRNER (1997) schränkt jedoch für alle angeführten Nebenwirkungen ein, dass eine Übertragung der meist in Laborversuchen erzielten Ergebnisse auf das Freiland meist nicht bzw. nur ansatzweise möglich ist.

Stabilität der Maßnahmen

Durch den standardmäßigen Herbizideinsatz ergeben sich Probleme mit resistenten Unkräutern bzw. den Folgen von Wirkungslücken. Warum sich Unkräuter trotz des Einsatzes von Herbiziden ausbreiten, kann mehrere Ursachen haben. Jedes Herbizid hat Wirkungslücken, also Unkräuter, die durch das Herbizid nicht oder nur schlecht erfasst werden. Im Schnitt werden von Herbiziden nur 80 bis 90 % der Unkräuter erfasst. Daneben können auch noch das Klima und Wachstumsstadien Einfluss auf den Unkrautbesatz haben. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Entwicklung von Resistenzen. Aus einer einzigen, durch Mutation resistent gewordenen Pflanze kann in wenigen Jahren ein resistenter Bestand werden (OMAFRA 2001). Die in den letzten Jahren immer häufiger zu beobachtende Herbizidresistenz schränkt die Zahl der in bestimmten Kulturen einsetzbaren Präparate ein. Verstärkt wird diese Tendenz noch durch das Auftreten von Kreuzresistenz (darunter versteht man die Resistenz einer Unkrautart gegen mehr als einen Wirkstoff), die dazu führen kann, dass auch Verbindungen aus unterschiedlichen Wirkstoffgruppen keinen ausreichenden Effekt mehr zeigen (BÖRNER 1997).

WEEDSCIENCE (2002) listet (mit Stand 20.05.2002) in Summe 156 resistente Unkrautarten (94 dikotyle und 62 monokotyle Arten) auf. So sind z.B. für die Herbizide Atrazin 63 und für 2,4-D 21 resistente Unkrautarten bekannt. Für den im Rapsanbau häufig verwendeten Wirkstoff Metazachlor der Gruppe Chloroacetamide werden 2 resistente Unkrautarten aus China, Thailand und Australien angeführt. Für diesen Wirkstoff finden sich keine Einträge aus Europa in dieser Datenbank.

Die derzeitige Praxis des chemischen Pflanzenschutzes, die in immer kürzeren Abständen zu Resistenzen bei Unkräutern führt, hat natürlich ökologische wie auch ökonomische Schatten-

seiten. Die Suche nach neuen Wirkstoffen wurde und wird immer aufwendiger und dadurch auch teurer. Insbesondere im Bereich der Herbizide wurde die Suche nach neuen Wirkstoffen sehr kostspielig, denn der Wirkstoff muss eine Reihe von Kriterien erfüllen. Er muss wirksam sein - also möglichst viele Unkräuter gut erfassen d.h. abtöten. Er darf jedoch die Kulturpflanze nicht oder lediglich im sehr geringen Umfang schädigen. Zudem muss der Stoff leicht abbaubar sein, darf nicht in das Grundwasser ausgewaschen werden und muss human- und ökotoxikologisch unbedenklich sein. Aus Kostengründen wird die Züchtung auf Herbizidresistenz forciert, da es günstiger ist, herbizidtolerante Pflanzen für bestehende Wirkstoffe zu züchten, als neue wirksame Substanzen gegen Problemunkräuter zu entwickeln (BECKER 1993).

2.3.2 Umweltrelevante Effekte des Einsatzes von herbizidtolerantem Raps

Pflanzenschutzmitteleinsatz

Der Haupteinsatz von Pflanzenschutzmitteln bei Raps liegt im Einsatz von Insektiziden. Herbizidtoleranter Raps hat keinen Einfluss auf die Verminderung des Einsatzes von Insektiziden. Im Bereich der Herbizide wird vielfach angemerkt, dass die Wirkstoffe Glyphosat und Glufosinat aufgrund ihrer günstigen ökologischen Eigenschaften den Naturhaushalt entlasten (HOMMEL und PALLUTT 2000). Die Herbizidvarianten in Raps (Liberty, Butisan Top, Fusilade Me) und Mais (Liberty, Gardoprimum, Lantagran) wurden hinsichtlich ihrer biologischen Risikopotentiale für Regenwürmer, Daphnien, Fische und Algen auf der Grundlage des Modells SYNOPS eingeschätzt. Hierbei zeigte sich eine deutliche Überlegenheit des Wirkstoffs Glufosinat gegenüber den anderen Wirkstoffen (BBA 2000).

Weiter wird angemerkt, dass durch die ausschließliche Wirkung über das Blatt, ein späterer Neuaufbau zur Verbesserung der ökologischen Situation beitragen könnte, wenn nicht ein weitere Herbizidanwendung erforderlich wäre (HOMMEL und PALLUTT 2000). Aufgrund von Wirkungslücken (siehe unten), dürften diese Vorteile kaum realisiert werden können, denn zum Schließen der Wirkungslücken wird ein Zusatz von schwefelsaurem Ammoniak oder von Graminid empfohlen (GARBE et al. 2000). Die ökotoxikologischen Vorteile z.B. von Glyphosat sind nicht unumstritten. Glyphosat hemmt die EPSPS-Synthese (EPSPS 5-Enolpyruvat-Shikimat-3-Phosphat-Synthese) Dieses Enzym nimmt im Shikinsäurezyklus eine bedeutende Stellung bei der Synthese von aromatischen Aminosäuren ein. Der Shikinsäurezyklus kommt nicht nur bei Pflanzen, sondern auch bei vielen Pilzen, Bakterien und Algen und anderen heterotrophen Mikroorganismen vor. Zudem kann Glyphosat auch ins Grundwasser gelangen sofern es nicht an Tonminerale und Humuspartikeln gebunden wird. PECHLAHNER (2002) befürchtet, dass Mikroorganismenpopulationen und mit ihnen verbunden Systemfunktionen erheblich beeinträchtigt werden könnten. Daneben könnten Glyphosatrückstände die Pansenmikroben beeinträchtigen.

Stabilität der Maßnahmen

Die Stabilität (langfristige Effizienz) von herbizidtoleranten Rapssorten wird in der Literatur unterschiedlich gesehen. So ermöglicht für HOMMEL und PALLUTT (2000) das breite Wirkungsspektrum der nicht selektiven Herbizide, insbesondere im Rapsanbau, den Verzicht auf zusätzliche Herbizide gegen Getreidedurchwuchs und löst in vielen Gebieten die Probleme mit gewissen Problemunkräutern (z.B. Rauken-Arten). Dieselben Autoren rechnen jedoch beim Anbau mehrerer Kulturen mit gleicher Herbizidresistenz in einer Fruchtfolge mit der „Herausbildung neuer resistenter Unkräuter und einer Zunahme von bereits jetzt schwer zu bekämpfenden Unkräutern (z.B. *Viola arvensis* und *Galium aparine* bei Anwendung von Glufosinat und von z.B. *Polygonum convolvulus* bei Anwendung von Glyphosat)“ (HOMMEL und PALLUTT 2000).

Dass Wirkungslücken auch bereits in 2 jährigen Anbauversuchen zu verstärktem Auftreten von Unkräutern führen können, zeigen folgende Ergebnisse. Besonders deutlich machte sich in einer 2 jährigen Versuchsanordnung im Frühjahr die selektive Wirkung von Basta bemerkbar. Neben dem Ackerstiefmütterchen (*Viola arvensis*) erwiesen sich die vereinzelt auftretenden Arten wie der Windenknöterich (*Polygonum convolvulus*) und die Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) als relativ Basta-unempfindlich. Weitere wenig sensitive Arten sind nach bisheriger Kenntnis u.a. das Klettenlabkraut (*Galium aparine*) und einzelne Gräser (Quecke, Mehrjähriges Weidelgras, Taube Trespe). „Damit deutet sich an, dass die Anwendung von Basta in transgenen Pflanzenbeständen bei insgesamt guter Gesamtunkrautwirkung durchaus zur Selektion einiger weniger empfindlicher Arten führen kann“ (BECKER et al. 2001). GARBE et al. (2000) fanden Wirkungslücken bei Klettenlabkraut (*Galium aparine*), Ackerstiefmütterchen (*Viola arvensis*), Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuoides*), dem Windhalm (*Apera spica-venti*) und in einigen Fällen bei Ausfallgetreide, die sich insbesondere bei fortgeschrittener Entwicklung der Unkräuter zeigten. Der Zusatz von schwefelsaurem Ammoniak oder von Graminizid-Teilmengen konnte diese Wirkungslücken schließen.

Neben den Wirkungslücken stellen Resistenzentwicklungen von ursprünglich sensitiven Arten gegen nicht-selektive Herbizide ein weiteres Problemgebiet in der Herbizidanwendung dar. WEEDSCIENCE (2002) listet für Glyphosat vier resistente Unkrautarten auf (siehe Tabelle 1): Für Glufosinat wurden noch keine resistenten Unkrautarten gefunden.

Tabelle 2: Gegen Glyphosat (Round up) resistente Unkräuter

Unkrautart	Ort	Erstes Auftreten
<i>Conyza canadensis</i>	USA (Delaware)	2000
<i>Eleusine indica</i>	Malaysien	1997
<i>Lolium multiflorum</i>	Chile	2001

Unkrautart	Ort	Erstes Auftreten
<i>Lolium rigidum</i>	Australien (Victoria)	1996
	Australien (New South Wales)	1997
	USA (Kalifornien)	1998
	Südafrika	2001

Neben Wirkungslücken und zu erwartenden Resistenzen wird vor allem bei herbizidtolerantem Raps die Problematik von Rapsdurchwuchs gesehen. „Die Entwicklung von multiresistentem Durchwuchs und die Übertragung der Herbizidresistenz von Raps auf verwandte Unkrautarten können die langfristige Nutzung der Herbizidresistenz gefährden“ (HOMMEL und PALLUTT 2000). Dies wird auch im Bericht von EASTHAM und SWEET (2002) als problematisch eingestuft: *“Gene flow can occur to and from volunteer and feral populations which act as gene pools carrying over the contamination into subsequent crops. Management systems should be used to minimise GM seed spread on a farm and to minimise seed bank and volunteer populations“*.

Problematisch ist hier vor allem die lange Keimfähigkeit von Rapssamen im Boden. Vergrabungsversuche mit Rapssamen zeigten, dass Rapssamen mehr als zehn Jahre im Boden überdauern können (SCHLINK 1998). Im Mittel aller Varianten waren nach 10 Jahren noch 0,5 % der Samen keimfähig. Hierbei zeigten frisch vergrabene Samen eine durchschnittlich höhere Überdauerungsrate als Samen, die 6 Wochen nachreifen konnten und danach vergraben wurden. Durch ein gezieltes Nach-Ernte-Management (Umackern gekeimter Rapssamen nach der Ernte) kann nach 5 Jahren die Wahrscheinlichkeit von Rapsdurchwuchs auf einen Durchwuchsraps je 1000 Rapspflanzen (0,1 % bzw. 1 Pflanze auf 100 m² bzw. 100 Pflanzen/ha) reduziert werden (SCP 2001). In einigen Mitgliedsstaaten der EU kann eine Anbaufläche erst nach 7 Jahren Rapsanbaupause für die Produktion von Rapssaatgut verwendet werden (SCP 2001). Zieht man in Betracht, dass auch ohne Rapsanbau ein relativ hohes Potential für die Wiederaussaat durch Rapsdurchwuchs (PEKRUN et al. 1999) besteht und dadurch der Samenvorrat im Boden wieder aufgefüllt wird, so wird ersichtlich, dass Rapsdurchwuchs ein sehr ernst zu nehmendes Problem im Anbau von herbizidtolerantem Raps sein wird. Bei Raps besteht auch die Gefahr, dass mehrere Resistenzen in den Durchwuchsraps einkreuzen können, wie diesbezügliche Erfahrungen aus Kanada mit gegen drei nicht-selektive Herbizide resistentem Durchwuchsraps belegen (HALL et al. 2000).

Auskreuzungspotential - Verbreitungsdynamik von Transgenen¹

¹ Neben dem Begriff „Transgene“ ist auch der englische Begriff „synthetic gene“ gebräuchlich. (CAO 1999; EU-Kommission 1997; EU-Kommission 1998; MOLINA 1992; SCP 1998; SUTTON 1992; WALKER 2000) – v.a. dann,

Die Fremdbefruchtungsrate von Raps liegt bei rund 25 %. Sie erfolgt vornehmlich durch Insekten. Raps ist eine wichtige Pollen- und Nektarquelle für Bienen und Hummeln. SAURE et al. (2000) stufen Honigbienen, Erdhummeln, sowie weitere Sandbienenarten als die wichtigsten Pollinatoren für Raps ein. Daneben sind als Pollenüberträger Schwebfliegen, Pflanzenwespen, Haarmücken, Flurfliegen, Glanz- und Rüsselkäfer sowie Tagfalter zu nennen. Zudem wird Rapspollen durch den Wind verbreitet, wobei bei kühler und feuchter Witterung geringere Pollenmengen in den Pollenfallen registriert werden können als bei warmer und trockener Witterung (SAURE et al. 2000). Die angegebenen Reichweiten für erfolgreiche Befruchtungen bei Raps schwanken bei den durchgeführten Experimenten stark und sind lediglich mit genauer Angabe des experimentellen Designs interpretierbar. Bei Verwendung männlich steriler Rapspflanzen als Empfängerpflanzen wurden deutlich größere Entfernungen für erfolgte Hybridisierung gemessen - 0,8 % in 2,5 km sowie 1,2 % in 1,5 km Entfernung (TIMMONS et al. 1995) und 3,7 % in 360 m Entfernung (TIMMONS et al. 1996) - als bei Verwendung von männlich fertilen Rapspflanzen - 0,6 % bei 366 m (STRINGHAM & DOWNEY, 1978 und 1982 zit. in EASTHAM und SWEET 2002) bzw. einem Zehntel davon nämlich 0,06 % in 400 m (SIMPSON unveröffentlicht zit. in EASTHAM und SWEET 2002). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Frequenz der Hybridisierung letztlich vom Verhältnis des Pollenangebotes (eigener und fremder Herkünfte) abhängt.

Da Raps durch Saatgutverluste, aber auch durch Vögel und Säugetiere verbreitet werden und außerhalb von Kulturlächen eigenständige Populationen aufbauen kann (PASCHER et al. 2000, PESSEL et al. 2001), bleibt die Möglichkeit von Auskreuzungen nicht nur auf die Ackerbauregionen beschränkt. Dadurch wird die Problematik der Auskreuzung in der räumlichen Dimension schlecht eingrenzbar, denn diese Populationen können als „Trittsteine“ fungieren und somit zu einer sehr weitreichenden Verbreitung von Transgenen in natürlichen Populationen führen.

Raps besitzt zahlreiche nahe verwandte Arten, mit denen Hybridisierung potentiell möglich ist und in einigen Fällen bereits unter Labor- und/oder auch spontan unter Freilandbedingungen nachgewiesen werden konnte (KERLAN et al. 1992, EBER et al. 1994, JØRGENSEN 1999, SCHEFFLER & DALE 1994, LEFOL et al. 1995, JØRGENSEN et al. 1996, MIKKELSEN et al. 1996, CHÉVRE et al. 1997, DARMENCY et al. 1998, u.a.). Die Arten, die aufgrund der Nähe ihrer Verwandtschaft zu Raps, ihres Vorkommens in Anbauregionen von Raps und ihrer Frequenz die höchste Relevanz in Mitteleuropa besitzen (vergl. dazu auch PASCHER et al. 2000), sind Ru-

wenn nicht nur von rekombinanten Genen (Gene, bei denen Teilkomponenten aus verschiedenen Organismen stammen; z.B. Promotoren, Enhancer, Expressionsequenz), sondern von modifizierten Genen (Gene, bei denen neben der Rekombination der Teilkomponenten auch die Expressionssequenz durch Verkürzung oder Austausch von Basenpaaren verändert wurde) die Rede ist. Der Begriff „synthetic gene“ verdeutlicht, dass die in Pflanzen durch Gentechnik eingebrachten Gensequenzen in dieser Zusammensetzung nicht natürlich vorkommen.

deralpopulationen von *Brassica napus* (Ruderalraps), *B. oleracea* (Gemüse-Kohl, Wildformen an den Atlantikküsten Westeuropas), *B. rapa* (Rübsen), *Diplotaxis tenuifolia* (Schmalblatt-Doppelrauke), *Hirschfeldia incana* (Rempe), *Raphanus raphanistrum* (Hederich) und *Sinapis arvensis* (Ackersenf). Zudem sind beispielsweise auch folgende Kulturpflanzen mit Raps potentiell kreuzbar: *Brassica oleracea* („Gemüsekohl“, dazu gehören z.B. auch Weiß- und Rotkraut, Kohlrabi und Blumenkohl), *Raphanus sativus* („Gartenrettich“, dazu gehören u.a. Radieschen und Schwarzer Rettich), *Sinapis alba* (Weißer Senf), *Brassica nigra* (Schwarzer Senf – in Österreich und Deutschland selten), u.a. (vollständige Auflistung siehe PASCHER et al. 2000).

Zudem besteht die Gefahr, dass über „Brückenbildungen“ zwischen verwandten Arten die Ausbreitung von Transgenen auch auf Pflanzenarten ermöglicht wird, die mit Raps nicht direkt kreuzbar sind (PASCHER et al. 2000). Auch in geringem Maße nachteilig wirkende Transgene werden sich nach Modellberechnungen langfristig in natürlichen Populationen etablieren (ADAM und KÖHLER 1996), d.h. persistieren. Aus ökologischer Sicht ist dies von besonderer Bedeutung, da im Schadensfalle persistente Transgene nicht mehr rückholbar sind und die Exposition auch durch einen Anbaustop nicht deutlich vermindert werden kann. Es wurde daher argumentiert, dass gentechnisch veränderte Kulturpflanzen, die ihre Transgene an verwandte Wildpflanzen weitergeben können, nicht mit dem Grundsatz des vorsorgeorientierten und die Unsicherheit in der Risikoabschätzung berücksichtigenden Umwelt und Naturschutzes vereinbar sind (vergleiche dazu MÜLLER 2001).

2.3.3 Umweltrelevante Effekte der Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau

Die Entwicklung von - gegenüber der mechanische Unkrautbekämpfung - unempfindlichen Unkrautarten, ist denkbar. Der wesentliche Einfluss auf die Eindämmung von Unkräutern wird jedoch über die Fruchtfolge erreicht, die wenn sie vielfältig gewählt wird, der Unkrautflora kaum Möglichkeiten zur Anpassung bietet.

Die deutlichsten Vorteile des Ökologischen Landbaus sind die 100%ige Einsparung von Herbiziden sowie Insektiziden. Ein deutlicher Vorteil liegt in der höheren Artendiversität der Unkrautflora, wobei im konventionellen Landbau dominierende Arten (z.B. Gänsefußarten) insgesamt eine weniger dominante Stellung im Unkrautspektrum aufweisen. Der Unkrautdruck (die Individuendichte) war im ca. 10jährigen Dauerversuch gegenüber der chemischen Unkrautbekämpfung und Bodenbearbeitung mit Pflug deutlich höher, jedoch im Vergleich zur bodenschonenden Variante (Herbizideinsatz, plugloses Anbauverfahren) in etwa gleich (SPRENGER 2002). Die mechanische Unkrautbekämpfung benötigt zusätzlich ein bis zwei Arbeitsgänge und führt zu etwas höheren (nachteiligen) Dieselemissionen. Durch das Fehlen von direkten Bekämpfungsmitteln sind in Jahren mit starkem Schädlingsdruck erhebliche Ertragseinbußen zu verzeichnen.

Die Vorteile des Verzichtes auf Pflanzenschutzmittel (PSM) und Schwierigkeiten der Bewertung werden in Kapitel 8.2 aufgezeigt.

2.4 Fazit

Herbizidtoleranter Raps ist ein möglicher Ansatz zur Regulierung von Unkräutern. Aus ökotoxikologischer Sicht werden Glufosinat und Glyphosat günstiger als andere selektive Herbizide bewertet. Die zentralen Probleme der chemischen Unkrautbekämpfung wie Resistenzentwicklung, Wirkungslücken und resistenter Durchwuchsraps werden durch den Einsatz des herbizidtoleranten Raps nicht gelöst. Im Bereich des Durchwuchsraps werden die Probleme eher verschärft. Ebenso könnten verwandte Unkrautarten rascher resistent werden, da monogene Herbizidresistenzen, leichter auskreuzen können als jene durch konventionelle Züchtung erzielte polygene Herbizidresistenz. Aus diesem Grund ist fraglich, umweltentlastende Effekte sich über mehrere Jahre erzielen lassen. Doch auch die Ökotoxizität nicht selektiver Herbizide wird zumindest für das nicht-selektive Herbizid Glyphosat in Zweifel gezogen. Zudem kommt hinzu, dass Herbizide weiträumig verfrachtet werden können (siehe 8.2.3).

Für die konventionelle Landwirtschaft ist der Insektizideinsatz im Rapsanbau noch problematischer als der Herbizideinsatz hinsichtlich Umweltbelastung einzustufen. Herbizidtoleranter Raps leistet keinen Beitrag zur Reduzierung des Insektizideinsatz. Dem geringen Einsparungspotential an Pflanzenschutzmitteln durch herbizidtoleranten Raps steht ein erhebliches Schädigungspotential bedingt durch die Verbreitung von Transgenen in natürlichen Genpools gegenüber. Weiträumige Ausbreitung von Transgenen erfolgt einerseits durch Samentransport von Tieren und Vögeln sowie durch Pollenflug. Die Halbwertszeit der Transgene beträgt wahrscheinlich mehrere Jahrhunderte und übertrifft damit die der persistentesten Chemikalien bei weitem. Im Schadensfall können sie mehr zurückgeholt werden. Da die Ökotoxizitätsprüfung niemals vollständig sein kann (uncertainty) sollte persistente genetische Verschmutzung per se als Schaden anerkannt werden. Dies wird im folgendem Zitat bezüglich persistente Chemikalien deutlich:

„Ferner, selbst wenn ein ideales Prüfsystem möglich wäre, könnte dieses notwendigerweise immer nur den jeweiligen Stand des Wissens widerspiegeln; persistente Chemikalien verbleiben jedoch sehr lange in der Umwelt und sind, besonders bei molekularer, ubiquitärer Verteilung nicht rückholbar. Wenn also zu einem späteren Zeitpunkt eine Schadwirkung erkannt wird, kann die Exposition nicht beendet werden! Das Argument lautet also: Die Persistenz steht stellvertretend für die prinzipiell niemals völlig sicher zu ermittelnde Ökotoxizität. Persistente Substanzen sollten daher prinzipiell nicht in die Umwelt entlassen, also der Kontrolle durch den

Menschen entzogen werden. Besondere Aufmerksamkeit ist geboten, wenn neben der Persistenz auch die Kriterien Akkumulierbarkeit und Mobilität erfüllt sind“ (KLÖPFFER 1994).

Im Ökologischen Landbau ist die Unkrautbekämpfung im Rapsanbau unproblematisch, da Raps starke Konkurrenzkraft besitzt. Als limitierender Faktor für einen Ökologischen Rapsanbau erweist sich immer noch der Schädlingsdruck durch eine Vielzahl von Insekten. Doch vielversprechende Ansätze in der direkten bzw. indirekten Insektenregulierung zeigen auch hier das Potential der Weiterentwicklung auf. Durch den Verzicht auf den Einsatz von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln ist der Anbau von Bioraps der umweltverträglichste Ansatz der Rapsproduktion.

2.5 Literatur

- ADAM K.D., KÖHLER W.H. 1996: Evolutionary genetic considerations on the goal and risks in releasing transgenic crops. In: Tomiuk J, Wöhrman K, Sentker A (Hg.) Transgenic Organisms: Biological and Social Implications. pp. 59-80, Birkhäuser, Basel.
- BBA 1997: Jahresbericht 1997 - Institut für integrierten Pflanzenschutz in Kleinmachnow. Biol. Bundesanst. f. Land-Forstwirtschaft Braunschweig (BBA) .
- BBA 2000: Jahresbericht 2000 Institut für integrierten Pflanzenschutz in Kleinmachnow. Biol. Bundesanst. f. Land-Forstwirtschaft Braunschweig (BBA).
- BECKER H. 1993: Pflanzenzüchtung. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- BECKER R., ULRICH A., HEDTKE C., HONERMEIER B. 2001: Einfluss des Anbaus von transgenem herbizidresistentem Raps auf das Agrar-Ökosystem. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 44: 159-167.
- BÖRNER H. 1997: Unkrautbekämpfung. In: Keller E, Hanus H, Heyland K (Hg.) Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. pp. 362-393. (p. 378ff)
- CAO J.; TANG J.D.; STRIZHOV N.; SHELTON A.M., EARLE E.D. (1999): Transgenic broccoli with high levels of *Bacillus thuringiensis* Cry1C protein control diamondback moth larvae resistant to Cry1A or Cry1C. *Molecular Breeding*, 5(2): 131-141.
- CHÉVRE A.-M., EBER F., BARANGER A., RENARD M. 1997: Gene flow from transgenic crops. *Nature*, Vol. 389/30: 924.
- DARMENCY H., LEFOL E., FLEURY A. 1998: Spontaneous hybridization between oilseed rape and wild radish. *Molecular Ecology* 7: 1.467-1.473.
- DIERAUER H., STÖPPLER-ZIMMER H. 1994: Unkrautregulierung ohne Chemie. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, (p. 100ff)
- EASTHAM K., SWEET J. 2002: Genetically modified organisms (GMOs): The significance of gene flow through pollen transfer. Report, Environmental issue report No 28, A review and interpretation of published literature and recent/current research from the ESF 'Assessing the Impact of GM Plants' (AIGM) programme for the European Science Foundation and the European Environment Agency, (p.17ff, p.59ff).

- EBER F., CHEVRE A.M., BARANGER A., VALLEE P., TANGUY X., RENARD M. 1994: Spontaneous hybridization between a male-sterile oilseed rape and two weeds. *Theor. Appl. Genet.* 88: 362-368.
- EU-KOMMISSION (1997): ENTSCHEIDUNG DER KOMMISSION vom 23. Januar 1997 über das Inverkehrbringen von genetisch eränderten Mais (*Zea Mays* L.) mit der kombinierten Veränderung der Insektizidwirkung des BT-Endotoxin-Gens und erhöhter Toleranz gegenüber dem Herbizid Glufosinatammonium gemäß der Richtlinie 90/220/EWG des Rates (Text von Bedeutung für den EWR) (97/98/EG) (EVENT 176).1.2.97 DE Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 31/69
- EU-KOMMISSION (1998): ENTSCHEIDUNG DER KOMMISSION vom 22. April 1998 über das Inverkehrbringen von genetisch verändertem Mais (*Zea mays* L., Linie Bt-11) gemäß der Richtlinie 90/220/EWG des Rates (Text von Bedeutung für den EWR) (98/292/EG).Nr. L 131/28 DE Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 5.5.98
- GARBE V., SAUERMANN W., BÖTGER H., BROSCHEWITZ B., AUGUSTIN B., STELLING D., GLESER H., GEHRING K. 2000: Einsatzmöglichkeiten von Unkrautschadensschwellen in transgenen herbizidtoleranten Winterraps. 376: 157, 52. Deutsche Pflanzenschutztagung, Freising Weißenstephan.
- GEHRING K. 2000: Unkrautregulierung in herbizidresistenten Winterraps mit Glufosinat-Ammonium. 376: 157, 52. Deutsche Pflanzenschutztagung, Freising Weißenstephan.
- HALL L., TOPINKA K., HUFFMAN J., DAVIS L., GOOD A. 2000: Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Science* 48: 688-694.
- HERRMANN G., PLAKOLM G. 1993: Ökologischer Landbau - Grundwissen für die Praxis. Österr. Agrarverlag, Wien.
- HOFFMANN W., MUDRA P., PLARRE W. 1985: Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Verlag Paul Parey, (p. 294ff)
- HOMMEL B., PALLUTT B. 2000: Bewertung der transgenen Herbizidresistenz aus der Sicht des integrierten Pflanzenschutzes. 376: 152, 52. Deutsche Pflanzenschutztagung, Freising Weißenstephan.
- JØRGENSEN R.B. 1999: Gene flow from oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. In: Lutman PJW (Hg.) *Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops*. pp. 117-123, British Crop Protection Council.
- JØRGENSEN R.B., HAUSER T., MIKKELSEN T.R., ØSTERGÅRD H. 1996: Transfer of engineered genes from crop to wild plants. *Trends in Plant Science*, Vol.1, No.10, perspectives: 356-358.
- KAHNT G. 1986: Biologischer Pflanzenbau - Möglichkeiten und Grenzen biologischer Anbausysteme. Ulmer Verlag.
- KERLAN M.C., CHÈVRE A.M., EBER F., BARANGER A., RENARD M. 1992: Risk assessment of outcrossing of transgenic rapeseed to related species: I. Interspecific hybrid production under optimal conditions with emphasis on pollination and fertilization. *Euphytica* 62: 145-153.
- KLÖPFER W. 1994: Kriterien zur Umweltbewertung von Einzelstoffen und Stoffgruppen. *UWSF-Z. Umweltchem.Ökotox.* 6(2): 61-63.
- LEFOL E., DANIELOU V., DARMENCY H., BOUCHER F., MAILLET J., RENARD M. 1995: Gene dispersal from transgenic crops. I. Growth of interspecific hybrids between oilseed rape and the wild hoary mustard. *Journal of Applied Ecology* 32: 805-808.
- MIKKELSEN T.R., ANDERSEN B., JØRGENSEN R.B. 1996: The risk of crop transgene spread. *Nature*, Vol. 380: 31.

- MOLINA M.A.; AVILES F.X., QUEROL E. (1992): Expression of a synthetic gene encoding potato carboxypeptidase inhibitor using a bacterial secretion vector. *Gene*, 116(2): 129-138.
- MÜLLER W. 2001: Uncertainty - vorsorgeorientierte Risikoabschätzung von GVO - Vorarbeiten zur Implementierung des Konzepts "uncertainty" in die EU-Richtlinie 90/220/EWG. Wissenschaft & Umwelt Spezial, Forum Österreichischer Wissenschaftler für Umweltschutz - Wien, Gefördert durch das Bundesministerium f. Umwelt, Jugend und Familie.
- NEUERBURG W., PADDEL S. 1992: Organisch-biologischer Landbau in der Praxis. Verlagsunion Agrar, (zit. von S.108ff).
- NEURURER H., WOMASTEK R. 1991: Über das Auftreten von Pflanzenschutzmitteln in der Luft. *Bodenkultur* 42(1): 57-70.
- NEURURER H., WOMASTEK R. 1992: Mögliche Umweltbelastung durch Abdrift oder Verdunstung von Pflanzenschutzmitteln. In: Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (Hg.) 48. *Deutsche Pflanzenschutz-Tagung in Göttingen 5.-8. Oktober 1992*. pp. 123.
- NIEMANN H. 1998: Begleitpflanzen im ökologischen Getreidebau – Regulieren oder Kultivieren. *Ökologische Konzepte* 93 Deukalion Verlag.
- OMAFRA 2001: Herbicide resistant weeds. Ministry of Agriculture and Food Ontario <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/crops/facts/01-023.htm>
- PASCHER K., MACALKA-KAMPFER S., REINER H. 2000: Vegetationsökologische und genetische Grundlagen für die Risikobeurteilung von Freisetzen von transgenem Raps und Vorschläge für ein Monitoring. Bundesministerium f. soziale Sicherheit und Generationen, Forschungsberichte 7/2000, (p.131ff).
- PECHLAHNER R. 2002: Risk for the survival of microorganisms due to the herbicide application on glyphosate-resistant GMOs. 12th Annual Meeting of SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) Europe, 10 - 16 May Vienna Austria, Poster
- PEKRUN C., LANE P.W., LUTMAN P.J.W. 1999: Modelling the potential for gene escape in oilseed rape via the soil seedbank: its relevance for genetically modified cultivars. In: Lutman PJW (Hg.) *Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops*. pp. 101-106, British Crop Protection Council.
- PESEL F., LECOMTE J., EMERIAU V., KROUTI M., MESSEAN A., GOUYON P. 2001: Persistence of oilseed rape (*Brassica napus* L.) outside of cultivated fields. *Theoretical and Applied Genetics* 102 (6/7): 841-846.
- SAURE C., KÜHNE S., HOMMEL B. 2000: Bewertung der insekten- und windbedingten Pollenübertragungen von gentechnisch verändertem Raps auf artverwandte Kreuzblütler. *Mitt. Biol. Bundesanst. f. Land-Forstwirtschaft*. 376: 157, 52. Deutsche Pflanzenschutztagung, Freising Weihenstephan.
- SCHEFFLER J.A., DALE P.J. 1994: Opportunities for gene transfer from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. *Transgenic Research* 3: 263-278.
- SCHLINK S. 1998: 10 Jahre Überdauerung von Rapssamen (*Brassica napus* L.) im Boden. Band 11: 221-222, *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, Wissenschaftlicher Fachverlag.
- SCP (1998): Opinion of the Scientific Committee on Plants regarding the genetically modified cotton, tolerant to glyphosate herbicide notified by the Monsanto Company (notification C/ES/97/01) (Opinion expressed by the SCP on 14 July 1998). European Commission
- SCP 2001: Opinion of the Scientific Committee on Plants concerning the adventitious presence of GM seeds in conventional seeds. (*Opinion adopted by the Committee on 7 March 2001*). SCP/GMO-

- SEED-CONT/002-FINAL. (http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scp/out93_gmo_en.pdf -20pp, European Commission: Health & Consumer Protection Directorate-General.
- SPRENGER B.; BELDE M., ALBRECHT H. 2002: Veränderung der Ackerwildkrautflora durch geänderte Anbausysteme und Anbaumethoden.32. Jahrestagung der GFÖ in Cottbus (Präsentation).
- SUTTON D.W.; HAVSTAD P.K., KEMP J.D. (1992): Synthetic cryIIIA gene from *Bacillus thuringiensis* improved for high expression in plants. *Transgenic Res.*, 1(5): 228-236.
- TIMMONS A.M., CHARTERS Y.M., CRAWFORD J.W., BURN D., SCOTT S.E., DUBBELS S.J., WILSON N.J., ROBERTSON A., O'BRIEN E.T., SQUIRE G.R., WILKINSON M.J. 1996: Risks from transgenic crops [letter]. *Nature* 380 (6574): 487.
- TIMMONS A.M., O' BRIEN E.T., CHARTERS Y.M., DUBBELS S.J., WILKINSON M.J. 1995: Assessing the risks of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp. *oleifera*. *Euphytica*. 85: 417-423.
- WALKER D.R.; ALL J.N.; MCPHERSON R.M.; BOERMA H.R., PARROTT W.A. (2000): Field evaluation of soybean engineered with a synthetic cry1Ac transgene for resistance to corn earworm, soybean looper, velvetbean caterpillar (*Lepidoptera: Noctuidae*), and lesser cornstalk borer (*Lepidoptera: Pyralidae*). *J.Econ.Entomol.*, 93(3): 613-622.
- WEEDSCIENCE 2002: Database. International survey of herbicide resistant weeds www.weedscience.org/in.asp

3 FALLBEISPIEL INSEKTENBEFALL BEI MAIS

Tabelle 3: Biologische Grundlagen des Mais (*Zea mays*)

Taxonomie	Ordnung: Poales, Familie Poaceae, Gattung: <i>Zea</i> , Art : <i>Zea mays</i> (=Graminea)
Geographische Verbreitung, verwandte Arten, Anbauggebiete	Die Gattung <i>Zea</i> umfasst neben Mais auch die Teosintearten <i>Zea mexicana</i> und <i>Zea perennis</i> , die mit Mais fertile Hybride bilden können. Der genetischer Ursprung von Mais liegt in Mexiko, Paraguay und Südbrasilien. Sein Anbau erfolgt jedoch weltweit. In Europa gibt es keine wildlebenden verwandten Arten. Maissaat ist nicht winterhart, wodurch auch ein Verwildern von Mais in Mittel- und Nordeuropa nicht zu erwarten ist.
Blühbiologie	Mais ist ein Fremdbefruchter, dessen Befuchtung ausschließlich durch den Wind erfolgt. Der Fremdbefruchtungsanteil liegt zwischen 85 -99 %. Der Pollen ist relativ schwer und wird von Bienen gesammelt. Da jedoch die räumlich getrennten weiblichen Blüten keinen Nektar absondern, ist eine Befruchtung durch Insekten unwahrscheinlich.
Pollenreichweite und Befruchtungsrate	100 m: 0,4 %; 200 m: 0,5 %; 600 m: 0,8 %; 700 und 800 m: 0,2 % (TREU und EMBERLIN 2000)
Nährstoffbedarf	Der Nährstoffbedarf von Mais ist hoch. 85 % des Nährstoffbedarfes bestehen im Zeitraum des 8-Blattstadiums bis zum Eintrocknen der Narbenfäden (Mitte Juli bis Ende August). Der N-Entzug beträgt bei Körnermais 184 kg/h, bei Silomais 210 kg/ha. Mais hat eine gute Gülleverträglichkeit durch eine starke Schleimentwicklung der Wurzel (ZEISCHLER et al. 1990).

3.1 Grundlagen des Maisanbaus

Mais ist nach wie vor der wichtigste Energieträger in der tierischen Produktion. Keine andere Kultur ermöglicht so hohe Energieerträge. Von 1 ha Körnermais können 30 bis 35 Mastschweine gemästet werden (zusätzlich werden nur noch Eiweiß- und Mineralfutter benötigt). Von 1 ha Silomais kann der Jahresgrundfutterbedarf für 3 bis 4 Kühe bereitgestellt werden oder können 6 Mastbullen mit einem Lebendgewicht von 600 kg gemästet werden (zusätzlich werden noch 10 dt Kraftfutter benötigt).

Die entscheidende Pflanzenschutzmaßnahme im Anbauverfahren von Silo- und Körnermais ist die frühzeitige und sichere Kontrolle von Unkräutern und Ungräsern. So beschränken sich die direkten Pflanzenschutzmaßnahmen im Wesentlichen auf die Unkrautbekämpfung mit Herbiziden. Wegen der langsamen Jugendentwicklung und der weiten Reihenabstände ist Mais eine

der unkrautempfindlichsten Kulturpflanzen. Entsprechend seinem Wachstumsrhythmus sind es vor allem die Sommerkeimer wie Hirse, Amaranth und Gänsefuß, die starke Konkurrenz verursachen können (DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994). Zur frühzeitigen Unkrautbekämpfung im Maisanbau gibt es keine sinnvolle ökonomische Alternative. Sie ist Garant für eine ungestörte Jugend- und damit Ertragsentwicklung des Maisbestandes. Ertragsdepressionen in Abhängigkeit von der Verunkrautung müssen möglichst vermieden werden.

Zur Unkrautbekämpfung in der konventionellen Landwirtschaft kann der Landwirt aus einem reichlichen Angebot von über 20 Wirkstoffen in derzeit mehr als 40 Herbiziden wählen. Für jeden Standort muß nach Zusammensetzung und Umfang der Verunkrautung eine individuelle Strategie in der Unkrautbekämpfung entwickelt werden. Gestaltungsmöglichkeiten bieten neben der Mittelwahl die Aufwandmenge, Spritzfolgen sowie die Kombinationseignung der Herbizide nach Wirkungsspektrum und Wirkungsweise (Blatt, Boden).

Die späte Jugendentwicklung verbunden mit dem insgesamt hohen N-Bedarf, dem geringen Nährstoffaneignungsvermögen während den (in Mitteleuropa üblicherweise) regenreichen Monaten Mai-Juni ergibt ein hohes Auswaschungspotential bei Mais. „Der für Mais charakteristische, sehr hohe N-Bedarf während einer kurzen Zeitspanne innerhalb der Vegetationsperiode verursacht häufig höhere N-Austräge, da der Witterungsverlauf nicht vorhersagbar und die meist organische Düngung mit Gülle nur schwer zeitlich korrekt terminiert werden kann.“ (ENTRUP und ZERHUSEN 1992).

Maisanbau im ökologischen Landbau

Im Ökologischen Landbau haben viele Landwirte den Mais auch aus Gründen des Bodenschutzes durch Klee gras ersetzt. Die wirkungsvollste Maßnahme zur Minimierung von Problemunkräutern ist eine durchdachte Fruchtfolge. Als Vorfrucht für Mais eignet sich Wintergetreide, da dieses eine andere Begleitflora mit vorwiegend Herbst- und Frühjahrskeimern aufweist (DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994). Nach dem Klee grasumbruch ist die Unkrautgefahr am geringsten (HERRMANN und PLAKOLM 1993; DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994). Mais steht jedoch hier mit attraktiven Verkaufsfrüchten (z.B. Winterweizen) in Konkurrenz. Nach einem 2 jährigen Klee grasanbau sind die Erträge - aufgrund der Stickstoffixierungsleistung der Leguminosen - generell am höchsten. Der Landwirt trachtet deshalb Kulturen mit dem höchsten Marktwert unmittelbar nach dem Klee gras anzubauen. Günstig auf die Unkrautregulierung hat sich auf vielen Standorten ein Zwischenfruchtanbau z.B. mit Landsberger Gemenge (HERRMANN und PLAKOLM 1993) erwiesen. Im Ökologischen Landbau (wie auch vermehrt im integrierten Anbau) wird heute nicht mehr verlangt, den Mais während der gesamten Vegetationsperiode, sondern lediglich in den empfindlichsten Stadien (2-8 Blattstadium wird in ca. 4 bis 6 Wochen (Juni) durchlaufen) unkrautfrei zu halten. Im Ökologischen Landbau ist der Maisanbau vor allem durch die mechanische Unkrautbekämpfung geprägt, da auch eine

sehr gute Fruchtfolgestellung nicht ausreichend unkrautunterdrückend wirkt. Hierbei kommen vor dem Auflaufen der Striegel und nach dem Auflaufen die Hacke zum Einsatz. In Fällen großen Unkrautdrucks wird auch das Abflammen der Unkräuter empfohlen (DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994).

3.1.1 Wichtige Krankheiten und Schädlinge

Mais zählt bezüglich Schädlingen und Krankheiten zu den pflanzenschutzextensiven Kulturen. Als tierische Schädlinge treten insbesondere die Fritfliege und in jüngster Zeit (in den wärmeren Regionen Deutschlands, aber auch im Oderbruch) auch vermehrt der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*, engl. European corn borer, ECB) auf. In Südeuropa kann *Sesamia nonagrioides* (engl. Mediterranean corn borer) zusätzlich Fraßschäden in größerem Ausmaß an Maiskulturen verursachen. Die bedeutendsten pilzlichen Erkrankungen sind der Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*) und Fusariosen (Stengelfäule, Kolbenfäule). Letztere können v.a. bei enger Maisfruchtfolge ohne ausreichender Stoppelbearbeitung zum Problem werden, weil keine wirkungsvollen Fungizide zur Verfügung stehen und die Beizung nicht zuverlässig ist.

3.1.2 Biologie und Schadenspotential des Maiszünslers

Biologie

Das Verbreitungsgebiet des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*) reicht in Europa von Südspanien, Griechenland, Süditalien (mit 3 Generationen pro Jahr) über Norditalien, Nordspanien, Südfrankreich (mit 2 Generationen pro Jahr) über Österreich, Deutschland, Benelux-Staaten, Südschweden und Südnorwegen mit je einer Generation pro Jahr. Die Höhe des Befallsdrucks und des Schadenspotenzials korreliert naturgemäß positiv mit der Anzahl der Generationen pro Jahr, sodass man von einem Süd-Nord Gefälle sprechen kann. *Sesamia nonagrioides* tritt lediglich in Südeuropa (Spanien, Portugal, Italien, Griechenland sowie Südfrankreich) als bekämpfungswürdiger Massenschädling auf. In Spanien ist *Sesamia nonagrioides* der bedeutendere Schädling für Mais (GONZÁLES-NÚÑEZ et al. 2000).

Der Maiszünsler ist zwar ein bedeutender Maisschädling, über seine Biologie ist jedoch vergleichsweise wenig bekannt. Maiszünsler gehören zu den Schmetterlingen (Lepidopteren). Der Maiszünsler hat ein breites Wirtsspektrum und war in früheren Zeiten ein bedeutender Schädling im Hanf. Mehr als 200 Wirtspflanzen sind für den Maiszünsler bekannt (ANDOW und HUTCHISON 1998).

Reife Larven überwintern in Stängeln oder anderem schützenden Pflanzenmaterial. Sie verpuppen sich im Frühling. Im späten Frühling entstehen die erwachsenen Maiszünsler, die sich

nach wenigen Tagen paaren. Jedes Weibchen legt 500-600 Eier in kleinen Paketen von 15-20 Eiern auf die Blattunterseite. Die Larven schlüpfen nach 3 bis 12 Tagen, in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur. Die Mortalität der frisch geschlüpften Larven liegt bei ca. 90 %. Ursachen hierfür sind natürliche Feinde, Hitze und/oder geringe Feuchtigkeit (ANDOW und HUTCHISON 1998). Die jungen Larven beginnen für gewöhnlich mit dem Fraß an der Blattoberfläche. Im weiteren Verlauf bohren sie sich durch die Mittelblattader und den Blattstiel. Im 4. Larvenstadium bohrt sich der Maiszünsler in den Maisstängel bzw. in den Kolben. Je nach Region überwintert die Larve (5. Larvenstadium) oder es entwickelt sich eine partielle 2. Generation, die sich nicht mehr generativ fortpflanzt oder eine vollständigen 2. Generation. In Spanien, Griechenland, Süditalien schafft der Maiszünsler 3 Generationen pro Jahr.

Je nach topographischer Lage können mehrere genetisch isolierte Populationen des Maiszünslers definiert werden. Daneben gibt es noch eine Unterteilung in Pheromonrassen. Die Z-Rasse dominiert in Nordamerika und weiten Teilen Europas. Die E-Rasse tritt in der Schweiz, Italien und im Nordosten der USA auf (MARCON et al. 1999).

Für alle Verfahren der Bekämpfung des Maiszünslers gilt, dass sie nur bei einer großflächigen Umsetzung voll wirksam werden. Die Larve des Maiszünslers bewegt sich zwischen einzelnen Maispflanzen bzw. zwischen Mais und Unkrautpflanzen in einem engem Radius. Die erwachsenen Tiere dagegen bewegen sich in einem Umkreis von mindestens 800 m (ROSS and OSTLIE 1990 zit. in US EPA 1998).

Schadensbild des Maiszünslers

Der Fraßbeginn setzt an den Blättern ein. Mit späterem Reifestadium bohrt sich die Larve durch die Mittelader und den Blattstiel in den Stängel. Der Hauptschaden liegt in einem verringerten Stärke- oder Zuckergehalt des Maiskorns. In manchen Fällen kann es auch zu einem Knicken des Stängels, zum Abfall der Kolben oder zur Bildung kleiner Kolben kommen. Bei den modernen Sorten kommt es, trotz Maiszünslerbefall, nur noch selten zu einem Halmbruch, sodass der Befallsdruck mit Maiszünsler leicht übersehen werden kann.

Schadenspotential und Ausbreitung in Deutschland

In den letzten Jahrzehnten hat der Maiszünsler auch klimatisch weniger begünstigte Gebiete erobert. In Deutschland kommt der Zünsler in allen südlichen Bundesländern vor. Ein Vordringen nach Norddeutschland ist sehr wahrscheinlich (ZELLNER 2001). Größere Befallsgrade sind auch im Oderbruch gegeben (HOMMEL pers. Mit. 2001). Ertragseinbußen für Maiszünsler werden bei intensivem Befall - sofern keine vorbeugenden Maßnahmen zum Einsatz kommen - mit max 10 bis 15 % angegeben.

3.2 Lösungsansätze für das Maiszünslerproblem

3.2.1 Standardmaßnahme – Stoppel- und Bodenbearbeitung

Die beste und in der Praxis am weitesten verbreitete Form der Bekämpfung des Maiszünslers stellt das Schlegeln bzw. Häckseln und ein tiefes (25 cm) sauberes Unterpflügen der Maisstopeln und des Maisstrohs dar.

Beim Silomaisanbau kann durch tiefes Abhäckseln der Maispflanzen eine Populationsverringering für das kommende Jahr erreicht werden. Das Zerkleinern von Stopeln und Stroh durch Fräse oder Scheibenegge nach der Maisernte eignet sich ebenfalls dazu Raupen abzutöten. Erfahrungsgemäß reichen aber diese Maßnahmen allein nicht aus, um die Maiszünslerpopulation unter der Schadschwelle zu halten. Nur tiefes (25 cm), sauberes Unterpflügen der Maisstopeln und des Maisstrohs ist eine langfristig Erfolg versprechende Bekämpfungsmethode. Für den Pflug ist in der Regel ein Zusatzgerät nötig, das das Stroh gut in die Furche einbringt. Wird die tiefwendende Bodenbearbeitung im gesamten Befallsgebiet praktiziert, hat der Maiszünsler keine großen Entwicklungsmöglichkeiten mehr (ZELLNER 2001).

Für Landwirte, die aus Gründen des Erosionsschutzes eine Minimalbodenbearbeitung und Direktsaat durchführen wird das intensive Häckseln des Maisstrohs auf Stücke, die kürzer als 3 cm sind, empfohlen (TANNER 2000). Ein intensives Schlegeln bzw. Häckseln des Maisstrohs erhöht die Wahrscheinlichkeit von Verletzungen, zudem ist der Maiszünsler für Vögel zugänglicher. Ein positiver Nebeneffekt dieser Methoden ist eine deutliche Reduktion von Fusariosen in der nachfolgenden Frucht insbesondere Weizen (MASTEL und MICHELS 2000, ZELLNER 2001).

3.2.2 Alternativen zur Stoppel- und Bodenbearbeitung

Neben der sehr effektiven vorbeugenden Maßnahme der Maisstoppelbearbeitung werden im geringem Umfang noch direkte Bekämpfungsmaßnahmen mit biologischen Mitteln durchgeführt.

3.2.2.1 Einsatz von biologischen Bekämpfungsmitteln

***Bacillus thuringiensis*-Präparate**

In Deutschland sind als biologische Bekämpfungsmittel gegen den Maiszünsler im Mais 3 Spritzmittel auf Basis von *Bacillus thuringiensis* zugelassen: (Dipel 2x, Dipel ES, Neudorffs Raupenspritzmittel N).

Das Toxin muss im schmalen Zeitfenster - nach dem Schlüpfen der Maiszünslerlarven aus den Eiern und vor dem Eindringen in den Kolben - ausgesprüht werden. Aufgrund der meist fortgeschrittenen Bestandsentwicklung ist hierfür der Einsatz eines Stelzenschleppers erforderlich. Die hohe ökologische Verträglichkeit von Bt-Präparaten liegt im speziellen vierstufigen Wirkungsmechanismus, der für die hohe Spezifität der Bt-Stämme verantwortlich ist. Obwohl mehrere Faktoren letztlich für die toxische Wirkung des bakteriellen Bt-Toxins verantwortlich sind, müssen nach der Aufnahme der Toxine über den Blattfraß zumindest folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Auflösung des Toxinkristalls im alkalischen Milieu des Insektendarmes
- Überführung des Protoxins mit Hilfe spezifischer Proteasen in die aktive Toxinform
- Bindung des aktiven Toxins an spezifische Rezeptoren des Darmes
- Induktion von Poren im Darm des Insektes, was zur Lyse des Darmes und zum Tod des Insektes führt (VISSER et al. 1993)

Die Toxine werden jedoch leicht durch den Regen abgewaschen sowie durch UV-Strahlen des Sonnenlichtes inaktiviert, wodurch die Wirksamkeit stark vermindert bzw. eine mehrmalige Ausbringung erforderlich sein kann.

Trichogramma

Der Bekämpfungserfolg durch *Trichogramma* entsteht durch die Parasitierung der durch den Maiszünsler abgelegten Eier. In den Eiern entwickeln sich statt Maiszünslerlarven Larven von *Trichogramma evanescens*.

Für einheimische Makroorganismen wie Nematoden, Arthropoden (z. B. Schlupfwespen, Raubmilben, Fliegen, Marienkäfer) oder Wirbeltiere, die zur Bekämpfung von Schadorganismen verwendet werden (BMVEL 2001), besteht in Deutschland keine Zulassungspflicht. Mikroorganismen bedürfen einer Zulassung gemäß Pflanzenschutzgesetz. Fremdländische Arten erfüllen die Bedingungen des Bundesnaturschutzgesetzes in der Regel nur dann, wenn sie auf Dauer im Freiland nicht überlebensfähig sind (BMVEL 2001). Gemäß ALBERT et al. (2001) sind Schlupfwespen (*Trichogramma brassicae*) im Erwerbsgemüsebau gegen Maiszünsler (bei Zucker- und Gemüsemais) im Einsatz. In Österreich ist das Präparat mit der Bezeichnung "Tricho" Erzwespe (*Trichogramma evanescens*) zugelassen (BFL 2001).

3.2.2.2 Einsatz von Insektiziden

Der Einsatz von Insektiziden zur Bekämpfung des Maiszünslers liegt bei 1,97 % der Gesamt-Maisanbaufläche in Deutschland. Rechnet man lediglich die Maisfläche der südlichen Bundesländer, in denen Maiszünsler bekämpfungswürdig erscheint, so werden auch in den gefährde-

ten Gebieten auf ca. 3 % der Maisflächen Insektizide zur Bekämpfung des Maiszünslers und/oder der Fritfliege eingesetzt (eigene Berechnungen aufgrund der Daten aus BMVEL 2001).

In Deutschland waren im Jahr 2001 für Zucker-, Süß- und Gemüsemais keine chemischen Mitteln zur Bekämpfung des Maiszünslers zugelassen (ALBERT et al. 2001). Im Ackerbau sind "Baythroid 50" und "Baythroid Schädlingfrei" als chemische PSM gegen den Maiszünsler zugelassen (BBA 2001). In Österreich sind 10 Insektizide für den Einsatz gegen den Maiszünsler zugelassen (BFL 2001).

Die synthetischen Pyrethroide wie z. B. Baythroid 50 (750 ml/ha) wirken nur gegen die Larven des Maiszünslers. Aus diesem Grunde sollte der Spritztermin mit dem Einbohren der ersten Raupen in den Maisstängel übereinstimmen. Erfahrungsgemäß ist dies zum Flughöhepunkt der Fall. Da der Mais zu diesem Zeitpunkt meist eine Höhe von 1,5 m erreicht hat, ist zur Minimierung der Fahrverluste dann der Einsatz eines Stelzenschleppers erforderlich. Zu frühe Spritzungen verschenken einen Teil der Wirkungsdauer, der Bekämpfungserfolg fällt dementsprechend ab. Bei optimalem Anwendungstermin konnten in Versuchen im mehrjährigen Mittel Wirkungsgrade von 75 Prozent erzielt werden (siehe Tabelle 4). Zu berücksichtigen ist aber, dass durch Insektizidspritzungen Nützlinge mit erfasst werden. Dem Ausschalten von Marienkäfern und Florfliegenlarven folgt in manchen Jahren ein starker Blattlausbefall in den behandelten Maisschlägen. Die Bekämpfungsschwelle liegt bei 6 Eigelege/100 Pflanzen (BBA 2002).

Tabelle 4: Wirkung verschiedener Bekämpfungsverfahren gegen den Maiszünsler (ZELLNER 2001)

Verfahren	Insektizid (1 x)	<i>Trichogramma</i> (2 x)	Bt-Mais
Versuchsjahr	1992 – 99 (n = 11)	1992 – 99 (n = 11)	1997 – 99 (n = 6)
Durchschnittlicher Wirkungsgrad (in %)	75	55	95
(von...bis)	(33 – 93)	(35 – 81)	(88 – 100)

3.2.3 Maiszünslerbekämpfung mit Bt-Mais

Der gentechnische Ansatz zum Schutz von Maispflanzen gegen den Maiszünsler erfolgt über die Konstruktion von Genen, die ursprünglich aus *Bacillus thuringiensis* gewonnen wurden. Neben der Kombination spezifischer Sequenzen aus unterschiedlichen Organismen (z.B. virus-spezifischer Promotor udgl.) wird die Sequenz, die für das lepidopterenspezifische Delta-Endotoxin codiert, verändert, um sie dem Expressionmuster der Pflanzenzelle anzupassen.

Die Wirkungsweise des Bt-Toxins erklärt sich folgendermaßen: Durch Blattfraß gelangt das Toxin in den Verdauungstrakt der Maiszünslerlarve und wird an spezifische Rezeptoren des Darmes gebunden. Dadurch kommt es zur Induktion von Poren im Darm des Insektes, was in weiterer Folge zur Lyse des Darmes und zum Tod des Insektes führt.

Folgende Bt-Mais-Linien sind zur Zeit in der EU zugelassen:

1. Die Linie CG 00256-176 der Firma Novartis enthält zwei Kopien eines synthetisch verkürzten Gens, das für ein Insekten abwehrendes Protein codiert, das den aktiven Teil des cryIAb Delta-Endotoxins aus dem *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*-Stamm HD1-9 darstellt. (Entscheidung der Kommission vom 23. Januar 1997 gemäß der Richtlinie 90/220/EWG).
2. Die Linie MON 810 der Firma Monsanto enthält das Gen cryIAb des *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Entscheidung der Kommission vom 22. April 1998 gemäß der Richtlinie 90/220/EWG). Der Antragsteller hat eine Strategie entwickelt, um die Gefahr der Entstehung von Insektenresistenzen zu minimieren und angeboten, die Kommission und/oder die zuständigen Behörden der Mitgliedstaaten über die Ergebnisse einschlägiger Überwachungsmaßnahmen zu unterrichten.
3. Die Linie Bt-11 der Firma Novartis enthält das Gen cryIAb des *Bacillus thuringiensis*, subsp. *kurstaki*-Stamm HD (Entscheidung der Kommission vom 22. April 1998 gemäß der Richtlinie 90/220/EWG).

3.2.4 Maßnahmen im Ökologischen Landbau

Im Ökologischen Landbau ist der Einsatz von *Bacillus thuringiensis*-Präparaten als direkte Bekämpfungsmaßnahme erlaubt, kommt jedoch nicht oder nur vereinzelt zum Einsatz. Die Standardmaßnahme gegen den Maiszünsler ist wie in der konventionellen Landwirtschaft die vorsorgeorientierte Stoppel- und Bodenbearbeitung (siehe 3.2.1).

3.3 Umweltrelevante Effekte

3.3.1 Umweltrelevante Effekte der konventionellen Maiszünslerbekämpfung

Schlegeln bzw. Häckseln und ein tiefes (25 cm) sauberes Unterpflügen der Maisstoppeln und des Maisstrohs stellt die (vorbeugende) Standardmaßnahme im konventionellen Maisanbau dar. Sie hat eine hohe ökologische Verträglichkeit, einen hohen Wirkungsgrad und führt zur vollständigen Einsparung von Insektiziden gegen den Maiszünsler. Ebenso gut ökologisch verträglich aber

mit einem deutlich geringeren Wirkungsgrad (siehe Tabelle 4), ist der Einsatz von *Trichogramma*.

Pflanzenschutzmitteleinsatz

Ebenfalls eine vergleichsweise hohe ökologische Verträglichkeit weisen die - in der Praxis kaum eingesetzten - biologischen PSM auf Basis von *Bacillus thuringiensis* auf. Folgende Anmerkungen sind für diese im Pflanzenschutzmittelverzeichnis angeführt: "Das Präparat darf keine säugerpathogenen oder bienenpathogenen Mikroorganismen enthalten. Es ist aus Rein-kulturen herzustellen. Das Präparat muß frei von Enterobacteriaceen und Staphylokokken sein. Das Präparat muß sich im Test auf Säugerpathogenität nach den US-Vorschriften als unschädlich erweisen. Bei jeder Neu anmeldung sind die zur Erfüllung der genannten Auflagen notwendigen Unterlagen vorzulegen. Das gleiche gilt, wenn von einem bereits zugelassenen Präparat neue Produktionschargen in den Verkehr gebracht werden sollen. Das Mittel wird als schwach-schädigend für Populationen der Art *Syrphus corollae* (Schwebfliege) eingestuft. Das Mittel wird bis zu der höchsten durch die Zulassung festgelegten Aufwandmenge bzw. Anwendungskon-zentration als nichtbienengefährlich eingestuft (B4). Das Mittel wird als nichtschädigend für Po-pulationen zweier Arten von Raubmilben (*Amblyseius potentillae* und *A. finlandicus*), einer Flor-fliege (*Chrysoperla carnea*), einer Erzwespe (*Trichogramma cacoeciae*), zweier Schlupfwespen (*Phygadeuon trichops* und *Coccygomimus turionellae*) sowie einer Raupenfliege (*Pales pavidus*) eingestuft" (BBA 2001).

Der Einsatz des Insektizids Baythroid 50 ist sicherlich die Variante mit den größten bekannten ökologischen Nachteilen. Baythroid 50 ist gemäß Pflanzenschutzmittelverzeichnis: "giftig für Fi-sche und Fischnährtiere. Das Mittel wird als schädigend für Populationen relevanter Nutzorga-nismen und für den Menschen als gesundheitsschädlich beim Einatmen und Verschlucken, ein-gestuft. Es darf keine Anwendung auf Flächen, von denen die Gefahr einer Abschwemmung in Gewässer - insbesondere durch Regen oder Bewässerung - gegeben ist, erfolgen. Es sind je nach Kulturart Mindestabstände zu Oberflächengewässern von 20 bis 50 Meter einzuhalten (BBA 2001).

Stabilität der Maßnahmen

Es ist bisher nicht bekannt, dass der Maiszünsler Toleranzen gegenüber mechanischer Zerklei-nerung des Maisstrohs entwickelt hätte. Theoretisch wäre denkbar, bei einer rein mechani-schen Zerkleinerung des Maisstrohs ohne Pflügen, Maiszünslerassen zu selektieren, die weni-ger empfindlich gegen das Schlegeln des Strohs sind (z.B. kleinere Larven, vermehrtes Ein-wandern in den Wurzelbereich). Bisher sind keine derartigen Anpassungen bekannt.

Gegen *Trichogramma* sind bisher keine Resistenzen dokumentiert. Aufgrund der Wetteranfäl-ligkeit und des dadurch schwankenden Wirkungsgrades und des Wirkungsmechanismus (Pa-

rasitierung) ist eher unwahrscheinlich, dass der Maiszünsler Resistenzen gegen die Parasitierung durch *Trichogramma* entwickelt. Für Insektizide ist bei großflächiger Anwendung mit einer Resistenzentwicklung ähnlich wie gegen Bt-Toxin als PSM oder Toxin in Bt-Mais zu rechnen. Dem wäre mit neuen Wirkstoffen oder einem Resistenzmanagement zu begegnen. Solange der geringe Einsatz von Insektiziden anhält, wird die Resistenzentwicklung des Maiszünslers kaum in Erscheinung treten, das heisst, dass kontinuierlich gebildete resistente Zufallsmutanten in einer Population kaum nennenswerten Stellenwert erhalten werden.

Die Entwicklung von Resistenzen bzw. Toleranzen von Unkräutern sowie Wirkungslücken einzelner Herbizide, die zur Verschiebung des Unkrautspektrums führen können, erfordern eine kontinuierliche Weiterentwicklung im Bereich des Unkrautmanagements. Dies bedeutet in erster Linie eine Kombination mehrerer Wirkstoffe sowie die Suche nach neuen Wirkstoffen (siehe auch 2.3.1).

3.3.2 Umweltrelevante Effekte des Einsatzes von von Bt-Mais

Pflanzenschutzmitteleinsatz

Der Haupteinsatz von Pflanzenschutzmitteln bei Mais liegt im Einsatz von Herbiziden. Bt-Mais hat keinen Einfluss auf den Einsatz von Herbiziden. Der Einsatz chemischer Insektizide ist aufgrund des Eingangs erwähnten geringen Schädlingsdrucks sehr gering und liegt für Deutschland bei 1,97 % (eigene Berechnungen aufgrund der Daten aus BMVEL 2001). Es geht aus den Daten nicht hervor, wie hoch der Anteil des Insektizideinsatzes ist, der auf Bekämpfungsmaßnahmen gegen den Maiszünsler oder gegen die Fritfliege aufgewendet wird.

Auch in den USA erfolgt in der überwiegenden Zahl der Fälle keine direkte chemische oder biologische Bekämpfung des Maiszünslers. Dies ist auch im Mittlerem Westen des "Corn belts" der Fall (OSTLIE et al. 1997 zit. in ANDOW und HUTCHISON 1998). Lediglich in den bewässerten Gebieten erfolgt (über die Bewässerung) eine Bekämpfung mit Insektiziden. Das "International Life Science Institut (ILSI)" schätzt, dass auf ca. 5-10 % (ILSI 1998), US EPA spricht, von ca. 5 – 8 % (US EPA 2001) der Maisanbaufläche der USA, Insektizide zur Bekämpfung des Maiszünslers eingesetzt werden. Doch auch in den USA stellt sich die Frage, ob sich der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ökonomisch lohnt.

Möglicherweise könnte der Einsatz von Bt-Mais den Insektizideinsatz erhöhen, denn parallel zu Bt-Mais muss aus Gründen des Resistenzmanagement (siehe unten Absatz über Stabilität) ein Teil der Fläche als "Refugium" mit konventionellen Sorten bepflanzt werden. Sollten diese "refuge Flächen" mit Insektiziden behandelt werden (wie es im Rahmen einiger Resistenzmanagementpläne empfohlen wird), so ist der positive Effekt einer Insektizideinsparung weitestgehend aufgehoben. In den USA ist seit der Einführung von Bt-Mais der Einsatz von Maiszünsler-

typischen Insektiziden leicht gefallen, jedoch der Einsatz von Insektiziden insgesamt leicht angestiegen (US EPA 2000).

Stabilität der Maßnahme

Bereits mehr als 500 Insekten- und Milbenarten sind gegen Insektizide resistent geworden (GEORGHIOU 1991 zit in MCGAUGHEY und WHALON 1992). Da Bt mehr als zwei Jahrzehnte ohne Berichte über Resistenzerscheinungen bei Insekten angewendet wurde, vermuteten einige Wissenschaftler (z.B. BARJAC 1987, KRIEG und LANGENBRUCH 1981, beide Zitate in TABASHNIK 1994), dass eine Resistenzentwicklung gegen das Bt-Toxin bei der Anwendung von Bt-Präparaten zur Insektenbekämpfung in der Landwirtschaft sehr unwahrscheinlich sei. 1985 wurden in den USA erste Resistenzentwicklungen der Kohlmotte (*Plutella xylostella*) gegen das Bt-Toxin nachgewiesen. Die Ursache dafür war der massive Einsatz von Bt-Präparaten als biologisches Pflanzenschutzmittel in Hawaii bei Monokulturanbau von Kohl (MCGAUGHEY 1994). Es ist dies bisher der einzige dokumentierte Fall einer Resistenzentwicklung eines Insektes im Feld (TABASHNIK et al. 1997). Auch beim Maiszünsler wird erwartet, dass er im Feld Resistenz gegen das Bt-Toxin im Bt-Mais entwickeln wird. In Laborversuchen konnten bereits Stämme mit erhöhter Resistenz gegen extrahierte Bt-Toxine selektiert werden. Es wurden jedoch keine Maiszünsler im Labor selektiert, die gegen Bt-Mais (mit den vergleichsweise sehr hohen Bt-Toxin-Gehalten) resistent sind. Dennoch werden von der US EPA Resistenzmanagementpläne eingefordert. Von den in den frühen 90er Jahren vorgeschlagenen Resistenzmanagementstrategien hat sich die "refuge/high dose" Strategie gegenüber anderen Strategien klar durchgesetzt. Sie ist Basis einer Vielzahl von Untersuchungen und theoretischer Überlegungen und das Standardmodell der US EPA (US EPA 1998, US EPA 1999). Lediglich dem "gene stacking", dem mehrfachen Einbau unterschiedlicher Resistenzgene, wird noch eine große Bedeutung zugemessen. Soweit bekannt, gehen alle wissenschaftlichen Modelle (ALSTAD und ANDOW 1995, IVES et al. 1996; ONSTAD und GOULD 1998) davon aus, dass Resistenzmanagementstrategien die Resistenzentwicklung lediglich hinauszögern, jedoch nicht verhindern können. Die Nachhaltigkeit des Anbaus von Bt-Mais ist deshalb eng mit der Frage verknüpft, ob es gelingt, flächendeckend ein Resistenzmanagement zu implementieren, das von den Landwirten akzeptiert wird.

Fusariosen

Häufig wird angeführt, dass Bt-Mais zu deutlich niedrigerem Fusarienbefall führt, da die Pilze vornehmlich Bohr- und Fraßlöcher des Maiszünsler als Eintrittspforte nutzen. Ein geringerer Fusariumbefall ist vor allem deswegen positiv zu werten, da diese Pilze das Maisstroh mit Mykotoxinen belasten, von denen einige z.B. toxisch bzw. teratogen wirksam sind.

Ein im Vergleich zu einem anderen Verfahren geringerer Befallsgrad von Bt-Mais mit Fusarien aufgrund geringerer Fraßschäden, ist jedoch nur dann gegeben, wenn absolut keine Maßnahmen gegen den Maiszünsler gesetzt werden. Die effizienteste Maßnahme gegen den Maiszünsler das Abschlegeln des Maisstrohs und sauberes Unterpflügen hilft nicht nur signifikant den Maiszünslerbefall zu minimieren, sondern wird auch als die wirkungsvollste Maßnahme angesehen, um den Fusarienbefall in der Folgekultur (vielfach wieder Mais) deutlich zu reduzieren. Besonders empfindlich auf Fusariosen reagiert jedoch der Weizen. Deshalb wird empfohlen Weizen nicht nach Mais anzubauen. In Versuchen zeigte sich, dass die wendende Bodenbearbeitung den Mykotoxingehalt in den Körnern der Folgefrucht Weizen im Vergleich zur nichtwendenden Bodenbearbeitung um 50 % und mehr vermindert. Auch bei nicht wendender Bodenbearbeitung bestehen Möglichkeiten zur Beschränkung des Fusariumbefalls. Dazu müssen die Ernterückstände unmittelbar nach dem Maisdrusch möglichst kurz zerkleinert (Schlegeln) und oberflächlich gut verteilt in den Boden eingemischt werden, um den Rotteprozess durch die Erhöhung der Angriffsfläche für abbauende Organismen zu beschleunigen (MASTEL und MICHELS 2000). Diese Maßnahme ist auch äußerst effektiv im Sinne einer vorbeugenden Maiszünslerbekämpfung. Neben der Bodenbearbeitung korrelieren frühreife Sorten positiv mit Anfälligkeit gegenüber Fusariosen (NICKERSON 1999).

Nicht-Zielorganismen wie Monarchfalter und andere Schmetterlinge

Die Debatte über potentielle Nebenwirkungen von Bt-Mais auf den Monarchfalter ist nach wie vor aktuell. Sie kann jedoch durch neuere Untersuchungen (HELLMICH et al. 2001, OBRYCKI et al. 2001, STANLEY-HORN et al. 2001, MINORSKY 2001, OBERHAUSER et al. 2001, PLEASANTS et al. 2001, ZANGERL et al. 2001, TSCHENN et al. 2001) viel differenzierter geführt werden. Momentaner Stand der Diskussion ist, dass es zu einer zeitlichen wie räumlichen Überlappung von Pollen auf Blättern von „Milkweed“ (*Asclepias* sp., Seidenpflanze) und der Entwicklung der Monarchfalterlarven kommt (PLEASANTS et al. 2001). Wobei es in den nördlichen Maisanbauregionen der USA zu einer höheren Exposition des Monarchs gegenüber Bt-Mais-Pollen kommt als in den südlichen Regionen, wo der Mais schon früher blüht (OBERHAUSER et al. 2001). Die größte Gefahr für den Monarchfalter geht von Bt-Mais Event 176 aus, der die höchsten Toxinexpression im Pollen aufweist. Bt11 und MON 810 haben keinen signifikanten Einfluß auf die Entwicklung von Monarchfalterlarven (STANLEY-HORN et al. 2001, HELLMICH et al. 2001). Das Insektizid lambda-cyhalothrin wies in Vergleichsversuchen die höchste Toxizität gegen Monarchfalterlarven auf (STANLEY-HORN et al. 2001). Neben dem Monarchfalter ist auch noch der „Black Swallowtail“ (*Papilio polyxenes*) durch Bt-Mais Event 176 gefährdet. Es wurde neben Bt-Mais Feldern eine signifikante Verzögerung des Wachstums der Larven beobachtet.

Die Diskussion in Europa hingegen ist weniger weit fortgeschritten, da umfangreiche Feldstudien, die den Gefährdungsgrad heimischer Schmetterlinge zum Inhalt haben, fehlen. VILLIGER

(1999) analysierte in seiner Studie das Gefährdungspotential einheimischer Schmetterlingsarten in der Schweiz. Er kommt zu dem Schluss, dass 124 Tagschmetterlingsarten potentiell (Überschneidung des Maispollenflugs mit der Larvenentwicklung) gefährdet sind. Wie stark diese Arten den Bt-Pollen ausgesetzt wären, kann man nicht voraus sagen. Ebenso wenig lässt sich prognostizieren, wie empfindlich die aufgelisteten Arten auf Bt-Pollen reagieren würden. Nur von wenigen Arten ist bekannt, dass sie empfindlich gegenüber Bt-Präparaten sind: Der Kleine Fuchs (*Aglais urticae*), der Trauermantel (*Nymphalis antiopa*), der Baumweissling (*Aporia crataegi*), der Grosse Kohlweissling (*Pieris brassicae*) und der Kleine Kohlweissling (*Pieris napi*) (KRIEG, 1986 zitiert in VILLIGER 1999).

In Deutschland gibt es ein großes Verbundprojekt von 12 deutschen Forschungseinrichtungen zur Untersuchung von Nebenwirkungen von Bt-Mais auf Nicht-Zielorganismen und andere Umweltparameter unter der Koordination von Prof. Schuphan (Institut für Biologie, RWTH AACHEN; siehe SCHUPHAN 2001a). Ergebnisse liegen derzeit noch keine vor.

Bt-Toxin im Boden

SAXENA et al. (1999) wiesen nach, dass Bt-Mais über Wurzelexsudate Bt-Toxine in den Boden (Rhizosphäre) abgibt. Die daraus gewonnenen und gereinigten Toxine zeigten volle Wirksamkeit gegenüber Maiszünslerlarven. Dies ist besonders vor dem Hintergrund der Untersuchungen über die Bt-Toxin Anreicherung im Boden von TAPP & STOTZKY (1995) zu beachten. Sie zeigten, dass CryIIIA-Proteine an Tonmineralen (Montmorillonit oder Kaolinit) im Boden angereichert werden. Durch die Adsorption und Bindung der Toxinproteine an Tonpartikel bleibt ihre insektizide Wirkung bis zu 234 Tage (der längste untersuchte Zeitraum) erhalten (KOSKELLA und STOTZKY 1997) und wird manchmal sogar vergrößert (TAPP und STOTZKY 1995).

In Deutschland sind ähnliche Untersuchungen am Institut für Biologie der RWTH AACHEN (unter der Leitung von Prof. Schuphan) im Rahmen des Projekts „Long term effects of Bt-expression in maize on non target organisms“ angelaufen (SCHUPHAN 2001b).

3.3.3 Ökologischer Landbau

Die Maiszünslerbekämpfung im Ökologischen Landbau unterscheidet sich nicht von der konventionellen Standardmaßnahme, der mechanischen Stoppelbearbeitung (siehe 3.2.1). Der wichtigste Vorteil des Ökologischen Landbaus an sich ist jedoch die 100 %ige Einsparung von Agrochemikalien insbesondere von Herbiziden. Die mechanische Unkrautbekämpfung führt zu ein bis zwei Arbeitsgängen mehr und zu etwas höheren Dieselemissionen.

Der Düngemitelesatz ist im Durchschnitt ebenfalls um ein Vielfaches geringer als im konventionellen Maisanbau, da die Tierhaltung auf 1,5 DGVE/ha beschränkt ist. Der im Durchschnitt geringere Gülleeinsatz - bedingt durch andere Stallhaltungssysteme - und der Verzicht auf leicht-

lösliche mineralische Düngemittel ist (im Sinne des vorbeugenden Umweltschutzes) ebenfalls günstig zu bewerten. Auf die positiven Wirkungen des Verzichtes auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (z.B. auf die Agrobiodiversität oder auf die Grundwasserbelastung), die in einer gesamtheitlichen Betrachtung unterschiedlicher Anbausysteme deutlicher werden, wird in Kapitel 8.2 kurz eingegangen.

3.4 Fazit

Ertragseinbußen durch Maiszünsler spielen im Maisanbau eine untergeordnete Rolle. Chemische PSM gegen Schädlinge (Insekten) oder (pilzliche) Krankheiten kommen auch nur in geringem Ausmaß zum Einsatz. Ein großflächiger Einsatz von Bt-Mais würde daher nur zu sehr geringen Einsparungen von Pflanzenschutzmitteln führen. Bisher werden lediglich auf ca. 5 % der Maisfläche Insektizide gegen den Maiszünsler eingesetzt. Anstelle der sehr geringen Pflanzenschutzmitteleinsparungen treten neue Emissionen in die Umwelt in Form von Pollen mit Bt-Toxin und Wurzelexudaten mit Bt-Toxin auf.

Bt-Mais wird in weiten Teilen Deutschlands und Österreich kaum benötigt, da mit der Stoppel- und mechanischen Bodenbearbeitung – ebenso wie im Ökologischen Landbau – das Auslangen gefunden werden kann. Auf sandigen Standorten kann Bt-Mais ertragsstabilisierend wirken, weil dort eine vorbeugende Stoppel- und Bodenbearbeitung (tiefes Unterpflügen des Maisstrohs) aufgrund der Bodenverhältnisse nicht durchgeführt werden kann. Ob sich Ertragseffekte über längere Zeit realisieren lassen, hängt von den Maßnahmen zur Verzögerung der Resistenzentwicklung in den Maiszünslerpopulationen ab. Diese liegen in der Etablierung von Refugien, in denen konventioneller Mais angebaut wird, damit sich ein geringerer Selektionsdruck aufbaut. Jedoch gehen alle wissenschaftlichen Modelle davon aus, dass Resistenzmanagementstrategien die Resistenzentwicklung lediglich hinauszögern und nicht verhindern können. Im Falle von Resistenzen müssen neue Lösungsansätze entwickelt werden.

Dagegen ist der Unkrautregulierung ein erheblicherer Stellenwert in der Ausschöpfung des Ertragspotentials einzuräumen. Aus Sicht des vorbeugenden Umweltschutzes wird daher vor allem der intensive Einsatz von Herbiziden problematisiert. Durch das späte Auflaufen und der relativ starken Empfindlichkeit auf Unkrautkonkurrenz im 3-4 Blattstadium und einer breiten Palette an Herbiziden erfolgt je nach Standort ein mehr oder weniger intensiver Einsatz von Herbiziden vor und während der frühen Bestandesentwicklung. Die in den 50er Jahren dominierende mechanische Unkrautregulierung verlor in der konventionell Bewirtschaftungsweise mehr und mehr an Bedeutung. Mais entwickelte sich von einer Hackfrucht zur Spritzfrucht (ZSCHEISCHLER et al. 1990). Der Nachweis des mittlerweile verbotenen Herbizid Atrazin im Grundwasser (Mais ist auf natürliche Weise gegen Triazine resistent) ist der bekannteste umweltrelevante Effekt des intensiven konventionellen Maisanbaues (BMLF 1993, BMLF/WWK 1997). Trotz eines (mittlerweile zehnjährigen) Verbotes des Einsatzes von Atrazin lässt es sich nach wie vor im Grundwasser nachweisen. Bt-Mais leistet keinen Beitrag zur Verringerung des Herbizideinsatzes, der im Maisanbau eine zentrale Rolle bei den Umweltemissionen spielt.

3.5 Literatur

- ALBERT R., BÜHLER W., DENGLER R., HECK M., HESSENAUER C., LUEDTKE H., MERZ F., SELL P. 2001: Pflanzenschutzmaßnahmen im Erwerbsgemüsebau 2001. Landesanstalt für Pflanzenschutz in Stuttgart, Regierungspräsidium Karlsruhe -Pflanzenschutzdienst, Regierungspräsidium Freiburg - Pflanzenschutzdienst, Regierungspräsidium Tübingen -Pflanzenschutzdienst.
- ALSTAD D.N., ANDOW D.A. 1995: Managing the Evolution of Insect Resistance to Transgenic Plants. *Science* 268: 1894-1896.
- ANDOW D.A., HUTCHISON W.D. 1998: Bt-Corn Resistance Management. In: Mellon M and Rissler J (Hg.) *Now or Never - Serious new Plan to Safe a Natural Pest Control*. pp. 19-66, Union of Concerned Scientists (UCS) (p. 27ff).
- BBA 2001: Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft - Web Datenbank. <http://www.bba.de/psm/psmright.htm>.
- BBA 2002: Integrierter Pflanzenschutz im Ackerbau – ein Leitfaden für Landwirte http://www.bba.de/ip/ip_leitfaden/mais_2.htm.
- BFL 2001: Verzeichnis der in Österreich zugelassenen Pflanzenschutzmittel. Bundes- und Forschungszentrum f. Landwirtschaft - Onlinedatenbank [http://www.infoland.at:8102/pls/psmv/pmgweb2\\$.Startup?z_user=www](http://www.infoland.at:8102/pls/psmv/pmgweb2$.Startup?z_user=www).
- BMLF 1993: Eds. Erhebung der Wassergüte. Bundesministerium f.Land- und Forstwirtschaft 12/93.
- BMLF/WWK 1997: Wassergüte in Österreich Jahresbericht 1996. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft/ Wasserwirtschaftskataster in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt Wien.
- BMVEL 2001: Status Bericht "Biologischer Pflanzenschutz". Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn.
- DIERAUER H., STÖPPLER-ZIMMER H. 1994: Unkrautregulierung ohne Chemie. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart (p. 94ff).
- ENTRUP N., ZERHUSEN P. 1992: Mais und Umwelt. Verlag Dr. Kovac.
- GONZÁLES-NÚÑEZ M., ORTEGO F., CASTAÑERA P. 2000: Susceptibility of Spanish Populations of the Corn Borers *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) to a *Bacillus thuringiensis* Endotoxin. *Journal of Economic Entomology* 93 (2): 459-463.
- HELLMICH R.L., SIEGFRIED B.D., SEARS M.K., STANLEY-HORN D.E., DANIELS M.J., MATTILA H.R., SPENCER T., BIDNE K.G., LEWIS L.C. 2001: Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis*-purified proteins and pollen. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98 (21): 11925-11930.
- HERRMANN G., PLAKOLM G. 1993: Ökologischer Landbau - Grundwissen für die Praxis. Österr. Agrarverlag, Wien (p. 204ff).
- HOMMEL B. 2002: persönliche Mitteilung. Biol. Bundesanstalt f. Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig (BBA).
- ILSI 1998: An Evaluation of Insect Resistance Management in Bt field corn - A Science based framework for Risk Assessment and Risk Management. Report, ILSI - International Life Sciences Institute .
- IVES A.R., ALSTAD D.N., ANDOW D.A. 1996: Evolution of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*-transformed plants. *Science* 273 (5280): 1412-1413.

- KOSKELLA J., STOTZKY G. 1997: Microbial utilization of free and clay-bound insecticidal toxins from *Bacillus thuringiensis* and their retention of insecticidal activity after incubation with microbes. *Applied & Environmental Microbiology* 63: 3561-3568.
- MARCON P.C., YOUNG L.J., STEFFEY K.L., SIEGFRIED B.D. 1999: Baseline Susceptibility of European Corn Borer (Lepidoptera: Crambidae) to *Bacillus thuringiensis* Toxins. *Journal of Economic Entomology* 92 (2): 279-285.
- MASTEL K., MICHELS K. 2000: Dauerbrenner Fusarium. *Landinfo* 9/2000: 9-13.
- MCGAUGHEY W.H. 1994: Problems of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. 102, Workshop on *Bacillus thuringiensis*, Canberra (Australia), 24-26 Sep 1991.
- MCGAUGHEY W.H., WHALON M.E. 1992: Managing insect resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins. *Science* 258: 1451-1455.
- MINORSKY P.V. 2001: Tribute to Folke Skoog. *Plant Physiol* 125 (4): 1546-1547.
- NICKERSON 1999: MAIS Stress-Physiologie - Maisbroschüre für die Praxis (p.22ff).
- OBERHAUSER K.S., PRYSBY M.D., MATTILA H.R., STANLEY-HORN D.E., SEARS M.K., DIVELEY G., OLSON E., PLEASANTS J.M., LAM W.K., HELLMICH R.L. 2001: Temporal and spatial overlap between monarch larvae and corn pollen. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98 (21): 11913-11918.
- OBRYCKI J., LOSEY J.E., TAYLOR O., JESSE L. 2001: Transgenic Insecticidal Corn: Beyond Insecticidal Toxicity to Ecological Complexity. *BioScience* 51 (5): 353-361.
- ONSTAD D.W., GOULD F. 1998: Modelling the Dynamics of Adaption to Transgenic Maize by European Corn Borer (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology* 91 (3): 585-593.
- PLEASANTS J.M., HELLMICH R.L., DIVELEY G.P., SEARS M.K., STANLEY-HORN D.E., MATTILA H.R., FOSTER J.E., CLARK P., JONES G.D. 2001: Corn pollen deposition on milkweeds in and near cornfields. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98 (21): 11919-11924.
- SAXENA D., FLORES S., STOTZKY G. 1999: Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. *Nature* 402 (6761): 480.
- SCHUPHAN I. 2001a: Sicherheitsforschung und Monitoringmethoden zum Anbau von Bt-Mais.
http://www.rwth-aachen.de/bio5/Ww/is_homepage/is_current_research/is_coordination/is_coordination.html.
- SCHUPHAN I. 2001b: Long term effects of Bt-expression in maize on non-target organisms.
[http://www.rwth-aachen.de/bio5/Ww/is_homepage/is_current_research/is_long_term_effects/is_long_term_effects.h](http://www.rwth-aachen.de/bio5/Ww/is_homepage/is_current_research/is_long_term_effects/is_long_term_effects.html)
- STANLEY-HORN D.E., DIVELEY G.P., HELLMICH R.L., MATTILA H.R., SEARS M.K., ROSE R., JESSE L.C.H., LOSEY J.E., OBRYCKI J.J., LEWIS L. 2001: Assessing the impact of Cry1Ab-expressing corn pollen on monarch butterfly larvae in field studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98 (21): 11931-11936.
- TABASHNIK B.E. 1994: Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu.Rev.Entomol.* 39: 47-79.
- 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* toxins. *Proc.Natl.Acad.Sci.* 94: 1640-1644.
- TANNER K. 2000: Mais: Der Zünsler liebt lange Stoppeln.
<http://www.schweizerbauer.ch/news/aktuell/Artikel/00502/artikel.html>

- TAPP H., STOTZKY G. 1995: Insecticidal activity of the toxins from *Bacillus thuringiensis* subspecies *kurstaki* and *tenebrionis* adsorbed and bound on pure and soil clays. *Applied & Environmental Microbiology* 61: 1786-1790.
- TREU R., EMBERLIN J. 2000: Pollen dispersal in the crops Maize (*Zea mays*), Oil seed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*), Potatoes (*Solanum tuberosum*), Sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*) and Wheat (*Triticum aestivum*). Report for the Soil Association from the National Pollen Research Unit. [http://www.soilassociation.org/web/sa/saweb.nsf/b0062cf005bc02c180256a6b003d987f/80256ad800554549802568660075e5b4/\\$FILE/Pollen%20Dispersal%20Report.pdf](http://www.soilassociation.org/web/sa/saweb.nsf/b0062cf005bc02c180256a6b003d987f/80256ad800554549802568660075e5b4/$FILE/Pollen%20Dispersal%20Report.pdf)
- TSCHENN L., LOSEY J.E., JESSE L., OBRYCKI J., HUFBAUER J. 2001: Effects of corn plants and corn pollen on monarch butterfly (Lepidoptera : Danaidae) oviposition behavior. *Environmental Entomology* 30 (3): 495-500.
- US EPA 1998: The Environmental Protection Agency's White Paper on Bt Plant-pesticide Resistance Management January 14, 1998. <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-PEST/1998/January/Day-14/s-p926.htm>.
- US EPA 1999: Proceedings of EPA/USDA Workshop (June 18, 1999) on Bt Crop Resistance Management. US Environmental Protection Agency (EPA), <http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/otherdocs/btcornproceedings.htm>.
- US EPA 2000: Issues pertaining to the Bt plant pesticides Risk and Benefit Assessments.
- US EPA 2001: Bt Plant-Incorporated Protectants September 29, 2001 Biopesticides Registration Action Document.
- VILLIGER M. 1999: Effekte transgener insektenresistenter Bt-Kulturpflanzen auf Nichtzielorganismen am Beispiel der Schmetterlinge. WWF Schweiz und Forschungsinstitut f. biologischen Landbau (FiBL) Schweiz.
- VISSER B., BOSCH D., HONEE G. 1993: Domain-Function Studies of *Bacillus thuringiensis* of Crystal Proteins: A Genetic Approach to toxin delivery systems. In: Entwistle PF, Cory JS, Bailey MJ, Higgs S (Hg.) *Bacillus thuringiensis, an environmental biopesticide: theory and practice*. pp. 71-88, John Wiley & Sons.
- ZANGERL A.R., MCKENNA D., WRAIGHT C.L., CARROLL M., FICARELLO P., WARNER R., BERENBAUM M.R. 2001: Effects of exposure to event 176 *Bacillus thuringiensis* corn pollen on monarch and black swallowtail caterpillars under field conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 98 (21): 11908-11912.
- ZELLNER M. 2001: Maiszünslerbekämpfung - welche Möglichkeiten gibt es und was ist dabei zu beachten? <http://www.stmlf.bayern.de/lbp/info/ps/maiszuensler.html>
- ZSCHEISCHLER J., ESTHER M., STANDACKER W., GROSS F., BURGSTALLER G., STREYL H., RECHMANN T. 1990: MAIS Handbuch. DLG-Verlag, Frankfurt a.M.

4 FALLBEISPIEL RIZOMANIA-BEFALL BEI ZUCKERRÜBE

Tabelle 5: Biologische Grundlagen der Zuckerrübe (*Beta vulgaris*)

Taxonomie	Ordnung: Caryophyllales; Familie Chenopodiaceae; Gattung: <i>Beta</i>; Art: <i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i> var. <i>altissima</i> (Synonyme: <i>B. vulgaris altissima</i>, <i>B. vulgaris saccharifera</i>)
Geographische Verbreitung, verwandte - Arten, - Anbauggebiete	Die Kulturart <i>Beta vulgaris</i> stammt nach derzeitigem Wissensstand von der wild vorkommenden Art <i>Beta maritima</i> (= <i>Beta vulgaris</i> subsp. <i>maritima</i>, Stammsippe) ab (OLTMANN et al. 1984, CAMPELL 1976), die eine halophile Küstenbewohnerin der mediterranen Florenregion ist. <i>B. vulgaris</i> ist folglich mit dieser gut kreuzbar. Der genetische Ursprung der Zuckerrübe liegt in Vorderasien (VOLLMER 1986), von wo aus sich die <i>Beta</i>-Rüben über das Hochland von Kleinasien sowie an den Küsten des Mittelmeerraumes ausbreiteten. Die Kulturart <i>B. vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i> kommt in einer großen Formenmannigfaltigkeit (Zucker- und Futterrübe, Mangold, Rote Bete u.a.) vor (siehe GOLLMANN & PASCHER 1998). Alle Varietäten zeigen untereinander gute Kreuzbarkeit. Die Zuckerrübe wird weltweit in klimatisch und vom Standort her gesehen hochwertigen landwirtschaftlichen Gebieten angebaut. So liegen die Anbauggebiete überwiegend in Zonen des nördlichen gemäßigten Klimas.
Ökologie	<i>B. vulgaris</i> tritt in einjähriger, zweijähriger oder perennierender Form auf. Kultivierte Formen sind auf Zweijährigkeit hin gezüchtet und vernalisierungsbedürftig (Rübenkörper überwintert). Der Rübenanbau wird üblicher Weise nur vegetativ betrieben, d.h. die Rüben werden bereits im ersten Jahr geerntet. Rüben sind Tiefwurzler.
Blühbiologie, Pollenreichweite	<i>B. vulgaris</i> subsp. <i>vulgaris</i> ist scheinhäufig. Sie ist ein Fremdbefruchter mit gametophytisch gesteuerter Selbstinkompatibilität, zudem ist aber auch Selbstung möglich (OLTMANN et al. 1984). Die Blühdauer einer einzelnen Pflanze kann sich über vier Wochen erstrecken. Eine Zuckerrübenpflanze produziert mehrere tausend Samen. Die Pollenverbreitung erfolgt überwiegend anemophil und kann mehrere Kilometer betragen (BROUWER et al. 1976). Zur Reinhaltung der Sorten für Basissaatgut fordert die Saatgutverordnung einen Isolationsabstand von 1.000 m. Zoochorie ist ebenfalls möglich.
Nährstoffbedarf	Für die Kultivierung von <i>Beta</i>-Rüben ist bereits im Keimlingszustand ein hohes Stickstoffangebot erforderlich. Die Versorgung mit Phosphor, Kalium und organischem Dünger ist im Herbst sicherzustellen. N-Mangel führt zu einer Verkürzung der Vegetationsperiode und damit zur Ertragsverminderung. Die N-Düngung erfolgt in zwei Teilen. Eine Gabe bis spätestens zwei Wochen vor Aussaat der Zuckerrüben; die zweite als Kopfdüngung zum Zeitpunkt des 2-Blattstadiums. Eine ausreichende Wasserversorgung der Rübenbestände vor allem im Sommer ist

	zudem ein wichtiger Anbaufaktor.
--	----------------------------------

4.1 Grundlagen des Zuckerrübenanbaus

(siehe dazu BAROCKA 1985, BORNSCHEUER 1986, GEISLER 1988, BECKER 1993, HERRMANN & PLAKOLM 1993, GOLLMANN & PASCHER 1998)

Die Zuckerrübe ist die leistungsfähigste Kulturpflanze Mitteleuropas. Bereits im 18. Jahrhundert wurde diese Kulturpflanze genutzt und züchterisch weiterentwickelt. Die zunehmend intensivere Anbauentwicklung der Zuckerrübe hängt einerseits mit dem zumindest teilweisen Ersatz des Zuckerrohres als früher einzigem Weltzuckerlieferanten zusammen, andererseits mit dem Zuckermangel als Folge der 1806 verhängten Kontinentalsperre (VOLLMER 1986). Aktuell werden weltweit insgesamt etwa 24 Mio. ha Zuckerrohr und Zuckerrübe angebaut. Mit einem Anteil von knapp 40% an der Weltzuckerproduktion nimmt der Rübenzucker eine wesentliche ernährungswirtschaftliche Bedeutung ein.

Zucker besitzt als Lebens-, Genuss- und Futtermittel, zudem aber auch als Rohstoff zur Erzeugung verschiedenster Industrieprodukte eine äußerst vielseitige Verwendung. So findet Zucker u.a. in Appreturen in der Textilindustrie, als Weichmacher in der Papierindustrie, in Beizen für die Herstellung von Zigaretten, in der Bauchemie sowie in vielen anderen Produkten Anwendung.

Alle Kulturformen der *Beta*-Rüben gehören trotz ihrer vielfältigen Nutzungsformen nur einer einzigen Art (*B. vulgaris*) an. Sie sind durch Formengemische auseinander entstanden. Folglich hybridisieren sie gut miteinander. Eine gegenseitige Bestäubung der Kulturformen lässt sich nur durch strenge Isolation vermeiden. Die Kreuzbarkeit der Wildformen mit den Kulturformen ist für die Resistenzzüchtung von wesentlicher Bedeutung (VOLLMER 1986).

Die Gattung *Beta* umfasst diploide, tetraploide und auch hexploide Formen mit der haploiden Chromosomenzahl $n=9$. Mit Ausnahme von Mangold bilden die Kulturformen von *B. vulgaris* fleischige Rüben mit verschieden starker Beteiligung der Wurzel und des Hypokotyls.

Standort, Fruchtfolge und Anbauverfahren

Als Standort bevorzugt die Zuckerrübe warme, frische, jedoch nicht staunasse, nährstoffreiche, milde, humose, tiefgründige Lehm Böden mit einer guten Wasserversorgung im Sommer. Sie ist eine über einen Meter tiefwurzelnde Langtagpflanze (OBERDORFER 1990).

Die Zuckerrübe stellt geringe Ansprüche an ihre Vorfrucht. Wegen ihres hohen Nährstoffbedarfs sollte die Zuckerrübe in der Fruchtfolge jedoch nicht zu extensiv stehen. Die Rübe wird daher zumeist nach aufbauenden Früchten wie etwa nach typischen Früchten des Futterbaus (ein- oder mehrjährig, wenigstens Winterzwischenfruchtanbau) gepflanzt und konkurriert in dieser Fruchtfolgestellung mit guten Marktfrüchten wie etwa Weizen. Auch ist eine Stellung nach Körnerleguminosen möglich. Grundsätzlich kommen alle Kulturpflanzen als Vorfrucht in Frage, mit

Ausnahme solcher, die zu große Mengen an Wasser verbrauchen. *Beta*-Rüben weisen eine geringe Selbstverträglichkeit ("Rübenmüdigkeit") auf. Wegen der Gefahr des Auftretens von Rübenzystenälchen ist folglich das Einhalten einer zeitlichen Anbaupause von mindestens drei Jahren empfehlenswert, damit der Boden wieder schädlingsfrei ist (HERRMANN & PLAKOLM 1993). Eine gute Vorfrucht und eine entsprechende Bodenbearbeitung sind wichtige vorbeugende Maßnahmen zur Beikraut-Kontrolle.

Zuckerrübensaaten vertragen keine frisch eingearbeitete organische Substanz. Auch auf der Bodenoberfläche sollte nicht zu viel organische Substanz liegen, da sich diese beim Hacken als hinderlich erweist. Ihr Vorhandensein mindert jedoch stark die Erosionsgefahr. Diesem Problem kann auch mittels geringer Fruchtfolgeanteile, kleinerer Flächen, einer insgesamt längeren Anbaupause und der daraus resultierenden besseren Bodenstruktur, vor allem im ökologischen Landbau, begegnet werden.

Der Saattermin der Zuckerrübe sollte ähnlich wie bei Sommergetreide nicht zu spät liegen (Ende März, April), um eine rechtzeitige Ausreife der Rüben im Herbst sicherzustellen (BMVEL 2002). Die Saat erfolgt mit Einzelkornsägeräten in einem Reihenabstand von 50 cm. Als günstige Bestandesdichte erwiesen sich etwa 70.000 bis 80.000 Pflanzen/ha. Genetisch einkeimiges Saatgut ist grundsätzlich zu bevorzugen.

Zum Wachstum und zur Bildung ihrer Inhaltsstoffe benötigt die Zuckerrübe eine Vielzahl von Nährstoffen, die aus dem Bodenvorrat und der zusätzlichen Düngung zur Verfügung gestellt werden. Die natürliche Freisetzung von Nährstoffen, vor allem von Stickstoff, aus der organischen Substanz des Bodens stimmt dabei gut mit dem Verlauf der Nährstoffaufnahme durch die Zuckerrübe überein. Da ein hoher Amino-Stickstoff-Gehalt unerwünscht ist, muss die Stickstoffdüngung optimiert werden. Die Stickstoffmineraldüngung hat während der letzten zwanzig Jahre von etwa 200 kg/ha auf etwa 100 kg/ha abgenommen (WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER 2002). Zudem wurde auch die Kalium- und Phosphordüngung stark reduziert. Neben dem Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln ist auch eine intensive Beikrautregulierung für einen erfolgreichen Zuckerrübenanbau erforderlich.

Der Erntezeitpunkt der Zuckerrüben liegt zwischen September und November, zumeist aber Ende Oktober. Neben der Nutzung der Rübe werden auch Rückstände der Zuckergewinnung (z.B. Trockenschnitzel) als Futtermittel von landwirtschaftlichen Betrieben verwendet sowie die Blätter der Zuckerrübe als Rinderfutter oder zur Gründüngung eingesetzt.

In Abhängigkeit von der standortspezifischen Dauer der Vegetationszeit werden folgende Wachstumstypen der Zuckerrübe unterschieden:

1. Ertragstyp (E): erbringt hohen Frischmasse-Ertrag mit relativ geringem Zuckergehalt, benötigt lange Wachstumsdauer.
2. Normaltyp (N): steht zwischen den Extremtypen E und Z.

3. Zuckertyp (Z): Rübenkörpergewicht gering, Zuckergehalt hoch, an kurze Vegetationsperioden angepasst.

Produktionsgebiete und Zuckerbilanzen in Deutschland und in der EU

(siehe dazu WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER 2002)

Die wichtigsten Standorte des Zuckerrübenanbaus in Deutschland sind in den alten Bundesländern das südliche Niedersachsen (Braunschweiger und Hildesheimer Börde), das Rheinland zwischen Bonn und Krefeld (Köln-Aachener Bucht) sowie in Süd-Deutschland Gebiete am Main, an der Donau, am nördlichen Oberrhein und in Württemberg. In den neuen Bundesländern wird der Zuckerrübenanbau v.a. in Sachsen-Anhalt (Halle, Magdeburg), in der Leipziger Tieflandbucht, im Erfurter Becken sowie in Mecklenburg-Vorpommern (Neubrandenburg, Rostock, Schwerin) betrieben.

Tabelle 6: Zuckerbilanzen in Deutschland und in der EU im Wirtschaftsjahr 2000/2001

	Deutschland	EU
Anbaufläche	451.410 ha (entspricht ca. 3,8% der gesamten Ackerfläche)	1.823.000 ¹⁾ / 1.822.000 ²⁾ ha
Rübenерtrag	61,7 t/ha	^{*)}
Gesamtrübenерtrag	27.870.100 t	^{*)}
Zuckerерtrag	9,62 ¹⁾ / 8,50 ²⁾ t/ha	9,18 ¹⁾ / 8,65 ²⁾ t/ha
Zuckerерzeugung	4.340.886 t	^{*)}
Erzeugung	4.359.000 t Ww (Okt./Sept.)	Ca. 17.042.000 t Ww (16.736.000 t Rüben- + 264.000 t Rohrzucker + 42.000 t Zucker aus Entzuckerung von Melasse in Deutschland und Österreich)
Zuckerverbrauch	2.751.000 t Ww	^{*)}

¹⁾ WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER 2002, ²⁾ EUROPÄISCHE KOMMISSION 2001, ^{*)} Daten nicht vorhanden

Bio- bzw. Ökozucker wird in Deutschland beispielsweise in einem maximal 250 bis 300 km breiten Radius um die Stadt Warburg angebaut und zwar vor allem in östlicher und südlicher Richtung (Auskunft SÜDZUCKER AG 2002). Die Anbaufläche beläuft sich aktuell auf etwa 190 ha. Zudem wird südlich dieses Anbaugesbietes in Deutschland Ökozucker für die Schweizer Zuckerrübenverarbeitung in Frauenfeld produziert. Die Produktion von Ökozucker befindet sich generell noch in einem Versuchsstadium. Die Nachfrage nach Biorüben ist aufgrund der höheren Rübenpreise jedoch gering.

Die EU ist mit etwa 14% der Weltzuckererzeugung nach Nord-, Südamerika und Ostasien der viertgrößte Zuckererzeuger. Die in der Zuckerproduktion führenden Länder der EU sind Frankreich, Deutschland und Italien. Mit circa 11% des Weltverbrauchs an Zucker ist die EU nach Asien, Nord- und Südamerika das viertgrößte Zucker-Verbrauchsgebiet der Welt.

In der Europäischen Union wurde die Zuckererzeugung deutlich reduziert und zwar um 7,1 %. Die Anbauflächen betrugen 1999/2000 noch 1.963 Mio. ha und wurden 2000/2001 auf 1.823 bzw. 1.822 Mio. ha eingeschränkt (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2001, WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER 2002). Auch in der Bundesrepublik Deutschland wurde die Anbaufläche von Zuckerrüben im Wirtschaftsjahr 2000/2001 im Vergleich zum Vorjahr um 7,6 % verkleinert. Trotz dieser Flächenreduktion konnten aufgrund der deutlich höheren Hektarerträge im Vergleich zu den Vorjahren sehr gute Zuckererträge erzielt werden. Die EU-Quotenkürzungen 2000/2001 beliefen sich für Deutschland auf rund 5 Mio t (BMVEL 2002). Für das Wirtschaftsjahr 2001/2002 wurde keine weitere Kürzung der Produktionsquoten für Zucker in der EU vorgenommen, da die WTO-Grenzen beim Export voraussichtlich auch ohne Kürzung der Produktionsquoten eingehalten werden können. Für das Jahr 2001/2002 gilt folglich in der EU eine Höchstquote für Zucker von rund 15,10 Mio. t (darunter Deutschland mit rund 3,45 Mio. t). Den über die Quoten hinaus hergestellten Zucker müssen die Erzeuger in eigener finanzieller Verantwortung zum Weltmarktpreis in Drittländer ausführen.

4.1.1 Wichtige Krankheiten und Schädlinge

(vergl. dazu CATE et al. 2000, HEITEFUSS et al. 2000)

Der Ernteertrag der Zuckerrübenkultivierung wird durch zahlreiche Krankheiten bedroht. Ziel-führende landbauliche Bekämpfungsmaßnahmen müssen zum gegebenen Zeitpunkt durchgeführt werden. Die wichtigsten Krankheiten im Rübenbau sind die viröse Wurzelbärtigkeit (Rizomania), die viröse Vergilbung, die Blattfleckenkrankheit (Cercospora), die Ramularia-Blattfleckenkrankheit, der Echte Mehltau, der Wurzelbrand, die Späte Rübenfäule u.a. Unter den Schädlingen verursachen vor allem der Moosknopfkäfer, der Erdfloh, der Drahtwurm, die Rüben nematode und die Blattlaus die größten Schäden im Rübenanbau. Im Anhang sind die Krankheiten und Schädlinge der Zuckerrübe sowie deren Ursache und mögliche Bekämpfungsmaßnahmen aufgelistet. Das Ausmaß des Krankheitsverlaufs und des Schädlingsbefalls von Zuckerrübenkulturen ist von den jeweiligen standörtlichen und kleinklimatischen (z. B. Zeitpunkt und Dauer von Regenfällen, Kälteperioden etc.) Gegebenheiten der Ackergebiete abhängig. So besitzen Krankheiten und Schädlingen in unterschiedlichen Gegenden oder Anbaujahren mehr oder weniger große Bedeutung. Aus diesem Grund wurden die Krankheiten und Schädlinge im Rübenbau im Anhang detailliert und nach derzeitigem Kenntnisstand vollständig aufgelistet.

Aufgrund fehlender effektiver chemischer Bekämpfungsmethoden und rascher Ausbreitung stellt der Rübenbefall mit dem Aderngelbfleckigkeitsvirus (BNYVV – beet necrotic yellow vein virus; Rizomania oder „crazy root“ bzw. „root madness“) eine der problematischsten Krankheiten der Zuckerrübe dar. Die Entwicklung von Rizomania-resistenten Sorten ist folglich vorrangiges Ziel der Gentechnik im Zuckerrübenanbau.

4.1.2 Biologie und Schadenspotential von Rizomania

Die Übertragung des Aderngelbfleckigkeitsvirus (BNYVV) erfolgt durch den Bodenpilz *Polymyxa betae*, der als Vektor fungiert. Der Pilz überlebt in unkultivierter Erde in Form von Sporen sogar 15 bis 20 Jahre. Die Sporen keimen besonders gut bei warmen und feuchten Bodenbedingungen. Für die erfolgreiche Einführung des Virus in die Zuckerrübe und für das Ausbrechen der Krankheit ist es notwendig, dass folgende Faktoren gleichzeitig auftreten:

- Der Pilz *Polymyxa betae* muss im Feld vorhanden sein.
- Die Bodentemperatur des Anbaufeldes muss mehr als 15°C aufweisen.
- Bodenfeuchtigkeit ist wichtig für die Zoosporen-Produktion.
- Die Krankheit tritt vor allem in wenig drainagierten Arealen, in verdichteten Böden, entlang von Hängen auf, wo das Wasser zur Bodenoberfläche sickert.

Der pH-Wert spielt für den Infektionserfolg kaum eine Rolle. Im Zuge von menschlicher Aktivität wird das Pathogen häufig von Feld zu Feld transportiert. So erfolgt die Verbreitung zumeist durch infizierte landwirtschaftliche Maschinen, Fahrzeuge, durch den Landwirt selbst, durch umgepflanzte bereits infizierte Zuckerrüben, Wind und andere Faktoren.

Die Krankheit wurde erstmals 1955 für Italien beschrieben. Das erste Auftreten des Virus in Deutschland wurde 1974 im Hessischen Ried registriert, 1994 wurde es erstmals in den neuen deutschen Bundesländern nachgewiesen. 1969 tauchte Rizomania in Japan, 1983 in Kalifornien, 1986 in Texas auf und 1992 wurde sie schließlich in Idaho und Nebraska entdeckt.

Schadensbild von Rizomania

Sowohl junge als auch alte Pflanzen können von der Krankheit betroffen sein. Vor allem frühe Infektionen können zu erheblichen Ernteschäden führen. Neben den mengenmäßigen Ernteverlusten sind vor allem auch ein reduzierter Zuckergehalt und ein niedriger Nitrat-Stickstoffgehalt die Folge. Die Krankheitssymptome manifestieren sich sehr unterschiedlich und umfassen sogar scheinbar gesund aussehende Pflanzen. Das klassische Symptom von Rizomania sind Wurzeln mit einer Vielzahl an feinen haarigen sekundären Wurzeln, von denen die meisten abgestorben sind. Die Blätter sind herabhängend und weisen Entfärbungen auf. Da Rizomania befallene Pflanzen oft auch stark verkümmert sind, treten Beikräuter in den betroffenen Feldteilen häufiger auf.

Die Verbreitung und das Ausmaß der Krankheit variieren zwischen den verschiedenen Anbauregionen, den Feldern und sogar innerhalb des gleichen Feldes während einer einzigen Saison. Auch kann ein Unterschied in der Stärke des Krankheitsverlaufes innerhalb des gleichen Feldes von einer Zuckerrübenwachstumsaison zur nächsten auftreten.

Das Krankheitsausmaß von Rizomania ist abhängig von folgenden Faktoren:

- Häufigkeit des Pathogens im Boden
- Anfälligkeit der angebauten Zuckerrübensorte
- Umweltfaktoren wie vor allem Bodenfeuchtigkeit und –temperatur
- Effektivität von Krankheitskontrollmechanismen in früheren Saisonen

Schadenspotential

In den letzten Jahrzehnten breitete sich Rizomania in den europäischen Zuckerrübenbeständen vor allem vom Süden in Richtung Norden kontinuierlich aus. In Deutschland sind zur Zeit circa 35.000 ha, das sind etwa 7,8 % der gesamten Rüben-Anbaufläche, mit Rizomania infiziert (SCHUPHAN & BARTSCH 2000). Betroffen sind vor allem die Rüben-Anbaugebiete in Süddeutschland, sowie die der neuen deutschen Bundesländer (pers. Mitt. Südzucker AG). Vor etwa zehn bis fünfzehn Jahren stellte die Krankheit aufgrund ihrer massiv fortschreitenden Verbreitung ein großes Problem dar. So wurden beispielsweise in Österreich Spitzenwerte von Ertragseinbußen zwischen 50 bis sogar 80% festgestellt (pers. Mitt. von Herrn Dipl.Ing. KURTZ, BFL).

4.2 Lösungsansätze für den Rizomaniabefall

4.2.1 Standardmaßnahmen gegen Rizomania

Eine zielführende Präventivmaßnahme im Kampf gegen Rizomania ist die Verhinderung der Einführung der Krankheit in infektionsfreie Felder und Regionen bzw. das Einhalten ihrer Ausbreitung (DUFFUS 1986, KAHNT 1986, HERRMANN & PLAKOLM 1993).

Vorbeugende Maßnahmen

1. Züchterische Maßnahmen

Konventionell gezüchtete zufriedenstellende Rizomania-tolerante bzw. -resistente Zuckerrüben-Sorten sind bereits im Handel und sollten für den Zuckerrübenanbau in virusbefallenen Gebieten gewählt werden.

Das Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft (BFL) in Österreich führte in den Jahren 1998 bis 2001 vergleichende Untersuchungen zur Sortenleistung von Normalsorten der Zuckerrübe und von Rizomania- und doppelt- (gegenüber Rizomania und Cercospora) toleranten Sorten jeweils auf virusfreien beziehungsweise –befallenen Standorten in Österreich durch (KREUZER & RIEPPL 2002). Zum Vergleich der Sortenleistung werden im Folgenden Beispiele ausgewählter Sorten mit prozentuellen Angaben zum durchschnittlich (1998-2001) erzielten Rüben- beziehungsweise Zucker-Ertrag gegeben. Der Ertrag einer durchschnittlich zufriedenstellenden Sorte wurde als Vergleichswert mit 100% festgelegt. Die unten in den Tabellen angeführten Sorten mit Ertragszahlen unter 100% lieferten geringere Erträge als die „Standardsorte“. Sorten mit über 100% erzielten vergleichsweise höhere Erträge.

Tabelle 7: Normalsorten auf Standorten ohne Rizomania-Befall

Normalsorte	Rübenenertrag in % im Vergleich zur Standardsorte	Zuckerertrag in % im Vergleich zur Standardsorte
LARISSA	97,8	99,0
KERSTIN	97,9	97,6
SKY	104,2	103,3
DS2019 ¹⁾	111,0	108,9
LUNAR ²⁾	98,0	96,7

¹⁾ Sorte mit dem vergleichsweise höchsten Zuckerertrag

²⁾ Sorte mit dem vergleichsweise niedrigsten Zuckerertrag

Tabelle 8: Rizomania-tolerante Sorten auf Standorten mit Rizomania-Befall

Rizomania-tolerante Sorten	Rübenenertrag in % im Vergleich zur Standardsorte	Zuckerertrag in % im Vergleich zur Standardsorte
REBECCA	106,4	102,9
RIMINI	92,5	95,0
SOFARIZO	101,0	102,0
BRIGITTA ¹⁾	111,9	109,9
TOWER ²⁾	57,6	46,2

¹⁾ Sorte mit dem vergleichsweise höchsten Zuckerertrag

²⁾ Sorte mit dem vergleichsweise niedrigsten Zuckerertrag

Der Auflistung ist zu entnehmen, dass Rizomania-tolerante Sorten in virusbefallenen Regionen in etwa gleich hohe bis sogar höhere (z.B. Sorte Brigitta) Rüben- bzw. Zuckererträge wie Normalsorten in virusfreien Gebieten erzielen können. Der Ertragsfortschritt bei der Zuckerrübe ist sehr hoch und beträgt derzeit bei klassischen Sorten jährlich etwa 1,6 dt bereinigten Zuckerertrags pro Hektar Anbaufläche. Bei Rizomania-toleranten Sorten liegt der momentane Ertragsfortschritt sogar bei etwa 2,3 dt pro Hektar (STRUBE-DIECKMANN 2002). In näherer Zukunft werden vermutlich ausschließlich Rizomania-resistente Zuckerrüben-Sorten angebaut werden. Die Sortenentwicklung bei der Zuckerrübe fokussiert aktuell auf mehrfach resistenten Sorten (z. B. Rizomania-Cercospora-Ramularia-Resistenz; HOCHFELSNER pers. Mitt.).

2. Landbauliche Maßnahmen

- Der passende Standort sollte sorgfältig gewählt werden.
- Kurze Fruchtfolgezyklen sollten vermieden werden.
- Früher Saattermin: Hierbei sollen die Samen der Zuckerrübe in dichtem Abstand zueinander gesät werden, um einen erhöhten Sämlingsverlust aufgrund des kühleren Bodens zu kompensieren. Saatchichte und -tiefe sind wesentliche Faktoren, die den Ernteerfolg mitbestimmen.
- Bei der Kultivierung und auch im Anschluss daran sollte der Boden möglichst trocken gehalten werden. Hierbei müssten eventuell Feld-Drainagierungen verstärkt durchgeführt werden.
- Landwirtschaftliche Produktionspraktiken, die ein schnelles Entstehen eines Blätterdaches der Jungzuckerrüben fördern, sollten angewendet werden. Dadurch wird hohen Bodentemperaturen vorgebeugt, die eine Infektion mit dem Virus begünstigen.
- Eine entsprechend an die regionalen Gegebenheiten angepasste Düngung ist eine wesentliche Komponente im Zuckerrübenanbau.
- Deckpflanzen („cover plants“) sollten angepflanzt werden, um Erosionen zu verhindern.

Reinigungsmaßnahmen

- Ein wichtiger Faktor für das Verhindern von Kontaminationen nicht infizierter Felder ist die sorgfältige Säuberung der zum Einsatz kommenden landwirtschaftlichen Geräte mit Seifenwasser unter Verwendung von Dampfsprühern.

- Vor Betritt eines Rizomania-freien Feldes sollte der Landwirt seine Stiefel oder Schuhe sorgfältig reinigen. Schon geringste Mengen an infizierter Erde können zu einer Infektion eines ganzen Feldes führen.

Zusätzliche Maßnahmen

- Zudem sollte in von Rizomania schwer verseuchten Regionen, sofern möglich, der landwirtschaftliche Verkehr zwischen benachbarten Zuckerrüben-Anbauregionen eingeschränkt werden und keine landwirtschaftlichen Geräte in infektionsfreie Regionen transportiert werden.
- Als Vorbeugungsmaßnahme für Infektionen ist auch das Erkennen von nicht infizierten Feldern wesentlich. Hierbei sollten auch die Felder, die gewöhnlich nicht mit Zuckerrüben bebaut werden, geprüft werden.

Falls bereits Rizomania-Infektion vorliegt, sind folgende zusätzliche Vorgangsweisen notwendig:

Landbauliche Maßnahmen

- In bereits infizierten Feldern sollten keine Zuckerrüben angebaut werden.
- Eine tiefe Bodenbearbeitung sollte durchgeführt werden, um eine Wasserdurchdringung des Bodens zu verhindern.
- Bodenentseuchung: Diese Methode stellt jedoch einen schweren ökologischen Eingriff dar und ist in fast allen Ländern der EU verboten (pers. Mitt. von Herrn Dipl. Ing KURTZ).
- Eine Verlängerung der Fruchtfolge ist oft nur von geringem Erfolg gekrönt, da die Viren im Boden eine lange Überlebenszeit aufweisen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch der Einsatz von Kulturpflanzen, die nicht vom Aderngelbfleckigkeitsvirus befallen werden. Kurze Rotationszyklen sollten in jedem Fall jedoch vermieden werden.
- Infizierte Zuckerrüben sollen erst als letzte Frucht geerntet werden, um einer weiteren Infektion virusfreier Felder durch kontaminierte landwirtschaftliche Maschinen Einhalt bieten zu können.

Zusätzliche Maßnahmen

- Der Verbreitung von mit Rizomania kontaminierter Erde muss entgegengewirkt werden. Erdbewegungen zwischen den Feldern sollten nicht erfolgen.
- Infizierte Zuckerrübenabfälle sollten nicht an Tiere verfüttert werden.
- Landwirtschaftliche Geräte sollten sorgfältig gereinigt werden.

- Schadensschwellen für Rizomania sollten definiert werden.

In der Landwirtschaft ist die Wirkung der Durchführung der aufgelisteten Maßnahme immer klima-, boden- und vor allem auch witterungsabhängig.

4.2.2 Alternativen zur konventionellen Standardmaßnahme

Die in Punkt 4.2.1 aufgelisteten Maßnahmen stehen der konventionellen Landwirtschaft zur Vorbeugung gegen bzw. bei Rizomania-Infektion zur Verfügung. Wie bereits oben erwähnt, steht Bodenentseuchung aufgrund zu befürchtender schwerwiegender Umwelteffekte in den meisten europäischen Ländern nicht zur Diskussion. Zudem wäre diese Maßnahme großflächig gesehen zu teuer. Die mittlerweile Standard gewordene Alternative ist der Einsatz von konventionell gezüchteten Rizomania-resistenten Sorten (siehe 4.2.1).

4.2.3 Einsatz von transgenen Rizomania-resistenten Zuckerrüben

Von 1990 bis 2001 insgesamt 13.620 in der EU gestellten Freisetzungsanträgen steht die Zuckerrübe nach den Kulturpflanzen Mais (478) und Raps (391) mit 331 Anträgen an dritter Stelle (Stand: April 2002; BBA 2002). In Deutschland wurden innerhalb dieses Zeitraums 67 Zuckerrüben-Freisetzung beantragt. Im Jahr 2001 waren allein in Deutschland 213 Standorte für Freisetzung von Zuckerrüben vorgesehen (VERBRAUCHERINITIATIVE 2002).

Die Entwicklung transgener Zuckerrübensorten in der EU fokussiert vor allem auf Herbizidresistenz und Virusresistenz gegenüber Rizomania. Unter den in die EU eingegangenen Freisetzungsanträgen von Rüben sind die Herbizidresistenz mit 306 und die Virusresistenz mit 57 Anträgen zahlenmäßig vorherrschend (BBA 2002; VERBRAUCHERINITIATIVE 2002). In einigen Fällen werden diese beiden Merkmale auch miteinander kombiniert. In der EU liegt zur Zeit kein Antrag auf Inverkehrbringung einer GV-Zuckerrübe vor. Ein Antrag für eine HR-Futterrübe wurde von Dänemark gestellt. Bis dato sind keine gentechnisch veränderten Zuckerrüben in der EU zur Vermarktung zugelassen.

Andere gentechnische Veränderungen der Zuckerrübe in der EU betreffen Insektenresistenz, Pilzresistenz, Stressresistenz, Inhaltsstoffe der Zuckerrübe, Kohlenhydratstoffwechsel, männliche Sterilität und Markergene.

Transgene Rizomania-resistente Zuckerrüben

Die Rizomania-Resistenz der Rübe wird durch die gentechnische Übertragung des Gens eines Virus-Hüllproteins induziert. Diese Resistenz soll die Krankheit der Wurzelbärtigkeit, die durch das Virus Rizomania verursacht wird, unterbinden. Das eingefügte Genkonstrukt besteht aus

dem Gen für die Krankheitsresistenz (Virus-Hüllprotein) und zwei Selektionsmarkern, Kanamycin- und Phosphinothricin-Resistenz (NEEMANN & SCHERWASS 1999).

Die Hüllprotein-Gen vermittelte Strategie wurde bis dato am häufigsten angewendet und stellt eine modifizierte Variante des "cross-protection-Konzepts" dar. Bei dieser sogenannten Kreuzresistenz weisen die Zellen einen Schutz gegen eine Infektion durch pathogene Viren auf, wenn in den Zellen bereits andere Viren vorhanden sind (SANFORD & JOHNSTON 1985).

Zu verschiedenen Risiken bei Vorliegen einer Mischinfektion, wie etwa Symptomverstärkungen (Synergismen), heterologe Enkapsidierung, Helfervirusfunktionen, Entstehung von neuen Viren oder von Viren mit veränderten Virulenzen siehe u.a. FARINELLI et al. (1992) und FALK & BRÜNING (1994). Im Zuge der durchgeführten Begleitforschungen von Freisetzungen Rizomania-resistenter Zuckerrüben konnte bis dato keine Rekombination mit anderen Viren festgestellt werden, was auf den relativ geringen Verwandtschaftsgrad des Rizomania-Virus (beet necrotic yellow vein virus, BNYPV) mit anderen Virusarten zurückgeführt werden kann (KÖNIG et al. 1995).

Auf dem Weg von Auskreuzungen könnte das Resistenz-Merkmal bei Virusbefall die Ausbreitung von Unkrautrüben begünstigen. Unkrautrüben könnten, vor allem bei gleichzeitiger Kombination mit einer Herbizidresistenz, in Agrarökosystemen eine gesteigerte Invasivität erhalten (SCHUPHAN & BARTSCH 2000). Auch im Nicht-Zielökosystem könnte die Virusresistenz bei Befall der Wildpflanzen, die das Merkmal durch Einkreuzung aufgenommen haben, einen Selektionsvorteil darstellen. Virosen in Wildpflanzen sind bis dato nur sehr unzureichend erfasst (DANNEBERG & DRIESEL 1997; ECKELKAMP et al. 1997).

4.2.4 Zuckerrübenanbau im Ökologischen Landbau

Trotz der Empfindlichkeit der Kulturen gegenüber Krankheiten und Schädlingen und des intensiven Pflegeaufwandes kann die Zuckerrübe auch ökologisch angebaut werden. Aufgrund ihrer bis dato oft noch unzufriedenstellenden Hektarerträge ist ihr Anbau in Deutschland jedoch noch in einer Art Versuchsstadium (pers. Mitt. Südzucker AG). Mit einer zukünftigen Ausdehnung der Anbauflächen im Biolandbau ist dennoch zu rechnen (BIO-SUISSE 2002). Das entsprechende „Know how“ für den anspruchsvollen ökologischen Anbau der Zuckerrübe ist bereits vorhanden. Probleme ergeben sich jedoch aufgrund des großen Arbeitsaufwands. Statt chemischer Unkrautvernichtung ist das Jäten von Hand nötig. Vergleichsuntersuchungen zwischen herbizid-behandelten und unbehandelten Äckern haben jedoch gezeigt, dass in Zuckerrübenfeldern bei völliger Ausschaltung der Ackerbeikräuter (v.a. durch Voraufbauherbizide) bestimmte Schädlinge wie etwa die Schwarze Rübenblattlaus, der Moosknopfkäfer, die Rübenfliege, die Eulenraupe und schädliche Doppelfüßer weit häufiger auftraten, als in Beständen mit Restverunkrautung (HERRMANN & PLAKOLM 1993). Die Ursache dafür scheint darin zu liegen, dass von machen

Schädlingen bestimmte Beikräuter den Kulturpflanzen vorgezogen werden, wie etwa von bestimmten Blattläusen Pflanzenarten aus der Familie der Kreuzblütler. Diese Schädlinge befallen erst dann Zuckerrüben, wenn keine oder zu wenige Unkräuter verfügbar sind. Auch wurden nützliche Insekten häufiger in verunkrauteten Feldern vorgefunden. Mischsaaten verschiedener Kulturpflanzen können den Befallsdruck von Schädlingen ebenfalls vermindern. Die Erforschung des gezielten Einsatzes von Untersaaten, Deck- und Mischfrüchten, sowie deren praktische Erprobung stehen jedoch erst am Anfang. Ein Nachteil dieser Strategie ist jedoch der große Bearbeitungsaufwand. Feuchtes Wetter erschwert zudem den Bioanbau von Zuckerrüben.

Mit Ausnahme der Bodenentseuchung können die in Punkt 3.2.1. angeführten Maßnahmen im Ökolandbau ebenfalls zur Anwendung kommen. Auch im ökologischen Landbau sind bereits konventionell gezüchtete Rizomania-resistente Sorten verfügbar und zugelassen (pers. Mitt. Südzucker AG).

4.3 Umweltrelevante Effekte

Im Gegensatz zum ökologischen Anbau der Zuckerrübe (mechanische Unkrautbekämpfung) wird bei der konventionellen Bewirtschaftung ein intensiver Einsatz von Herbiziden durchgeführt. Diese werden vor allem gegen die Spätverunkrautung der Felder (v.a. Amarant und Gänsefuß) eingesetzt (vergl. dazu STRUBE-DIECKMANN 2002). Die Anwendung von Insektiziden erfolgte vor einigen Jahren noch im Rübenbau gegen Blattläuse. Aufgrund der heute üblichen Saatgutbeizung ist eine Behandlung mit Insektiziden aktuell nicht mehr von Nöten (HOCHFELSNER pers. Mitt.). Hingegen kommt dem Fungizid-Einsatz im konventionellen Zuckerrübenanbau noch wesentliche Bedeutung zu.

Für eine mögliche Ausbreitung von Transgenen und die damit möglicherweise verbundenen nachteiligen Effekte ist die Betrachtung des Verwilderungs- und Auskreuzungspotentials für die Risikoabschätzung transgener Zuckerrüben von Bedeutung.

Verwilderung der Zuckerrübe

Durch den Transport auf Lastwagen können Zuckerrüben entlang von Transportwegen verschleppt werden. Allerdings sind Rüben sehr frostempfindlich und neigen nach Frosteinwirkung schnell zum Faulen. Nach NEEMANN & SCHERWASS (1999) kann jedoch der verwilderten Zuckerrübe unter günstigen Bedingungen dennoch eine erfolgreiche Überwinterung gelingen. Die Verwilderung der in Kultur gehaltenen Zuckerrübe ist demnach grundsätzlich möglich, verwilderte Rüben werden sogar relativ häufig außerhalb ihrer Anbaufelder gefunden. Nach DE VRIES et al. (1992) existieren jedoch keine Hinweise für eine stabile Etablierung der verwilderten Kulturform unter natürlichen Bedingungen, das heißt, außerhalb ihrer Kulturen. Die vegetative Ü-

berdauerung ist unter günstigen Bedingungen nach dem Abschlagen des Rübenkopfes auch durch ein während der Ernte vollständig erhaltenes Epicotyl möglich. Ein Gentransfer über Auskreuzung zwischen der Kulturform und der verwilderten Form ist möglich und auch wahrscheinlich.

Der Rübenanbau erfolgt prinzipiell nur vegetativ. Die Rüben werden bereits im ersten Jahr geerntet. So kommt es zu keiner Pollenverbreitung in vegetativen Beständen. Ein Problem stellen jedoch die sogenannten „Unkraut-/Schosserrüben“ dar. Das sind Zuckerrübenpflanzen, die im Bestand nicht aus dem mit der Saat abgelegten Saatgut erwachsen sind, sondern Pflanzen, die aus unkontrolliert versamten Rüben, zum Beispiel durch Kälteinduktion, entstanden sind (siehe dazu auch GOLLMANN & PASCHER 1998). Ihr unregelmäßiges und nestartiges Auftreten innerhalb von Beständen ist typisch. Ihre Samen entstammen von Schossern von Zuckerrübenbeständen früherer Jahre, die nicht rechtzeitig entfernt wurden. Bis zu mehrere tausend Samen können von einer einzigen Pflanze produziert werden. Vor allem in Gegenden mit Wildrüben-Vorkommen kann es mit diesen Schosserrüben zum Genaustausch kommen, wenn diese nicht rechtzeitig vor der Blüte entfernt wurden.

Die Samen von *Beta*-Rüben sind generell nicht winterhart. In tieferen Bodenschichten ist jedoch die Bildung einer Samenbank möglich. Unter diesen Voraussetzungen bleiben Zuckerrübensamen über mehrere Jahre keimfähig (LONGDEN 1976). So können sich Unkrautrübenpopulationen auf nicht kontrollierten, brachgefallenen bzw. stillgelegten Äckern auch langfristig halten (NEEMANN & SCHERWASS 1999).

Wilde verwandte Arten der Zuckerrübe

Die folgenden Arten der Gattung *Beta* kommen laut TUTIN et al. (1964) in Europa vor:

- *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* (verwilderte Kulturformen)
- *B. vulgaris* subsp. *maritima*
- *B. macrocarpa*: in ihren Beständen stark zurückgehend: im Südteil der mediterranen Region (hier sehr lokal vorkommend), ein Vorkommen für Südportugal gemeldet.
- *B. patellaris*: im Aussterben begriffen, felsige Meeresküsten, Südost-Spanien (nahe Almeria)
- *B. trigyna*: Südosteuropa, vom ehemaligen Ostjugoslawien bis zur Region Krim, gelegentlich auch außerhalb dieser Regionen eingebürgert (z.B. in Österreich; ADLER et al. 1994, GOLLMANN & PASCHER 1998)
- *B. nana*: im Aussterben begriffen, im Bereich von Schneefeldern in den Bergen von Griechenland vorkommend (z.B. Parnassas, Taiyetos)

Von den aufgelisteten Arten haben vor allem *B. vulgaris* subsp. *maritima* und alle Kulturformen (auch verwildert) von *B. vulgaris* subsp. *vulgaris* als potentielle Kreuzungspartner der Zuckerrübe hohe Relevanz. Es bestehen keine Kreuzungsbarrieren zwischen wilden und kultivierten Formen von *B. vulgaris* (BARTSCH & POHL-ORF 1996). RAYBOLD & GRAY (1993) stufen die Wahrscheinlichkeit für Genfluss zwischen Wild- und Kulturformen für Großbritannien sogar als hoch ein. Bei Introgression von Wildmerkmalen in Kulturformen können die Pflanzen, die dem Saatgut solcher Hybridisierungen entstammen, ein gesteigertes invasives Potential erhalten. Die anderen genannten Arten sind von ihrem Standort her gesehen, der sich nicht mit Zuckerrüben-Anbauregionen überschneidet, und von der Seltenheit ihres Auftretens, als weniger relevant zu beurteilen. Es liegen jedoch Nachweise vor, dass auch *B. macrocarpa* mit *B. vulgaris* hybridisieren kann (ABE et al. 1987, BARTSCH & ELLSTRAND 1999).

In den folgenden Ausführungen wird auf die relevanten Hybridisierungspartner von *B. vulgaris* eingegangen:

Gebiete, in denen verschiedene Wildformen von *Beta* gefunden wurden, sind vor allem der nordafrikanische, asiatische und europäische Mittelmeerraum (BORNSCHEUER 1986). Die Stammsippe der Zuckerrübe, *B. vulgaris* subsp. *maritima*, ist eine für gewöhnlich perennierende, sehr formenreiche und anpassungsfähige Wildpflanze. Ihre Samen bleiben mehr als zwanzig Jahre im Boden lebensfähig. Sie kommt im mediterranen Raum und an den westlichen europäischen Küsten bis zur Ostsee vor (DE VRIES et al. 1992). Ihr Kernverbreitungsgebiet beschränkt sich auf die Küsten des Mittelmeeres und des Atlantischen Ozeans (VOLLMER 1986). *B. vulgaris* subsp. *maritima* wanderte dann über die asiatischen Steppen und Wüsten bis nach Vorderindien, in westlicher Richtung bis zu den Kanarischen und Kapverdischen Inseln und nördlich nach Schottland und bis zum südlichen Skandinavien. Entsprechend groß ist ihre Anpassungsfähigkeit und Variabilität. Die bevorzugten Standorte von *B. vulgaris* subsp. *maritima* sind vor allem Meeresufer (typische Küstenart), hier vor allem sandige und steinige Strände in den stickstoffreichen Spülsäumen der Wintersturmfluten (SUKOPP & SUKOPP 1993), Häfen und Hochwassermarken. Sie kommt in süd- und westeuropäischen Strandwallgesellschaften vor. Sie ist Cakiletea-Klassencharakterart und lokale Charakterart des Beto-Atriplicetum sab (OBERDORFER 1990). Der Zuckergehalt ihrer Rübe schwankt zwischen 0,3 bis über 20%.

Die Kreuzung zwischen *B. vulgaris* subsp. *vulgaris* und *B. vulgaris* subsp. *maritima* ist möglich und ergibt fertile Hybriden. Die Bildung von Hybriden wurde bereits auch unter natürlichen Bedingungen, das heißt, außerhalb der Anbauflächen, beobachtet (DE VRIES et al. 1992). Hybridisierungen finden unter natürlichen Bedingungen dort statt, wo die Zuckerrübe in enger Nachbarschaft zur wild vorkommenden *B. vulgaris* subsp. *maritima* angebaut wird. So wurden Unkrautrüben in Zuckerrübenfeldern in Frankreich (BOUNDRY et al. 1993, DESPLANQUE et al. 1999) und in England (HORNSEY & ARNOLD 1979, FORD-LLOYD & HAWKES 1986) als natürliches Kreuzungsprodukt zwischen der Zuckerrübe und der Meeresrübe (Seemangold) gefun-

den. Genetische Beweise für Genfluss von kultivierten Zuckerrübensamen-Produktionsfeldern in nahegelegene wilde Meeresrübenpopulationen fanden BARTSCH et al. (1999) in Nord-Ost Italien. Demzufolge sind geographische „hotspots“ für Gentransferereignisse in Samenproduktionsgebieten, wie im östlichen England, in Südwest-Frankreich und in Nordost-Italien lokalisiert. Erste Monitoringstudien werden bereits in ausgewählten Regionen von England, Frankreich, Italien, Deutschland und Dänemark durchgeführt, und zwar dort, wo Wildrüben als Bestandteil natürlicher Vegetation gefunden werden können (working group: „Environmental implications of gene flow from genetically modified sugarbeet to seabeet“, Treffen in Brugine bei Venedig, 17.-20. Mai 2001).

In der Risikoabschätzung von gentechnisch veränderten Zuckerrüben haben vor allem auch die verschiedenen Kulturformen von *B. vulgaris* als wesentliche potentielle Kreuzungspartner höchste Relevanz. Die Formenmannigfaltigkeit von *B. vulgaris* subsp. *vulgaris* basiert auf der Ebene von Variation. So ist folglich zwischen diesen Kulturarten eine äußerst enge genetische Verwandtschaft gegeben. Aufgrund der möglichen Hybridisierung zwischen Wild- und Kulturformen bestehen in Saatgut-Vermehrungsgebieten von Zuckerrüben große Schwierigkeiten bezüglich der Sortenreinhaltung (SUKOPP & SUKOPP 1993). Auch kann es in Gärten zu Einkreuzungen in dort gepflanzte *Beta*-Arten kommen.

Die Gattung *Beta* nimmt innerhalb der Familie der Chenopodiaceae eine relativ isolierte Sonderstellung ein. Folglich ist eine erfolgreiche Bildung von fertilen Hybriden zwischen *Beta* und den Arten anderer Gattungen der Familie, wie etwa *Atriplex*, *Bassia*, *Camphorosma*, *Chenopodium*, *Corispermum*, *Krascheninnikovia*, *Polychemum*, *Salicornia*, *Salsola*, *Spinacia*, *Suaeda*, u.a., nicht zu erwarten.

4.4 Fazit

Die Viruskrankheit Rizomania war im Zuckerrübenanbau vor etwa zehn bis fünfzehn Jahren von höchster Brisanz. Damals noch lagen alle Hoffnungen zur Bekämpfung des Virus in der Gentechnik. In den letzten Jahren wurden jedoch bereits große Fortschritte und Erfolge in der konventionellen Züchtung virustoleranter bzw. -resistenter Sorten erzielt. Heute sind eine Reihe konventionell gezüchteter Rizomania-resistenter Sorten am Markt (KREUZER & RIEPPL 2002). Die verfügbaren Sorten haben sich bereits als äußerst zufriedenstellend erwiesen. Sie übertreffen sogar das Ertragspotential nicht resistenter Sorten in virusfreien Regionen. Auch im Ökolandbau sind bereits konventionelle Resistenzsorten zugelassen. Der zielführendste Faktor in der Bekämpfung von Rizomania ist demzufolge der Einsatz von Rizomania-toleranten bzw. -resistenten Sorten. Da bereits auf konventionellem Wege äußerst zufriedenstellende virusfreie

Zuckerrübensorten entwickelt sind, ist derzeit kein akuter Bedarf an gentechnisch erzeugten Rizomania-resistenten Sorten gegeben.

Neben dem Einsatz virusfreier Sorten haben die unter Punkt 4.2.1 angeführten Maßnahmen zur Verhinderung der Infektion mit Rizomania beziehungsweise zum Einhalt der Viruserkrankung unterstützende Funktion.

4.5 Literatur

- ABE J., TSUDA C.H. 1987: Genetic analysis for allozyme variation in the section *Vulgares*, genus *Beta* JPN. J. Breed 37: 253-261.
- ADLER W., OSWALD K., FISCHER R. 1994: Exkursionsflora von Österreich: Bestimmungsbuch für alle in Österreich wildwachsenden sowie die wichtigsten kultivierten Gefäßpflanzen (Farnpflanzen und Samenpflanzen) mit Angaben über ihre Ökologie und Verbreitung. Ulmer-Verlag, Stuttgart, Wien: pp. 1180.
- BAROCKA K.H. 1985: Zucker- und Futterrüben. In: Hoffmann, W., Mudra, A. & Plarres, W. (Ed.): Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Band 2: Spezieller Teil. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg: 245-287.
- BARTSCH D., ELLSTRAND N.C. 1999: Genetic evidence for the origin of Californian wild beets (genus *Beta*). Theor.Appl.Genet. 99: 1120-1130.
- BARTSCH D., POHL-ORF M. 1996: Ecological aspects of transgenic sugar beet: Transfer and expression of herbicide resistance in hybrids with wild beets. Euphytica 91: 55-58.
- BARTSCH D., LEHNEN M., CLEGG J., POHL-ORF M., SCHUPHAN I., ELLSTRAND N.C. 1999: Impact of gene flow from cultivated beet on genetic diversity of wild sea beet populations. Molecular Ecology 8, 1733-1741.
- BECKER H. 1993: Pflanzenzüchtung. Lehrbuch. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT (BBA) 2002: BioSearch-BBA-Database: Das Informationssystem zur Gentechnik. Tabelle: Anträge zur Freisetzung von GVP: wichtigste Kulturpflanzen. Stand: April 2002: <http://www.bba.de/gentech/gentab.htm>
- BIO-SUISSE 2002: Themenbereich Ackerkulturen und Marktinformation: <http://www.bio-suisse.ch>
- BORNSCHEUER E. 1986: Zucker und Futterrüben (*Beta vulgaris* L.). In: Oehmichen, J. (Hrsg.) 1986: Pflanzenproduktion. Berlin, Hamburg, Parey-Verlag, Band 2, Produktionstechnik: 385-427.
- BOUDRY P., MÖRCHEN M., SANMITOU-LAPRADE P., VERNET P., VAN DIJK H. 1993: The origin and evolution of weed beets: consequences for the breeding and release of herbicide-resistant transgenic sugar-beets. Theoretical and Applied Genetics 87: 471-478.
- BROUWER W., STÄHLIN I., CAESAR K. 1976: Die Beta-Rüben (Futter- und Zuckerrübe). In: Brouwer, W. (Hrsg.): Handbuch des speziellen Pflanzenbaus. Band 2, Verlag Paul-Parey, Berlin, Hamburg: 188-387.

- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMVEL) 2002: Themenkreise Agrarpolitik, Landwirtschaft und Wirtschaftsdaten, insbesondere Ernährungs- und agrarpolitischer Bericht 2002 der Bundesregierung <http://www.verbraucherministerium.de/landwirtschaft/ab-2002/ab02/textband/tb-a.htm>
- CAMPELL G.K.G. 1976: Sugar beet – *Beta vulgaris* (Chenopodiaceae). In Simmonds, N.N. (Ed.): Evolution of crop plants. Longman, London: 25-28.
- CATE P., KURTZ E., KLAPAL H. 2000: Krankheiten, Schädlinge und Nützlinge im Rübenbau. 3. neubearb. und erw. Auflage: pp. 96.
- DANNEBERG G., DRIESEL A. 1997: Mögliche Wirkungen auf die Umwelt bei gentechnischen Arbeiten mit Phytopathogenen. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 58/97: 44-45.
- DESPLANQUE B., BOUNDRY P., BROOMBERG K., SAUMITOU-LAPRADE P., CUGUEN J., VAN DIJK H. (1999): Genetic diversity and gene flow between wild, cultivated and weedy forms of *Beta vulgaris* L. (Chenopodiaceae), assessed by RFLP and microsatellite markers. Theor. Appl. Genet. 98: 1194-1201
- DUFFUS J.E. 1986: Rizomania (Beet Necrotic Yellow Vein). In: Compendium of Beet diseases and insects. APS Press, St. Paul, MN: 29-30.
- ECKELKAMP C., JÄGER M., WEBER B. 1997: Risikoüberlegungen zu transgenen virusresistenten Pflanzen. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA-Texte: 59/97, 97.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION 2001: Die Landwirtschaft in der Europäischen Union. Statistische und wirtschaftliche Informationen 2000: http://europa.eu.int/comm/agriculture/agrista/2000/table_de/
- FALK B.W., BRÜNING G. 1994: Will transgenic crops generate new viruses and new diseases? Science, 263: 1395-1396.
- FARINELLI L., MALNOÉ P., COLLET G.F. 1992: Heterologous Encapsidation of Potato Virus Y Strain O (PVY-O) with the Transgenic Coat Protein of PVY Strain N (PVY-N) in *Solanum tuberosum* cv Bintje. Bio/Technology 10: 1020-1025.
- FORD-LLOYD B.V., HAWKES J.G. 1986: Weed beets, their origin and classification. Acta Horticultura 82: 399-401.
- GEISLER G. 1988: Pflanzenbau. Ein Lehrbuch - biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion. 2. Auflage, Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- GOLLMANN G., PASCHER K. 1998: Freisetzung gentechnisch veränderter Zuckerrüben: Einschätzung der Situation in Österreich. In: Bundeskanzleramt Sektion VI (Hrsg.): Ökologische Risikoabschätzung von gentechnisch veränderten Pflanzen. Forschungsberichte 10/98, Anhang: 1-26.
- HEITEFUSS R., KÖNIG K., OBST A., RESCHKE M. 2000: Pflanzenkrankheiten und Schädlinge im Ackerbau. 4. überarb. und erw. Auflage, DLG-Verlag, Verlagsunion Agrar, Frankfurt am Main: pp. 165.
- HERRMANN G., PLAKOLM G. 1993: Ökologischer Landbau. Grundwissen für die Praxis. 2. Auflage. Österr. Agrarverlag Wien: pp. 428.
- HORNSEY K.G., ARNOLD M.H. 1979: The origin of weed beet. Annuals of Applied Biology 92: 279-285.
- KAHNT G. 1986: Biologischer Pflanzenbau: Möglichkeiten und Grenzen biologischer Anbausysteme. Stuttgart, Ulmer-Verlag: pp. 228.
- KÖNIG R., LESEMANN D.-E., MAISS E. 1995: Attempts to effects in transgenic sugarbeet expressing the coat protein gene of beet necrotic yellow vein virus (BNYVV). Mitt.d. Biolog. Bundesanstalt, Heft 309: 31-38.

- KREUZER H., RIEPPL J. 2002: Zuckerrüben, ein- und mehrjährige, Wertprüfung 1998 – 2001. Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft (BFL), Schriftenreihe 4/2002, Inst. f. Pflanzenbau, Heft 490, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: pp. 89.
- LANDWIRTSCHAFTLICHER INFORMATIONSDIENST ZUCKERRÜBE (LIZ) 2002: Entscheidungshilfen für den Zuckerrübenanbau: <http://www.liz-online.de>.
- LONGDEN P.C. 1976: Annual beet: problems and Prospects. *Pestic.Sci.* 7: 422-425.
- NEEMANN G., SCHERWASS R. 1999: Materialien für ein Konzept zum Monitoring von Umweltauswirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-Texte 52/99.
- OBERDORFER E. 1990: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. 6. überarb. u. erg. Auflage, Ulmer-Verlag, Stuttgart: pp. 1050.
- OLTMANN W., BURBA M., BOLZ G. 1984: Die Qualität der Zuckerrübe, Bedeutung, Beurteilungskriterien und züchterische Maßnahmen zu ihrer Verbesserung. Parey Verlag, Berlin und Hamburg.
- RAYBOULD A.F., GRAY A.J. 1993 Genetically modified crops and hybridization with wild relatives: a UK perspective. *J. Appl. Ecol.* 30, 199-219.
- SANFORD J.C., JOHNSTON S.A. 1985: The concept of parasite-derived resistance - deriving resistance genes from the parasite's own genome. - *J. Theor. Biol.* 113: 395-405.
- SCHUPHAN I., BARTSCH D. 2000: Einfluss gentechnisch erzeugter Virusresistenz auf das ökologische Verhalten von Kultur- / Wildrübenhybriden. Abschlussbericht, im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Forschung und Technologie (BMBF), Technische Hochschule Aachen: <http://www.rwth-aachen.de>.
- STRUBE-DIECKMANN 2002: Zielsetzung der Zuckerrübenzüchtung. Züchtung → Ertrag. http://www.strube-dieckmann.de/zuechtung/st_ertrag.htm
- SUKOPP U., SUKOPP H. 1993: Das Model der Einführung und Einbürgerung nicht heimischer Arten. Ein Beitrag zur Diskussion über die Freisetzung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen. *GAIA* 2: 267-288.
- TUTIN T.G., HEYWOOD V.H., BURGESS N.A., VALENTINE D.H., WALTERS S.M., WEBB D.A. (Hrsg.) 1964: *Flora Europaea*, Vol. 1: Lycopodiaceae to Platanaceae. Cambridge, Univ.Press.
- VERBRAUCHERINITIATIVE e.V. 2002: Transparenz für Gentechnik bei Lebensmitteln. Transgen-Datenbank: „Zuckerrübe“ http://www.transgen.de/Suchen/transgen_db.php?id=13
- VOLLMER F.-J. 1986: Allgemeines. In: Oehmichen, J. (Hrsg.) 1986: Pflanzenproduktion. Berlin, Hamburg, Parey-Verlag, Band 2, Produktionstechnik: 377-382.
- VRIES F.T. de, MEIJDEN R., van der 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. In: Holverda, W.J., Meijden, R. van der & Werker, C.M. (Eds.): *Gorteria Supplement 1*. Albasserdam, Niederlande.
- WIRTSCHAFTLICHE VEREINIGUNG ZUCKER 2002: Themenkreis: Zuckermarkt: <http://www.zuckerwirtschaft.de>.

5 FALLBEISPIEL KARTOFFEL MIT VERÄNDERTER STÄRKEZUSAMMENSETZUNG

Tabelle 9: Biologische Grundlagen der Kartoffel (*Solanum tuberosum*)

Taxonomie	Ordnung: Solanales, Familie: Solanaceae, Gattung: <i>Solanum</i> , Art: <i>S. tuberosum</i>
geographische Verbreitung verwandte Arten, Anbau-gebiete	Die Kartoffel ist eine rund 7000 Jahre alte Kulturpflanze Südamerikas, die im 16. Jahrhundert in Europa eingeführt wurde und mittlerweile nahezu weltweit verbreitet ist (SOJA & SOJA 1995). In Südamerika, wo über 230 Wildarten der Kartoffel bekannt sind, werden noch 7 weitere Kartoffelarten kultiviert. Andere Kulturpflanzen dieser Gattung sind die Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>), die Eierfrucht (<i>Solanum melongena</i>), Naranjillo (<i>Solanum quitoense</i>) und die Birnenmelone (<i>Solanum muricatum</i>). In Europa kommen zahlreiche Wildpflanzen dieser Gattung vor (Mitteleuropa: z.B. <i>S. dulcamara</i> , <i>S. nigrum</i> , <i>S. villosum</i> , <i>S. alatum</i>), wobei keine Hybridisierungen mit der Kartoffel bekannt sind.
Blühbiologie	Die Einzelblüte ist je nach Umweltbedingungen und Sorte 2-3 Tage funktionsfähig. Normalerweise liegt Selbstbestäubung vor, aber auch Fremdbestäubung durch Wind oder einige wenige Insektenarten (Hummeln und Schwebfliegen, <i>Leioproctus</i> ssp., <i>Anthophora incerta</i>) durch Vibration ist - selten aber doch - möglich (BURTON 1989). Viele Sorten der europäischen Kulturkartoffel blühen jedoch normalerweise nicht (tw. Pollen- und weiblicher Sterilität). Kartoffelblüten geben keinen Nektar ab und nur wenig Pollen ist verfügbar, sodass Insektenbesuche selten sind (DE VRIES et al. 1992).
Pollenreichweite	Die Windverbreitung wird mit < 10m angegeben, wobei Pollen über Insekten auch über größere Distanzen verbreitet werden kann.
Nährstoffbedarf	Der Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz (1993) empfiehlt bei Spät- und Industriekartoffeln je nach Ertragslage Düngermengen von 90 bis 140kg/ha Stickstoff. BISCHOFF & DIEPENBROCK (1995) empfehlen für mitteldeutsche Trockengebiete bei mittleren Ertragserwartungen von 350 dt/ha (N-Entzug Sproß + Knolle 200-250 kg N/ha) und einem durchschnittlichen Bodenvorrat im Frühjahr von 82 kg N/ha sowie einer zu erwartenden N-Nachlieferung von 80-100 kg N/ha einen Düngeraufwand von 60-90 kg N/ha.

5.1 Grundlagen des Kartoffelanbaus

Die Kartoffel gedeiht im gemäßigten Klima bei ausreichender Bodenfeuchte, wobei nur wenige Sorten eine leichte Frosttoleranz bzw. eine Toleranz gegen höher Temperaturen aufweisen. Verglichen mit anderen Kulturpflanzen reagiert die Kartoffel sehr empfindlich auf Übernässung und Trockenstreß (ertragsbestimmende Faktoren). Nicht nur die Gesamtmenge, sondern v.a. die Verteilung der Niederschläge ist für die Ertrags- und Qualitätsbildung der Kartoffel wichtig.

Zur Kultur werden die Saatkartoffeln nach Abklingen der Nachtfröste im April oder Mai in Reihen gelegt und später nach dem Auflaufen der Keime gehäufelt, um die Stolonenbildung zu fördern. Die Knollenbildung wird durch kurze Tage (Tageslänge unter 14 h) und mittlere Bodentemperaturen (Nachttemperaturen 15-18 °C) gefördert. Nach 5 Monaten, wenn die Blätter absterben, sind die Sproßknollen reif und haben den maximalen Stärkegehalt erreicht. Sie werden mit Rodern geerntet und in frostfreien Räumen bei optimal 4-6 °C gelagert.

Für den Kartoffelbau sind die meisten Böden gut geeignet, lediglich sehr schwere und tonige Böden erweisen sich als ungünstig, da für ein gutes Knollenwachstum ein lockeres Gefüge notwendig ist, das auf diesen Böden kaum erreicht werden kann. Auch steinhaltige Böden sind ungeeignet, da hierdurch die Ernteverfahren beeinträchtigt werden und während der Ernte eine Beschädigung der Kartoffelknollen nicht vermieden werden kann. Die günstigsten Ertragsvoraussetzungen finden sich auf milden Lehm Böden und mittleren Sandböden, die aufgrund ihres Gefüges und leichter Erwärmbarkeit für den Kartoffelanbau besonders geeignet sind. Auch die Kartoffelqualität wird durch den Boden mitbestimmt. Der Kartoffelanbau für die industrielle Verarbeitung zu Veredelungsprodukten liefert am ehesten auf strukturstabilen Lehm Böden gleichmäßige Qualitäten (HOFFERBERT 1986). Nach POTHS (1992) sind leichte und mittelschwere Böden gut für Konsumkartoffeln geeignet (nach SOJA & SOJA 1995).

Aufgrund ihrer geringen Konkurrenzkraft bis zum Reihenschluß ist eine intensive Beikrautkontrolle erforderlich. Für gute Erträge muß eine ausreichende Bodenfeuchte gegeben sein, bzw. bewässert werden.

Kartoffeln können hinsichtlich ihres Anbaus in 5 Gruppen eingeteilt werden: Frühkartoffeln, mittelfrühe und späte Speisekartoffeln, Veredelungskartoffeln, Industriekartoffeln (zur Stärkegewinnung und Alkoholproduktion) und Pflanzkartoffeln. Der Futterkartoffelmarkt verwendet Speisekartoffeln (Überschüsse, schlechte Qualität), (LANDESANSTALT FÜR ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT 2001).

Anbauregionen und Kartoffelmarkt

Die Kartoffel zählt zu den wichtigsten Kulturpflanzen der Erde. Sie besitzt mit 17,9 Mio. Hektar nach Weizen, Reis und Mais die weltweit viertgrößte Anbaufläche. Die wichtigsten Kartoffelproduzenten sind Europa, GUS, China, Indien, Kanada und USA.

Die Kartoffel ist eine wichtige Kulturpflanze in der EU, wobei aus klimatischen Gründen im nördlichen Teil ein höherer Anbau stattfindet. Bezogen auf die Anbaufläche (in der EU 2001: 1.321.000 ha) sind die wichtigsten Erzeugerländer Deutschland, Niederlande, Frankreich, Großbritannien und Spanien. In der EU betrug die Menge der verwerteten Kartoffeln 1998/99 insgesamt 42.821.000t, davon Nahrungsverbrauch 27.731.000 t, industrielle Verarbeitung 7.179.000 t, Verfütterung 2.043.000 t, Saatgut 2.977.000 t (LANDESANSTALT FÜR ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT 2001).

In den letzten Jahrzehnten ist der Kartoffelbau in vielen Industrieländern sehr stark zurückgegangen. Gründe dafür sind veränderte Ernährungsgewohnheiten (Verminderung der körperlichen Beanspruchung der Menschen im Beruf und steigender Wohlstand) und der Einsatz von Mais und Sojabohne statt Kartoffeln in der Fütterung (v.a. Schweinemast).

Neben der Spritfabrikation wird v.a. die gewonnene reine Stärke als Dickungsmittel, Puddingpulver, Klebstoff, Appreturmittel für Textilien und in der Papierfabrikation verwendet (FRANKE 1981). In der Stärkeindustrie sind die Verarbeitungsmengen aufgrund der neuen industriellen Möglichkeiten stark angestiegen (z.B. Deutschland von 439.000 t [1975/76] auf 2.978.000 t [1999/00]). Seit 1995 gilt in der EU die Kontingentierung der Kartoffelstärke (für Deutschland mit 656.298 t pro Jahr verteilt auf neun Stärkefabriken).

Züchtungsziele

Die konventionelle Pflanzenzucht zielt auf neue Hochleistungssorten, Frost- und Dürre-resistenz sowie Schädlings- und Krankheitsresistenz ab. Sowohl mittels konventioneller Hybridsorten und Sorten mit gentechnisch erhöhtem Stoffwechsel, wird versucht die Erträge zu steigern (ein durchschnittlicher Praxisertrag der Industriekartoffel liegt bei 350 dt/ha bei Spitzenwerten in der Leistungsprüfung bis 550 dt/ha). Bei Stärkekartoffeln wird zusätzlich versucht, die Stärkequalität (z.B. Amylosefreiheit) auf die Anforderungen einer industriellen Nutzung hin auszurichten.

Neben Krankheits- und Schädlingsresistenz (z.B. ist der Kartoffelschorf, der eine rauhe Knollenoberfläche verursacht, auch nachteilig für die Stärkeverarbeitung, da ein erhöhter Erdanteil in der Kartoffellieferung vorhanden ist) wird auch auf neue spezifische Eigenschaften, welche für die industrielle Verarbeitung vorteilhaft sind, Wert gelegt. Die Züchtungsziele der Industriekartoffel konzentrieren sich im Unterschied zur Speisekartoffel (Schalen-, Fleischfarbe, Koch- und Geschmackseigenschaften) auf höhere Stärkegehalte und –ausbeuten und neue Stärkequalitäten (z.B. Amylosefreiheit) bzw. auf eine Reduktion bestimmter störender oder toxischer Proteine, die im industriellen Verarbeitungsprozeß zu einer Abwasserbelastung führen (z.B. Solanin). Aus dem Prozeßwasser können nämlich noch Proteine als Futterkomponente gewonnen werden. Da die heutigen Industriekartoffel späte Sorten sind, stellt bei der Ernte die Trennung von Kraut und Knolle ein Problem dar, das ebenfalls mittels Züchtung gelöst werden soll.

5.1.1 Wichtige Krankheiten und Schädlinge

Krankheiten und Schädlinge spielen für Ernteauffälle eine große Rolle. Weltweit sind große Probleme mit den Virenerkrankungen PLRV (Blattrollkrankheit) und PVY (Strichelkrankheit, Potato Virus Y) sowie mit Phytophthora im Kartoffelanbau vorhanden.

Weitere Krankheiten sind die Kräuselkrankheit (schweres Mosaik A-Virus, PVA, Potyviren), die Mosaik- (M-Virus, PVM, Carlaviren), sowie die Rollmosaikkrankheit (Potato Virus X, PVX), die Dörrfleckenkrankheit (*Alternaria solani*) und die Wurzeltöterkrankheit (*Rhizoctonia solani*). Bestimmte Krankheiten sind für die Industriekartoffel nicht relevant, da diese nur Schäden in der Vermarktung als Speisekartoffel darstellen. Weiter können durch schwankendes Wasserangebot Zwiewuchs, Kindelbildung, Durchwuchs, Glasigkeit, Nabelendfäule, Wachstums- und Schalenrisse verursacht werden (nach SOJA & SOJA 1995).

Schädlinge

Der Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decelneata*) wird überwiegend durch seine Larven zum Schädling. Das Kartoffelzystenähnchen (*Globodera rostochiensis*, *G. pallida*) befällt die Wurzeln der Kartoffelpflanze und führt zu erheblichen Ertragseinbußen. Blattläuse sind nur im Saatkartoffelbau bekämpfungswürdig, da sie Viren übertragen. Der Vermehrungsbestand wird vom Auflaufen bis zur Totspritzung des Krautes gegen Läuse geschützt. Es wird daran gearbeitet, Resistenz gegen Blattläuse durch drüsige Behaarung zu erreichen.

Drahtwürmer, Engerlinge und Erdräupen können den Verkaufswert von Kartoffeln vermindern. Im Lager bilden geschädigte Knollen häufig den Ausgangspunkt von Fäulnisherden. Die Schädlinge leben im Boden und sind nur schwer zu bekämpfen.

Der Pflanzenschutz Aufwand im Kartoffelbau liegt deutlich höher als bei vielen anderen Kulturen. Es kommt bei Stärkekartoffeln zu 7 - 8 Pestizidanwendungen im Jahr. Im Speisekartoffelbau ist der monetäre Aufwand für Pflanzenschutz ca. doppelt so hoch wie im Stärkekartoffelbau, im Saatkartoffelbau ca. dreifach so hoch. Allerdings liegt der Pflanzenschutzmitteleinsatz bei toxikologischer Gewichtung eher niedrig.

5.1.2 Grundlagen zur Nutzung von Stärke

Zwei Drittel der weltweit produzierten Stärke wird zur Nahrungsherstellung verwendet, ein Drittel als industrieller Rohstoff. Neben dem Nahrungsmittelbereich (als Binde- und Verdickungsmittel, Stabilisator u.ä.), besitzt Stärke im Non-Foodbereich eine breite Einsatzpalette. Für eine industrielle Stärkegewinnung werden hauptsächlich Mais, Maniok (Cassava, Tapioka), Weizen und Kartoffeln, Reis, Hirse (Sorghum) verwendet. In Deutschland ist die Kartoffel der wichtigste Stärkelieferant, wobei sie jedoch durch Mais und Weizen verstärkt Konkurrenz bekommt. Hin-

sichtlich des gesamten Rohstoffaufkommens betrug in Deutschland (1995) der Anteil an Kartoffeln 62%, Weizen und Mais je 19% (in Europa 25%, 25%, 50%).

Die in der Industriekartoffel gespeicherte Stärke wird als vielfältiger Rohstoff, beispielsweise zur Herstellung von Papier, Wellpappe, Textilien, Arzneimitteln, Baustoffen und Kleb- und Kunststoffen verwendet. Weiterhin können aus Stärke oder stärkehaltigen Abfallprodukten durch fermentative Einwirkung einfach gebaute, chemische Ausgangsstoffe wie Ethanol, Glycerin, Aceton, Butanol, Essigsäure u.a. hergestellt werden.

Derzeit findet rege Forschung über weitere, sinnvolle, industrielle Einsatzmöglichkeiten dieses nachwachsenden, biologisch abbaubaren Rohstoffes statt. Im FAIR-CT95-0568-Projekt (FAIR 1999) wurden beispielsweise neue Stärkeformen in Mais, Weizen, Roggen und Kartoffel produziert und auf strukturell auf mögliche Verwendungsmöglichkeiten analysiert (FAIR-CT95-0568 1999). Stärke könnte in Zukunft synthetische Polymere (Verpackung) stärker zurückdrängen. Weiterhin wird der Einbau von Stärke in synthetische Polymere (z.B. Polyurethanschäume) untersucht, um das biologische Abbauverhalten zu verbessern. Stärke besitzt aber die Nachteile der geringen mechanischen Belastbarkeit bzw. der Neigung zur Wasseraufnahme.

Stärke besteht aus den beiden Bestandteilen Amylose und Amylopektin. Amylose ist nicht wasserlöslich und neigt zur Kristall- und Klümpchenbildung; Amylopektin ist jedoch gut wasserlöslich. Für die meisten industriellen Verarbeitungsprozesse von Stärke wird eine stabile Flüssigkeit benötigt, weshalb der Anteil der Amylose am Gesamtstärkegehalt möglichst gering sein sollte. Für andere Anwendungen ist jedoch ein hoher Amylosegehalt (z.B. für abbaubare Folien) der Stärke wichtig. Das Amylose/Amylopektin-Verhältnis in der Stärke (20-30% Amylose, 70-80% Amylopektin) bestimmt daher die Anwendungsmöglichkeiten.

5.2 Lösungsansätze für die Verwendung von amylosefreier Stärke als industrieller Rohstoff

Das Fallbeispiel der „transgenen amylosefreien Kartoffel“ muß etwas breiter behandelt werden, da die Amylosefreiheit nur ein wirtschaftlich interessantes Merkmal ist, die Gesamtentwicklung jedoch auf einen ganzen Merkmalskomplex hinzielt, der als „maßgeschneiderte Industriekartoffel“ bezeichnet werden kann. Die amylosefreie Kartoffel stellt daher nur die erste Entwicklungsstufe dar und soll in weiterer Folge zur „maßgeschneiderten amylosefreien Industriekartoffel für optimale Stärkegewinnung und –verarbeitung und günstigem Anbauverhalten“ weiterentwickelt werden. Eine Reihe von transgen induzierten Merkmalen wird daher in einer Kartoffellinie subsummiert.

Es ist zu prüfen, ob es eine pflanzliche Alternative zur transgenen amylosefreien Kartoffel bzw. zur „maßgeschneiderten“ Industriekartoffel gibt; grundsätzliche Kriterien sind:

- **industrielle Verarbeitungseigenschaften**
 - Qualität (ungewollte Zusatzstoffe, Reinheit, molekularer Aufbau, usw.)
 - Stärkeausbeute
 - Lagerfähigkeit zur gleichmäßigen Anlieferung über das ganze Jahr
 - Maßgeschneiderte Eigenschaften für die industrielle Verarbeitung eines bestimmten Produktes
 - Breite der alternativen Anwendungsmöglichkeiten
 - Transportwege
- **gleichwertige Produktionskosten (pro kg amylosefreier Stärke)**
- **Anbaueigenschaften**
 - Stärkehektarerträge (t Stärke pro ha Anbaufläche)
 - Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (Herbiziden, Insektiziden etc.)
 - Eignung in unterschiedlichen Anbaugebiet (Regionen)
 - im Rahmen des biologischen Landbaus sinnvoll einsetzbar
- **ökologisch-sozio-ökonomischer Gesamtansatz**
 - z.B. LCA

5.2.1 Standardmaßnahmen – die industrielle Kartoffelstärkegewinnung

Die Kartoffelstärke wird industriell durch Waschen der Kartoffel, Zerkleinern mit Ultrareiben (Rohstoffaufbereitung), Zentrifugieren (Trennung von Stärke und Fasern vom Fruchtwasser), Extraktion (Trennung der Stärke von Fasern und Entwässerung) und zweistufige Raffination (Auswaschung und Aufkonzentrierung der Stärkemilch) gewonnen. Die Stärkemilch wird durch Einsatz von stärke-modifizierenden Chemikalien (z.B. Ethylenoxid, Epichlorohydrin) oder durch die physikalische und enzymatische Abtrennung von Amylose in die gewünschte Qualität des Rohstoffes gebracht. Durch die physikalische oder chemische Modifizierung der Stärke können Ausgangsstoffe hinsichtlich der spezifischen Anwendungszwecke hergestellt werden.

Die Isolierung der Stärke (technische Trennung von Amylose und Amylopektin) ist kostspielig führt zu großen Mengen von mit löslichen Kohlenhydraten und Eiweiß belastetem Abwasser, was aus Umweltschutzgründen hohe Reinigungskosten verursacht. Deshalb greift man hinsichtlich der jeweiligen industriellen Anforderungen auf Sorten zurück, die hohen Amylose- bzw. Amylopektingehalt besitzen. Ein Amylopektingehalt von mehr als 95% konnte in der Industriekartoffel mittels konventioneller Züchtung schon erreicht werden.

Eine ökologische Verbesserung bei der industriellen Stärkegewinnung muß auf eine innerbetriebliche Schließung der Wasserkreisläufe inkl. Frischwasserzufuhr und Aufarbeitung der anfallenden Prozeßwässer abzielen. Das Kartoffelfruchtwasser nimmt den Hauptteil der Produktionsabwässer ein. Ein Wasserrecycling wird effizienter, wenn das Kartoffelfruchtwasser durch Enzyme stärker konzentriert wird, wobei der Bedarf an Energie und Wasser verringert wird (Verhinderung der Sekundärmembranbildung beim Membrantrenn-Verfahren) (STROOT, S. 2001).

Für die industrielle Verwendung ist v.a. der chemische Aufbau und der Reinheitsgrad der Stärke von Bedeutung (MAIER & VETTER o.J.). Weitere Qualitätsmerkmale bei der industriellen Verarbeitung sind z.B. die Größenverteilung der Stärkekörner, die Quellfähigkeit und der als Nebenbestandteil auftretende Eiweißgehalt. Das Vorhandensein von stärkekorassozierten Proteinen ist etwa für Lagerfähigkeit und Stabilität von Stärkepasten wichtig (HAN 2001). Die unterschiedlichen Verzweigungsmuster der Stärke bestimmen durch interaktive Eigenschaften in weiterer Folge die makroskopisch/technologischen Werkstoffeigenschaften (PRAZNIK 2000).

Anhand biotechnologischer Verfahren wird die Nutzung von Stärke und Nebenprodukten für alternative Verwendungszwecke weiterhin intensiv erforscht. Viele alternative Einsatzmöglichkeiten befinden sich erst in der Testphase.

5.2.2 Konventionelle Züchtungen

5.2.2.1 Konventionell gezüchtete amylosefreie Kartoffeln

Mittels konventioneller Pflanzenzucht (Hybridzüchtung) ist es gelungen anhand monohaploider Linien (amf-Genotypen) eine amylosefreie Kartoffel zu erzeugen. Diese bilden jedoch weniger Knollen und besitzen eine schlechtere Vitalität, weshalb sie wirtschaftlich nicht so ertragreich wie die gentechnisch veränderte amylosefreie Kartoffel sind.

Weltweit sind 228 knollenbildende Wildarten der Gattung *Solanum* bekannt (BRADSHAW 1998). Wichtige Untersuchungen anhand der Glykoalkaloide, Stickstoffaufnahme und –effizienz, Stärke- und Amylosegehalt sowie Größe und Verteilung der Stärkekörner wurden mit Wildkartoffeln bzw. primitiven Zuchtformen durchgeführt (THE DUTCH-GERMAN POTATO COLLECTION 2002). Das Potential im Genpool dieser Wildkartoffel- bzw. primitiver Kartoffelsorten ist durch die hohe chemische und physikalische Variabilität der Kartoffelstärke ausgezeichnet und kann auch in der konventionellen Pflanzenzucht als Basis für die Nutzung bestimmter Stärkeformen in industriell relevanten Mengen weiterentwickelt werden.

5.2.2.2 Stärkegewinnung aus anderen Kulturpflanzen

Außer der Kartoffel eignen sich in Mitteleuropa als Alternative zur Kartoffel grundsätzlich vor allem Mais, Weizen als industriell nutzbare Stärkelieferanten, in den Tropen auch Maniok, Süßkartoffeln und Sagopalme.

Hinsichtlich des Amylosegehaltes besitzt etwa Maniok mit ca. 18% weniger Amylose als die Kartoffel. Mais und Weizen weisen jedoch mit 27 und 23 % einen höheren Amylosegehalt auf als die Kartoffel. Weitere Kultursorten mit sehr geringem Amyloseanteil sind: Wachshirse (1%), Wachsmais (<1%) und Wachsreis (1%). Hinsichtlich der Korngröße weist die Kartoffel mit einem durchschnittlichen Wert von 38,3 Mikrometer den größten Durchmesser auf. Die Quellfähigkeit liegt bei Kartoffel, Maniok und Wachsmais über 30g/g (YEH 2000). Aufgrund folgender Nachteile der Industriekartoffel, lohnt es sich jedoch, auch andere Kulturpflanzen als Alternative zur Stärkeproduktion zu prüfen:

- Die Kartoffelknolle hat mit ca. 20% einen geringeren Stärkegehalt, als die Ernteprodukte von Mais oder Weizen. Bezogen auf die gesamte verarbeitete Stärke stammen daher nur 36% der Stärke in Deutschland von Kartoffeln, 36% vom Mais und 28% vom Weizen (FLAMME 1996).
- Sorten mit hohem Stärkegehalt können aufgrund der langen Reifezeit erst spät geerntet werden. Die Züchtung frühreifender Stärkekartoffel könnte dieses Problem lösen.
- Auch wenn der große Stärkekorndurchmesser bei der Stärkegewinnung eine hohe Ausbeute erlaubt, ist die große Streubreite der Stärkekörner bei der Kartoffel ein qualitativer Nachteil.
- Die Kartoffel besitzt im Vergleich zu Mais und Weizen eine schlechte Lagerfähigkeit (industriell wichtig, da gleichmäßige Verarbeitung notwendig). Trocknung und Konservierung sind nicht ökonomisch.

Mais als Alternative

Mais ist weltweit der wichtigste Rohstoff für die Stärkeproduktion (Nahrungs-, Futtermittel und chemisch-technische Anwendungen). Weltweit stammen etwa drei Viertel der Stärkeproduktion von Mais, wobei dafür 10% der Ernte verwendet werden.

Mais besitzt deutlich höhere Stärkehektarerträge als Kartoffel und Weizen und gegenüber der Kartoffel in der Stärkeproduktion auch geringere Herstellungskosten. In den letzten Jahren wurde die Maisproduktion aufgrund praxistauglicher Eigenschaften für die Stärkeindustrie (auch Alkohol und Mahlproduktion) erhöht (z.B. in Österreich von 3% 1990 auf 15% 1999 siehe HINTERHOLZER 1999). Zum Einsatz kommen bevorzugt grobkörnige Zahnmaissorten. Durch konven-

tionelle Pflanzenzucht und verbesserte Anbauverfahren konnten in den letzten Jahren wesentliche Produktionserfolge erzielt werden, weshalb der Maisanbau in Mitteleuropa weiter zunimmt.

Für Mais konnten bereits mittels konventioneller Pflanzenzüchtung Sorten erzeugt werden, die entweder amylose- oder amylopektinhaltige Stärke produzieren und daher als konventionelle Alternativlösung zur gentechnisch veränderten amylosefreien Kartoffel zur Verfügung stehen. Der Amylopektingehalt für die Typen Mais, Amylomaïs und Wachsmais betragen 72%, 30% und 99-100% (DONALD 2001).

Im pharmazeutischen Bereich wird die Wachsmaisstärke zur Ersetzung künstlicher Kolloide bei Blutersatzstoffen (HES 130/0,4-Präparat) verwendet. Sie gilt nach dem derzeitigen Wissensstand als besser geeignet als die Kartoffelstärke und in bestimmten Eigenschaften besser als die künstlichen Kolloide (AUSTRIAN ANESTHESIA 2001). Es sind daher interessante Nebenutzungen der Wachsmaisstärke vorhanden. Maisstärke eignet sich jedoch aufgrund der Stärkeigenschaften für die Papierindustrie nicht so gut wie Kartoffelstärke.

Weizen als Alternative

Weizen besitzt geringere Stärkehektarerträge als Mais und ist anhand dieses Kriteriums schlechter als Mais geeignet. Mit 69-74% Amylopektingehalt besitzt Weizen ein ähnliches Amylose/Amylopektin-Verhältnis wie Mais. Bei Getreidearten (z.B. Weizen, Mais) ist die Stärke im Endosperm innerhalb einer Proteinmatrix eingelagert, was einen aufwendigeren Extraktionsprozeß erfordert als bei der Kartoffel.

5.2.3 Einsatz von transgenen Kartoffeln mit verändertem Stärkemetabolismus

Bei der Kartoffel ist eine gentechnische Veränderung (z.B. Transformation mit *Agrobacterium tumefaciens*) gut möglich, weil bei dieser Art in der Zell- und Gewebekultur im Vergleich zu Monokotylen relativ leicht Pflanzen regeneriert werden können und neben der vegetativen auch eine gut funktionierende generative Fortpflanzung besteht (ROSS 1992). Daher konzentriert sich die Herstellung von transgenen, stärkeveränderten Kulturpflanzen auf die Kartoffel. Außerdem weist die Kartoffelstärke relativ günstige Eigenschaften für die industrielle Verarbeitung auf (siehe 5.1.2) und war daher auch schon bisher als wichtiger Industriestärkelieferant im Einsatz.

Die transgene amylosefreie Kartoffel wurde zu Beginn der 90er Jahre in Europa entwickelt (JACOBSEN et al. 1991; KUIPERS et al. 1994).

Seit 1991 wurden innerhalb der EU 206 Freisetzungen mit Kartoffel beantragt (JRC 2002). Circa die Hälfte der transgenen Veränderungen betrafen den Stärkemetabolismus. Die Marktzulassung für die amylosefreie Kartoffel von Avebe wurde wegen der Antibiotika-Markergene (A-mikacin) vom SCP abgelehnt. In Nordamerika spielt die transgene stärkeveränderte Industrie-

kartoffe eine geringere Rolle; es wird hauptsächlich auf Insektenresistenz, Virusresistenz, und Pilzresistenz abgezielt.

Genetische Transformationen der maßgeschneiderten Industriekartoffel

Um den vielfältigen qualitativen Anforderungen der Industrie an den Rohstoff Stärke gerecht zu werden, soll der Stärkehaushalt durch gentechnische Methoden hinsichtlich des erforderlichen Rohstoffs verändert werden (siehe 5.1.2). Hierfür kann einerseits die Transformation bereits existierender Stärke-Linien oder die Integration durch transgene Klone in konventionelle Zuchtungsprogramme erfolgen (HEERES et al. 1997). Um die in den Kartoffeln gebildete Stärke hinsichtlich verschiedenster Eigenschaften abzuändern, werden Gene bzw. Teile von Genen für verschiedene Enzyme des Stärkestoffwechsels aus Kartoffel in Antisense-Orientierung eingeführt. Zur Auswahl erfolgreich veränderter Kartoffeln wurden, teilweise auch in Kombination, das Neomycin-Phosphotransferase-Gen bzw. Hygromycin-Phosphotransferase-Gen eingeführt, um Antibiotikaresistenz herzustellen.

Amylosefreie Stärke wird durch die Blockade der an die Stärkekörner gebundenen Stärkesynthase (GBSS) erzeugt. Mittels Antisense Methode wird zum Gen für das GBSS ein „Gegenpart“ (Antisense-RNA) erzeugt, das die Erzeugung von GBSS und folglich der Amylose verhindert. Die Linien der transgenen Kartoffel können Stärke mit bis zu 100% Amylosefreiheit enthalten. Auch andere wichtige Stärkepflanzen wie Maniok werden zu gentechnisch veränderten amylosefreien Typen, als tropisches Pendant zur Kartoffel, entwickelt (RAEMAKERS et al. 2001). Im Verarbeitungsprozeß kann anhand des „maßgeschneiderten“ Rohstoffes auf den Einsatz von stärkemodifizierenden Chemikalien (z.B. Ethylenoxid, Epichlorohydrin) bzw. auf physikalische oder enzymatische Abtrennung von Amylose gänzlich oder weitgehend verzichtet werden (siehe 5.1.2).

Neben der Einsetzbarkeit der Stärke für industrielle Verarbeitungsprozesse soll auch die Ertragsleistung verbessert werden. Weitere Veränderungen betreffen den Kohlenhydrat- und Phosphatstoffwechsel, um die Speicherkapazität der Kartoffelzellen zu erhöhen und den Transport für Kohlenhydrate und Phosphat durch die Zellmembran zu verbessern (ROBERT KOCH INSTITUT 2002).

Es muß jedoch betont werden, dass die strukturellen Eigenschaften der Stärke eine genauso große Rolle für die industrielle Verwendung spielen, wie der Amylose- und Amylopektingehalt.

5.2.4 Stärkegewinnung im Ökologischen Landbau

Im ökologischen Landbau können verschiedene Kulturpflanzen zur Stärkegewinnung hinsichtlich der bekannten ökologischen Vorteile dieses Gesamtansatzes angebaut werden. Im Lebensmittelbereich wird bereits auf amylosefreie Wachsmaisstärke zurückgegriffen. Es ist jedoch

fraglich, ob die Stärkeindustrie im Non-Food-Sektor auf Produkte des ökologischen Landbaus zurückgreifen wird. Bio-Betriebe, die in der Nähe von Stärkefabriken angesiedelt sind, zeigen jedoch erhöhtes Interesse an Industriekartoffeln. Getrennte Prozessabläufe in der Stärkeindustrie für konventionelle, ökologische und gentechnisch veränderte Kartoffeln sind jedoch notwendig und würden höhere Kostenverursachen.

5.3 Umweltrelevante Effekte

Unterschiede in der Umweltexposition von synthetischen Stoffen ergeben sich in diesem Fall einerseits aus den grundsätzlichen Unterschieden in verschiedenen Anbauverfahren (ökologisch, konventionell, siehe auch 8.2) und den geänderten industriellen Verarbeitungsprozessen (siehe 5.2). Je geringer der Aufwand zur Trennung von Amylose und Amylopektin, desto geringer ist auch die Umweltbelastung der Verarbeitungsprozesse.

Mittels gentechnischer Methoden sollen die Amylosefreiheit und ergänzende Merkmale zur besseren industriellen Verarbeitung erzielt werden. Andererseits sollen negative Eigenschaften der Kartoffel (siehe 5.2.2.2) verbessert werden. Es wird versucht, eine Kulturpflanzenart hinsichtlich wirtschaftlich interessanter Rohstoffe maßzuschneidern. Außerdem sind hinsichtlich der ökologischen Risikoabschätzung für die amylosefreie Kartoffel insbesondere folgende Charakteristika der Kartoffel bedeutend (ergänzt nach UBA 2001):

- Überwinterung/Überdauerung der Knollen nur unter günstigen Bedingungen möglich
- Samen i.d.R. nur begrenzt keimfähig
- bisher keine Hybridisierung mit heimischen Kreuzungspartner nachgewiesen
- Auskreuzung in konventionelle Kartoffeln nur über sehr geringe Distanzen möglich
- geringe Konkurrenzfähigkeit; geringes Verwildierungspotential
- ungeklärte Auswirkungen auf Nichtzielorganismen und/oder Boden

Im Feldversuch konnten bei transgenen Kartoffeln phänotypische Veränderungen und Ertragsseinbußen beobachtet werden (THE NEW ZEALAND INSTITUTE FOR CROP & FOOD RESEARCH 2001).

Hinsichtlich der mit mehreren Transgenen ausgestatteten maßgeschneiderten Industriekartoffel sollte das potentielle Risiko durch Multi-Gen-Effekte berücksichtigt werden, das durch die Interaktionen der verschiedenen Transgene entstehen kann.

Bei der Kartoffelernte bleiben zwangsläufig Kartoffeln am Feld. Durch die Verwendung des Vollernters hat sich ihre Zahl gegenüber der Hand-Ernte erhöht. Oft sind es Populationen von mehr als 100.000 Knollen/ha, im Extremfall bis zu 370.000/ha (LUTMAN 1992). Laut PUTZ (1989)

bleiben 10.000 bis 30.000 Knollen/ha im Boden. Nur selten werden Kartoffel auf Ruderalstandorten (Wegränder nahe Kartoffelfeld, Bauernhöfe, Müllhalden) unbeständig verwildert angetroffen. Es treten aber keine sich regelmäßig fortpflanzende Populationen auf, d.h. die Verwilderingstendenz ist äußerst gering.

Nach DE VRIES et al. (1992) wurden in Experimenten keine lebensfähigen Hybride mit wildlebenden Verwandten der Europäischen Flora erzielt. Auch RAYBOULD & GRAY (1993) sehen nur minimale Chancen für einen Genfluß von Kartoffeln zu wildlebenden Arten in Großbritannien. Daher dürften auf natürliche Weise trotz potentieller wildlebender und eingebürgerter Kreuzungspartner (Gattung *Solanum*) keine vitalen Samen hybridogenen Ursprungs verbreitet werden.

Insgesamt kann daher von einem eher geringeren Gefährdungspotential bezüglich möglicher negativer Auswirkung auf die Umwelt ausgegangen werden, wobei verschiedene ökologische Risikofaktoren noch nicht untersucht wurden. Für Kartoffeln mit modifiziertem Kohlenhydratstoffwechsel sollten jedoch hinsichtlich veränderter Frostempfindlichkeit bzw. potentiell veränderter Schaderregersensitivität Begleituntersuchungen durchgeführt werden. Die ökologische Risikoabschätzung für Virus-, Krankheits-, Herbizid- und Insektizidresistenzen bei der Kartoffel muß jedoch nach der „case-by-case“ Vorgangsweise differenziert betrachtet werden.

5.4 GVO-Ansatz versus Diversitäts-Ansatz

Die Herstellung der transgenen Industriekartoffel führt wesentlich weiter als zu amylosefreien Kartoffel, da es Ziel ist, die „maßgeschneiderte Industriekartoffel“ zu entwickeln, welche mehrere Merkmale (höherer Stärkegehalt, Amylosefreiheit, veränderte Zellwandeigenschaften, veränderte Begleitstoffe) vereint. Durch diese Kombination an Merkmalen soll die industrielle Verarbeitung der Stärke wesentlich für einen bestimmten Rohstoff erleichtert werden. Die Strategie des GVO-Ansatzes besteht demnach darin, dass vordergründig eine Kulturpflanze (Kartoffel) hinsichtlich einer Summe von gewünschten Produkteigenschaften „maßgeschneidert“ wird, wobei gleichzeitig nachteilige Eigenschaften dieser Kulturpflanze (z.B. geringerer Stärkegehalt) ebenfalls verbessert werden sollen. Der Ansatz konzentriert daher viele Eigenschaften auf eine oder wenige Kulturpflanzenarten (z.B. auch auf Maniok in den Tropen).

Für das zukünftige Ziel der „maßgeschneiderten Industriekartoffel“ mit dem ganzen produktspezifischen Merkmalspaket gibt es derzeit keine wirtschaftlich gleichwertige Alternative aus der konventionellen Pflanzenzucht, die sich mittels einer einzigen Kulturpflanze abdecken ließe.

Es liegen jedoch weltweit genügend unterschiedliche Stärkepflanzen vor, die mittels Forschung und konventioneller Pflanzenzucht ebenfalls zu „maßgeschneiderten“ Stärkeeigenschaften für

viele Anwendungsbereiche entwickelt werden könnten. Es müßte nur die vorhandene Diversität der unterschiedlichen Arten und Wildformen genutzt werden. Die Strategie eines gesamtheitlichen GVO-freien Ansatzes (Diversitäts-Ansatz) besteht demnach darin, dass nicht eine einzige Kulturpflanze durch konventionelle Pflanzenzucht an die industriellen Erfordernisse angepaßt werden soll, sondern die Diversität der Stärkeformen in unterschiedlichen Kultur- und Wildpflanzen genutzt wird. In einem abgestimmten Prozeß zwischen konventioneller Pflanzenzucht, Forschung und „Maßschneidern“ der industriellen Verarbeitungsschritte (z.B. Vermeidung von Alkalibeimengungen bei der Gewinnung von Stärke, Protein und Fasern, durch Trocken- und Nassvermahlung von Markerbsen BERGTHALLER et al. 1999) werden vielfältige Alternativen zugänglich. Darüberhinaus können anhand dieser auf Diversität ausgerichteten Strategie wertvolle ergänzende Eigenschaften u.a. in der Pharmakologie genutzt werden (z.B. Stärke des Wachsmaises für Blutersatzstoffe im medizinischen Bereich).

Wirtschaftlich interessante Alternativen zum Merkmal „amylosefreier Stärkegehalt“ der Kartoffel gibt es in der konventionellen Pflanzenzucht beispielsweise bereits durch den Wachsmais. Die ersten konventionellen, amylosefreien Kartoffeln könnten hinsichtlich verbesserter Erträge weitergezüchtet werden.

Eine wichtige Alternativlösung ist es, die Verarbeitungstechnologie auf die vorhandene Stärkediversität „maßzuschneidern“ und nicht nur vordergründig die Kulturpflanze hinsichtlich der Verarbeitungsmöglichkeiten zu verändern. Dazu bedarf es der Interdisziplinarität der unterschiedlichen Forschungsansätze (Populationsgenetik, Molekularbiologie, Chemie, Agrarforschung, Züchtung und Industrietechnik).

Letztendlich sind der gesellschaftspolitische Wille und die Akzeptanz die entscheidenden Faktoren, ob sich eine rasche Lösung mit schwer kalkulierbarem Risiko (GVO-Ansatz) oder eine langsamere Lösung, die jedoch auf die Diversität des bereits vorliegenden Genpools aufbaut (gesamtheitlicher Ansatz aus Forschung, konventioneller Pflanzenzucht, und Verarbeitungstechnologie) und die eine sinnvolle Integration von biologischem-, integriertem Landbau und GVO-freier konventioneller Landwirtschaft erlaubt, durchsetzt.

Es ist daher nicht gerechtfertigt, den Vorteil des GVO-Lösungsansatzes alleinig damit zu begründen, dass die rasche Lösung eines wirtschaftlich relevanten Problems (z.B. maßgeschneiderte Industriekartoffel) möglich wird. In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass mittels punktuell greifender Lösungsansätzen, die das Gesamtsystem vernachlässigen, aufgrund von Problemverflechtungen, in der Summe oft keine Vereinfachung erzielt werden konnte (POTSDAM INSTITUTE FOR CLIMATE IMPACT RESEARCH o.J.).

Die Nutzung der bestehenden Diversität an Kultur- und Wildpflanzen, eingebettet in einen gesamtheitlichen Lösungsansatz, bietet neben der Lösung eines Detailproblems vielfältige, weitere Lösungen und weitaus breitere Einsatzmöglichkeiten an. Alternativen für die maßgeschnei-

derte Industriekartoffel sind ausreichend vorhanden, die Folgeentwicklung von Alternativen hängt jedoch auch von Fördermaßnahmen, Patenten und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ab:

„However, whether or not SCRI (Scottish Crop Research Institute) becomes actively involved in releasing genetically modified cultivars, as opposed to doing transgenic research, will probably be determined more by who owns the relevant patents and intellectual property than by what is biological feasible and desirable.“ (aus BRADSHAW et al. 1998 über die Zukunft der Kartoffelzucht).

5.5 Fazit

Die maßgeschneiderte transgene amylosefreie Industriekartoffel (mit ergänzenden Merkmalen) kann in einer großer Menge und Qualität einen maßgeschneiderten Rohstoff liefern. Im Verarbeitungsprozeß der Stärke kann durch die Einsparung an Energie, Wasser und Chemikalien ein wirtschaftlicher Nutzen entstehen, der auch in positiv zu bewertenden Umweltfolgen (Gewässerentlastung, Wasser- und Energieersparnis) resultieren kann. Der teure und umweltbelastende Trennungsprozeß (Amylopektin/Amylose) inkl. Abwasserreinigung entfällt.

Realistische und wirtschaftlich interessante Alternativen für die transgene amylosefreie Kartoffel sind ausreichend vorhanden. Bei den verschiedenen stärkeproduzierenden Kulturpflanzen ist eine gewaltigen Diversität hinsichtlich des Stärkemetabolismus im Genpool der (z.T. primitiven) Kultur- und Wildpflanzen vorhanden, welcher in der konventionellen Pflanzenzucht weiterentwickelt wurde bzw. noch werden kann. Alternativen sind jedoch auch in der Weiterentwicklung des technischen Verarbeitungsprozesses in der Stärkeindustrie zu suchen bzw. schon vorhanden.

Ein wichtiger Lösungsansatz stellt ein Forcieren der Forschung hinsichtlich dieser Alternativlösungen dar. Die Forschung sollte nicht verstärkt auf die GVO-Lösung ausgerichtet sein, da sonst Alternativlösungen unerkannt bleiben und nicht genutzt werden.

5.6 Literatur

AUSTRIAN ANESTHESIA (2001): HES (Hydroxyethyl starch) Kompendium.

<http://www.anesthesia.at/hes/hes.html>

Physikochemisches Profil: 11pp. <http://www.anesthesia.at/hes/physikochemisches%20profil.pdf>

- BERGTHALLER W., THEMEIER H., POTTEBAUER R., LEPA R. 1999: Bereitstellung von Stärke aus Markerbsenmustern – Gewinnung von Cotyledonenfraktionen durch Trockenvermahlung und deren Nassvermahlung (6991). In: LINDHAUER. M.G.: III. Forschung. Inst. f. Getreide-, Kartoffel- und Stärketechnologie,): 35-38.
www.dainet.de:8080/JBBAGKF99/DDD/JAHRESBERICHTBAGKF1999INST1-99.pdf
- BISCHOFF J., DIEPENBROCK W. 1995: Bedarfsgerechte N-Düngung von Speisekartoffeln im mitteldeutschen Trockengebiet. Kartoffelbau 46: 52-55.
- BRADSHAW J.E., BARKER H., DALE M.F.B., MACKAY S., MILLAM S., SOLOMON-BLACKBURN R.M., STEWART H.E. (1998): Applied potato genetics and breeding: the way ahead for potato breeding. Breeding & genetics: 76-80. www.scri.sari.ac.uk/Document/AnnReps/98Indiv/10Potgen.pdf
- BURTON W.G. 1989: The Potato. 3. Aufl., Longman Scientific & Techn., New York, Singapore.
- DE VRIES F.T., VAN DER MEIJDEN R., BRANDENBURG W.A. 1992: Botanical files. A study of the real chances for spontaneous gene flow from cultivated plants to the wild flora of the Netherlands. Gorteria Suppl.1: 100pp.
- DONALD A.M. 2001: Distribution of water in partially gelatinised wheat. ISIS Experimental Report. RB Number: 11887. www.isis.rl.ac.uk/isis2000/reports/11097.PDF
- EMBASSY OF THE UNITED STATES OF AMERIKA 2001: Potatoes. Biotechnology Issues. 2pp.
www.usis.useb.se/biotech/potatoes.html
- FAIR-CT95-0568 (1999): Production of novel starch polymers in maize, wheat, barley and potato. Final report executive summary. www.nf-2000.org/secure/Fair/R0568.htm.
- FLAMME W., JANSEN G., WEGENER C. 1996: Industriekartoffeln als Stärkelieferanten 6pp.
www.verbraucherministerium.de/forschungsreport/rep2-96/staerke.htm
- FRANKE W. 1981: Nutzpflanzenkunde. Nutzbare Gewächse der gemäßigten Breiten, Subtropen und Tropen. 2.Aufl., Thieme, Stuttgart, NewYork.
- HAN X.Z., HAMAKER B.R. 2001: Detection of starch granule-associated proteins and their association with pasted starch granule structures. The American Association of Cereal Chemists.
www.scisoc.org/aacc/meeting/2001/Abstracts/a01ma168.htm
- HEERES P., JACOBSEN E., VISSER R.G.F. 1997: behaviour of genetically modified amylose free potato clones as progenitors in a breeding program. Euphytica 98: 169-175.
- HINTERHOLZER J. 1999: Produktionserfolge im österreichischen Maisanbau. Ber. 50. Arbeitstag. 1999, Verein. österr. Pflanzenzüchter, BAL Gumpenstein, 23-25. Nov.1999. 147-151.
www.bal.bmlf.gv.at/publikationen/saatzuechter1999/hinterho.pdf
- HOFFERBERT H.-R. 1986: Bodenart und Kartoffelqualität. KTBL-Schrift 314, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- JACOBSEN E., RAMANNA D.J., HUIGEN D.J., SAWOR Z. 1991: Introduction of an amylosefree (amf) mutant into breeding of cultivated potato, *Solanum tuberosum* L. Euphytica 53: 247-253.
- JRC 2002: Biotechnology & GMOs – deliberate field trials. <http://biotech.jrc.it/deliberate/gmo.asp>
- KUIPERS A.G.J., SOPPE W.J.J., JACOBSEN E., VISSER R.G.F. 1994: Field evaluation of transgenic potato plants expressing an antisense granule-bound starch synthase gene: increase of the antisense effect during tuber growth. Plant. Mol. Biol. 26: 1759-1773.
- LANDESANSTALT FÜR ENTWICKLUNG DER LANDWIRTSCHAFT 2001: Agrarmärkte Jahresheft 2001. Unterlagen für Unterricht und Beratung in Baden-Württemberg. (ISSN 0931-5055).

- LUTMAN P.J.W. 1992: Weed control. In HARRIS P.M. ed.: The Potato Crop. The Scientific Basis for Improvement. Chapman & Hall, London: 373-402.
- MAIER J., VETTER R. (o.J.): Mais-Eignung für die Stärkeindustrie beeinflussbar oder mais für die Stärkeindustrie – Qualität gezielt produzieren. Institut für umweltgerechte Landwirtschaft Müllheim www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/iful/arb_institut/download/st%C3%A4rkemais.doc
- POTHS S. 1992: Modellansatz zur Entwicklung und Simulation von Fruchtfolgen im integrierten Pflanzenbau. Kyrill Method Verlag, München.
- POTSDAM INSTITUTE FOR CLIMATE IMPACT RESEARCH (o.J.): Abschlussbericht: Grüne Revolution www.pik-potsdam.de/~gerhard/lcd/questions_pub/paper/ab_gr.pdf
- PRAZNIK W. 2000: Stärke-Glucose: Zusammenhänge zwischen Komponenten-, Bulk- und Werkstoffeigenschaften. Universität für Bodenkultur. hal.boku.ac.at/research/search-project.show
- PUTZ B. 1989: Kartoffeln: Züchtung – Anbau – Verwertung. Behr, Hamburg.
- RAEMAKERS C.J.J.M., SCHREUDER M.M., PEREIRA I., SUURS L., VINCKEN J.P., JACOBSEN E., VISSER R.G.F. 2001: Production of Amylose-Free Cassava Plants by Genetic Modification. www.danforthcenter.org/iltab/cassavanet/cbnv/abstracts/Session3/S3-13.htm
- RAYBOULD A.F., GRAY A.J. 1993: Genetically modified crops and hybridization with wild relatives: a UK perspective. J. Appl. Ecol. 30, 199-219.
- ROBERT KOCH INSTITUT 2002: Freisetzungen in der BRD - Standortliste http://www2.rki.de/cgi/lasso/fsl/orte_d.lasso
- ROSS H. 1992: Die Entwicklung der Kartoffel zur Kulturpflanze. Vortr. Pflanzenzüchtg. 22: 204-216.
- SOJA A.M., SOJA G. 1995: Analyse ökologischer Auswirkungen von land- und forstwirtschaftlichen Nutzpflanzen und eingeführten standortfremden Pflanzen als Basis für die Risikoabschätzung gentechnisch veränderter Pflanzen. Seibersdorf Report, Zwischenbericht Mai 1995, OEFZSA-A-3419.
- STROOT S. 2001: Eine praxisbezogene Labormethode zur Ermittlung der Wirksamkeit von Pektinasen für die Sekundärmembran-Minderung bei Membrantrenn-Prozessen. Dissertation Universität Oldenburg: 117pp.
- THE DUTCH-GERMAN POTATO COLLECTION 2002: www.plant.wageningen-ur.nl/about/Biodiversity/Cgn/collections/crops/potato/evalother.htm.
- THE NEW ZEALAND INSTITUTE FOR CROP & FOOD RESEARCH 2001: Characterisation of Potato Transformation. www.crop.cri.nz/psp/articles/docs/gm_crops/potchar.htm
- UBA 2001: Kartoffel Monitoring. 3pp. (www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/bsg/bsg11.htm).
- YEH A.I. 2000: relationship between physicochemical properties and rheological characteristics of starches. ift.confex.com/ift/2000/techprogram/paper_3410.htm

6 FALLBEISPIEL MEHLTAUBEFALL BEI WEINREBEN

Tabelle 10: *Biologische Grundlagen der Weinrebe (Vitis vinifera)*

Taxonomie	Ordnung: Rhamnales; Familie: Vitaceae Gattung: <i>Vitis</i>; Art : <i>Vitis vinifera</i> L. Unterart: <i>Vitis vinifera</i> ssp. <i>sativa</i> (Kulturrebe)
Verwandte Arten, Geographische Verbreitung, Anbauggebiete	Wildreben gibt es in Europa (z.B. <i>Vitis vinifera</i> ssp. <i>silvestris</i> , die Waldrebe), in Amerika (z.B. <i>V.berlandieri</i>, <i>V. riparia</i>) und in Asien(z.B. <i>V.amurensis</i>). In Deutschland kommen auch verwilderte Kultursippen vor (ZOGLAUER et al. 2000). Die Weinrebe ist heute weltweit verbreitet und ihre Hauptanbauggebiete liegen in den Ländern am Mittelmeer (68% der weltweiten Weinbaufläche liegen in Europa); Südamerika, Nord- und Südafrika, Nordamerika, Kleinasien und Australien (BAUER 1996). Es werden sowohl Keltertrauben für die Weinherstellung als auch Tafeltrauben für den Frischverzehr und für die Trocknung (Rosinen) angebaut.
Blühbiologie, Pollentransfer	Kulturreben sind meist zwittrig (Wildarten vorwiegend diözisch) und diploid ($2n = 38$). Neben echten zwittrigen Blüten kommen jedoch auch Übergangsformen zu männlichen bzw. weiblichen Blüten (z.B. pollensterile Zwitter) vor (ZOGLAUER et al. 2000). Kulturreben sind überwiegend autogam, aber auch Parthenokarpie (Fruchtbildung ohne Befruchtung) ist weit verbreitet. Weinreben bilden reichlich Pollen mit hoher Keimfähigkeit. Die Bestäubung erfolgt v.a. durch den Wind aber auch Insekten sind beteiligt (ZOGLAUER et al. 2000).
Nährstoffbedarf	Der größte N-Bedarf besteht zur Zeit der Blüte. Sowohl Stickstoffmangel als auch Stickstoffüberschuß kann zu Problemen führen (siehe 6.2.1.1). Die Nährstoffabfuhr ist - abgesehen von der Begrünung - eher gering, weil üblicherweise nur die Trauben aus dem Weinberg entnommen werden.

6.1 Grundlagen des Weinbaus

Wein ist eine sehr alte Kulturpflanze, deren Ursprung im Naher Osten, Kleinasien und dem Zwischenstromland zurück reicht bis zu den Anfängen des Ackerbaus (14.000 - 10.000 v. Chr). Sie zählt zu den sogenannten Dauerkulturen. Ein neu gepflanzter Weingarten braucht 3-4 Jahre, um in den Ertrag zu kommen und hat eine Lebensdauer von 30 Jahren und mehr. Langfristig gesundes Pflanzenmaterial und stabile Eigenschaften sind daher - v.a. auch, weil in einem

Weingarten immer genetisch idente Pflanzen (Klone) angebaut werden - von größerer Bedeutung als bei einjährig in Fruchtfolge angebauten Kulturpflanzen.

Reben sind mehrjährige Holzpflanzen und werden vegetativ über Stecklinge, Ableger und Veredelung vermehrt. Die Vermehrung über Samen hat nur in der Kreuzungszüchtung Bedeutung. Aufgrund der großen Schäden, welche die Reblaus im Weinbau verursacht hat, werden Edelsorten heute nur aufgepropft auf reblauswiderstandsfähigen Unterlagsrebsorten ausgepflanzt. Für die Wahl der Unterlagsrebe spielen neben der Verträglichkeit mit dem Edelreis aber v.a. die Bodenverhältnisse im Weinberg eine Rolle. Vermehrung und Erhaltungszüchtung einer Rebsorte (z.B. Riesling) bauen immer auf mehreren Klonen auf.

Boden- und Begrünungspflege

Um eine maschinelle Bodenbearbeitung, Stockpflege und Ernte zu erleichtern bzw. zu ermöglichen, wurden häufig im Zuge der Flurbereinigungsmaßnahmen von Kleinterrassen auf eine Bearbeitung in Richtung Hanggefälle umgestellt. Die Begrünung der Fahrgassen zur Erosionsverminderung, zur Verbesserung der Befahrbarkeit und Verminderung von Nitratauswaschung ist daher v.a. in steileren Lagen notwendig. Je nach Standort wird zumindest in jeder zweiten Gasse eine Dauerbegrünung, kombiniert mit einer Winterbegrünung in den restlichen Gassen, empfohlen (ANONYM 2002). Allerdings sind einer Dauerbegrünung der Rebberge v.a. in trockeneren Lagen bedingt durch die Konkurrenz zwischen Rebstöcken und Begrünungspflanzen um Wasser Grenzen gesetzt. Die chemische Unkrautbekämpfung mit Herbiziden, vorwiegend Nachauflaufpräparaten (VOGT und SCHRIFT 2000), ist im Weinbau als Ergänzung der Bodenpflege anzusehen und gegenüber der früheren Praktik der Ganzflächenbehandlung deutlich eingeschränkt worden. Sie wird heute v.a. im Unterstockbereich oder sogar nur punktuell um den Stock zur Ergänzung der mechanischen Unkrautkontrolle eingesetzt.

Pflanzenschutz

Zweck von Pflanzenschutzmaßnahmen ist es, einerseits vorbeugend zu wirken und andererseits den Befallsgrad so weit zu reduzieren, dass die „wirtschaftliche Schadensschwelle“ nicht überschritten wird. Im Rahmen eines Integrierten Pflanzenschutzes im Weinbau soll eine Kombination aus (bio-) technischen (z.B. Einsatz von Antagonisten wie Raubmilben, Pheromonfallen etc.), pflanzenzüchterischen (z.B. Resistenzzüchtung, Sortenwahl, Rebunterlagen) sowie anbau- und kulturtechnischen (z.B. Düngung, Bodenbearbeitung, Laub- und Erziehungsarbeit) Maßnahmen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel (prophylaktisch oder therapeutisch mit synthetischen Stoffen) auf das notwendige Maß reduzieren.

Züchtung

Inter- und intraspezifische Kreuzungen sind innerhalb der Gattung *Vitis* unbegrenzt möglich und v.a. in der Unterlagenzüchtung ist die Hybridisierung mit reblaus- und pilzresistenten Wildarten (*V. riparia*, *V. rupestris*, *V. cinerea*, *V. berlandieri*) verbreitet. Zur Züchtung neuer Edelsorten werden diese ebenfalls herangezogen, wobei der *Vinifera*-Anteil im Genom der zugelassenen Sorte laut Sortengesetzgebung mindestens 90 Prozent betragen muß. Ziel der Ertragsrebenzüchtung ist es, neue, krankheits- und stresstolerante, an den Standort angepasste Sorten mit beständigen Ertragsleistungen und hohen Qualitätseigenschaften bezüglich der Weinhaltstoffe zu erhalten bzw. klassische Sorten in dieser Hinsicht zu verbessern (BECKER 2001).

Ökologischer Weinbau

Die Grundgesetze des ökologischen Anbaus sind die Schaffung und Erhaltung ökologischer Gleichgewichte durch funktionsfähige Ökosysteme, eine hohe Biodiversität sowie die Prävention von Krankheiten durch Sortenwahl und Kulturmaßnahmen. Im Ökologischen Weinbau sollen die Nährstoffe den Reben möglichst über die Aktivierung des Bodens (z.B. Gründüngung) zur Verfügung gestellt werden (Verzicht auf mineralische, schnell wirksame Stickstoffdüngemittel) und die Gesundheit der Reben durch die Förderung der Widerstandskräfte erhalten werden (Verzicht auf chemische PSM). Ziel ist es, die Erzeugung regional- und standorttypischer, individueller Weine mit dem vorsorgenden Umweltschutz zu verbinden.

Anbaugebiete und Ertragslage

In Deutschland wurde im Jahr 1999 eine Rebfläche (RF) von 99.000 Hektar bewirtschaftet (ANONYM 2001b). Das entspricht rund 3 % der Gesamt-Rebfläche in der EU. Die größten Anbaugebiete sind Rheinhessen, Pfalz und Baden. Bei den Sorten dominieren die Weißen Rebsorten (76 % der gesamten RF) - vorwiegend mit Müller-Thurgau und Riesling - gegenüber den Roten Rebsorten. Im Durchschnitt der Jahre 1994 bis 1999 lag die Weinmosternte bei 9,85 Mill. Hektoliter. Im Jahr 2000 lag der Ertrag bei durchschnittlich 99,3 hl Weinmost je Hektar.

Der europäische Weinbau ist im Hinblick auf die Fläche, die Produktion und den Verbrauch weltweit führend. In der Vergangenheit waren die Interventionen im Weinsektor v.a. darauf gerichtet, das Erzeugungspotential zu drosseln (z.B. Rodungsprämie, Beschränkung der Neuanpflanzung) und den Markt zu stützen (z.B. Destillation). Um den geänderten Rahmenbedingungen auf den internationalen Märkten Rechnung zu tragen, wurde nun in der EU die gemeinsame Marktorganisation für Wein reformiert. Ziel ist eine qualitätsorientierte und nachfragegerechte Produktion, die Erneuerung der Rebflächen (Überalterung) sowie eine Rationalisierung der Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Umweltschutzmaßnahmen und sozio-ökonomischen Entwicklungen (ANONYM 2000).

6.1.1 Wichtige Krankheiten und Schädlinge

Zu den bedeutendsten tierischen Schädlingen im Weinbau zählen der Einbindige und der Bekreuzte Traubenwickler (*Eupoecilia ambiguella*; *Lobesia botrana*), die Reblaus (*Dactylosphaera* [*Phylloxera*] *vitifolii*), die Rote Spinne (*Panonychus ulmi*), verschiedene Milbenarten (z.B. *Calepitrimerus vitis*, *Tetranychus urticae*) sowie Nachtraupen (*Noctuidae*). Die Raupen des Traubenwicklers fressen an Gescheinen (Blütenstände der Rebe) und Beeren und sind v.a. wegen des sekundären Botrytisbefalls von Bedeutung. Sie werden mit Bt-Präparaten, Insektiziden oder der Konfusionstechnik mittels Pheromonen bekämpft. Die Wurzelreblaus zerstört die Wurzeln und damit die Nährstoffzufuhr, hat jedoch durch den Pfropfrebenbau mittlerweile stark an Bedeutung verloren. In Bezug auf Schadmilben ist v.a. die Ansiedlung von Raubmilben und anderen Antagonisten bzw. der Einsatz raubmilbenschonender Akarizide zu beachten.

Parasitäre Krankheiten spielen im Weinbau heute die größere Rolle, insbesondere die aus Nordamerika in Wildreben, die zur Verwendung als Unterlagen eingeführt wurden, eingeschleppten Pilze *Plasmopara viticola* (Peronospora) und *Uncinula necator* (Oidium, siehe 6.1.2). bzw. *Botrytis cinerea*, Erreger der Graufäule, einer der gefährlichsten Parasiten der Rebe, der v.a. verletzte oder reife Beeren, aber auch das Traubengerüst (Stielfäule) befällt. „Überernährte“ Reben (hoher N-Gehalt) und kompakte Trauben sind besonders anfällig. Bei später Traubenfäule und trockenem Wetter kann es allerdings auch zur sogenannten „Edelfäule“ kommen, wodurch der Wert des Erntegutes gesteigert werden kann. Meist nur lokal von Bedeutung (v.a. an der Sorte Müller-Thurgau) ist *Phomopsis viticola* als Erreger der Schwarzfleckenkrankheit. *Pseudopeziza tracheiphila* (Roter Brenner) befällt v.a. die Blätter und führt bei umfangreichem Blattverlust zum „Verrieseln“ der Trauben und Gescheine, während *Eutypa lata* (*Eutypa*) hingegen zu Kümmerwuchs führt.

Viruserkrankungen (Reisigkrankheit, Blattrollkrankheit) können bei der vegetativen Vermehrung und Veredelung mit übertragen werden. Nur zertifiziertes Rebpfanzgut (geprüfte, virusfreie Klone einer Sorte) für den Anbau zuzulassen ist allerdings umstritten, weil die Vielfalt der verschiedenen Variationen einer Sorte (Klone), welche die Ausprägung des sortentypischen Buketts und die Standortanpassung einer Sorte ausmachen, beschränkt würde.

6.1.2 Biologie und Schadenspotential des Echten und des Falschen Mehltaupilzes

Der Echte und der Falsche Mehltau sind ökosystemfremde, im 19. Jahrhundert aus Nordamerika eingeschleppte Pilze, die großen Schaden im europäischen Weinbau anrichteten, weil die Kulturreben (*Vinifera*-Arten) keine ausreichenden Abwehrmechanismen besitzen. Man nimmt an, dass die Resistenzreaktionen zu langsam eingeleitet werden, um die Erreger erfolgreich zu unterdrücken (KASSEMAYER 2001). Im Wesentlichen bestimmen Witterungsbedingungen ihr

Auftreten, weshalb eine Bekämpfung in erster Linie prophylaktisch erfolgt (siehe 6.2.1). Das Wissen um die Epidemiologie (Infektionsbedingungen, Inkubationszeit und Ausbruch der Sporangien) ist Grundlage für die Fortentwicklung von Prognosemodellen und für die Erstellung moderner Bekämpfungsstrategien mit verringertem Pflanzenschutzmitteleinsatz (siehe 6.2.2 und 6.2.4).

6.1.2.1 Der Falsche Mehltau - *Peronospora*

Biologie

Der Erreger aus der Klasse der Oomyceten, *Plasmopara viticola*, gehört zu den „Falschen Mehltaupilzen“. Seine Oosporen (sexuelle Form) überwintern im abgefallenen Reblaub und setzen auf grünen Rebscheiden (v.a. Blättern) Zoosporen frei, die eine Primärinfektion verursachen, indem sie durch Spaltöffnungen in das Pflanzengewebe eindringen (NIEDER und HÖBAUS 1992). Dort wächst das Pilzmycel interzellulär und die befallenen Blattpartien erscheinen makroskopisch als „Ölflecken (Ende der Inkubationszeit). Je nach Außenbedingungen (Luftfeuchtigkeit über 95%, Temperaturen über 12°C) werden auf der Blattunterseite Sporangien gebildet und es kommt zur Sporulation, in deren Folge es zu weiteren Infektionen mit Zoosporen (asexuelle Form) und schweren Schäden an der Kultur kommen kann (VOGT und SCHRIFT 2000). Infektions- und Sporulationsphasen sind stark witterungsabhängig, so dass eine Prognose des Krankheitsauftretens und eine Bestimmung des Bekämpfungstermins möglich sind.

Schadenspotential

Vom Pilz infizierte Blätter verfärben sich braun, vertrocknen und fallen frühzeitig ab. Peronosporabefall auf den Trauben zeigt das Schadbild der sogenannten „Lederbeeren“, die entweder abfallen oder abfaulen können. Bei anhaltend feuchter und warmer Witterung kann es zu einem epidemieartigen Auftreten und in Folge zu schweren wirtschaftlichen Verlusten (Ertragseinbußen bedingt durch den Befall der Gescheine, Trauben und Blätter sowie qualitative Beeinträchtigung des Lesegutes) kommen. Außerdem kann starker Blattbefall den Rebstock schwächen und zu einer erhöhten Frostepfindlichkeit führen (NIEDER und HÖBAUS 1992).

6.1.2.2 Der Echte Mehltau – *Oidium*

Biologie

Der Erreger *Uncinula necator* gehört zu den „Echten Mehltaupilzen“, einer Untergruppe der Ascomyceten (Schlauchpilze) und lebt an der Oberfläche grüner Pflanzenteile. Er ernährt sich über in das Pflanzengewebe gesenkte Haustorien. Durch seine Besiedlung zerstört er die Epidermis, wodurch braunviolett gefärbte, unregelmäßige Flecken (Oidiumfiguren) auf dem einjäh-

rigen Rebholz entstehen – ein Hinweis auf die Stärke des Vorjahresbefalls (NIEDER und HÖBAUS 1992). Bei günstigen Entwicklungsbedingungen schnüren Pilzfäden Konidien (asexuelle Form) ab, durch die weitere Infektionen an anderen Pflanzenteilen erfolgen können. An den befallenen Teilen (v.a. an den Beeren und der Blattunterseite) ist dann mit bloßem Auge ein grauer, mehliges Belag erkennbar. Der Oidiumpilz entwickelt sich bei Hochdruckwetterlagen (zwischen 20-25 °C, keine Niederschläge und nachts hohe Luftfeuchtigkeit) optimal. Hingegen schädigt Regen das Mycel (siehe 6.2.1.2) und feuchte Witterung fördert das Wachstum von Hyperparasiten (z.B. *Ampelomyces quisalis*) (ANONYM 2001). Der Pilz überwintert entweder in Form von Cleistothecien (sexuelle Form) auf der Borke oder vegetativ als Mycel in den Knospen des einjährigen Holzes (RÜGNER und KASSEMAYER 2000).

Schadenspotential

Der Pilz besiedelt vorzugsweise grüne, noch im Wachstum befindliche Gewebe (v.a. Gescheine und Blüten). Blattbefall führt zu Assimilationsverlusten und betroffene Gescheine fallen ab. Sind die Trauben befallen, platzen die Beeren auf (Samenbruch), wodurch es zu Sekundärinfektionen mit Essigfäule oder Penicillium-Arten kommt. Diese beeinflussen die Weinqualität negativ, weshalb befallene Trauben bei der Lese ausgeschlossen werden (ANONYM 2001). Die Anfälligkeit verschiedener Rebsorten gegenüber Oidium ist sehr unterschiedlich. Große Schäden treten z.B. bei Portugieser, Kerner oder Chardonnay auf, selten bei Burgundersorten. Selbst junge Trauben von pilzresistenten Sorten (z.B. Regent) sind kurz nach der Blüte relativ anfällig und werden erst mit Beginn der Zuckereinlagerung resistent (ANONYM 2001).

6.2 Lösungsansätze für das Mehltaubproblem

Da verschiedene Anbausysteme den Schwerpunkt bezüglich ihrer Strategien gegen diese beiden Schaderreger unterschiedlich setzen, werden mögliche Lösungsansätze jeweils einem der drei Anbausysteme (konventionell, GVO, ökologisch) zugeordnet. Es ist jedoch zu beachten, dass alle für den ökologischen Weinbau entwickelten Ansätze prinzipiell auch für den konventionellen Weinbau eine Lösung darstellen können. Die konventionelle Züchtung wiederum ist gerade für die ökologische Produktion eine wichtige Säule; der Einsatz gentechnischer Methoden wird hingegen im Biolandbau grundsätzlich ausgeschlossen (EWG 91).

6.2.1 Standardmaßnahmen gegen Mehltaubefall - Fungizideinsatz

Die Standardmaßnahme im konventionellen Weinbau gegen Mehltaubefall ist, neben kulturtechnischen Maßnahmen, v.a. der Einsatz von Fungiziden. Da herkömmliche Mittel aber v.a.

auf Sporangien, Zoosporen und Konidien wirken, muß ein wirksamer Fungizidbelag unmittelbar vor möglichen Ausbrüchen und Infektionen aufgebracht sein. Im Anbaugebiet Baden-Württemberg werden beispielsweise in der Regel 7-8 vorbeugende Spritzungen zur Peronosporabekämpfung ausgebracht, die rückblickend oft nur teilweise notwendig gewesen wären.

6.2.1.1 Kulturtechnische Maßnahmen

Vorbeugend wirkt eine luftige Erziehung der Stöcke, damit ein dem Wachstum des Pilzes förderliches Mikroklima im Stockinneren vermieden wird. Sachgerechte Laubarbeit führt durch die verbesserte Belichtung aller Pflanzeteile in einer locker aufgebaute Laubwand zu festeren Zellwänden und verringert dadurch die Anfälligkeit der Rebe (verdichtete Stellen erschweren außerdem die Bekämpfung). Hohe N-Gaben führen zu einer zu dichten Laubwand und verzögern die Ausbildung fester Zellwände (Altersresistenz). Dem kann mit einer angepaßten N-Düngung und Bodenpflege entgegengewirkt werden (ANONYM 2001).

6.2.1.2 Behandlungsmaßnahmen

Das Hauptaugenmerk bei der Pilzkontrolle liegt darauf, eine Infektion zu verhindern. Zur vorbeugenden Behandlung stehen neben Kupfer- und Schwefelpräparaten auch synthetische Fungizide (Kontaktfungizide, teilsystemische Fungizide mit lokal begrenzter Wirkung und systemische Fungizide, die auf die ganze Pflanze wirken) zur Verfügung. Letztere dringen ins Wirtsgewebe ein und üben über den Saftstrom auch auf den Neuzuwachs Schutz aus. Zeitpunkt und Verlauf der Maßnahmen orientieren sich am Vorjahresbefall, an der Anfälligkeit der Rebe, der aktuellen Witterung, der Wirkungsdauer der eingesetzten Mittel und an der Wachstumsleistung der Rebe. Außerdem werden die Mittel auch je nach Zusatzwirkungen auf andere Pilze (z.B. Botrytis) ausgewählt. Der Übergang von der protektiven zur kurativen Wirkungsweise ist oft fließend. Manche chemischen Wirkstoffe können sogar das Pilzmycel im Wirtsgewebe schädigen und haben somit auch eine kurative Wirkung (z.B. Spiroxamin).

Tabelle 11: Wichtige Wirkstoffgruppen zur Pilzbekämpfung

(SCHIEFER 2002; HERRMANN et al. 2001)

Peronospora	Oidium
--------------------	---------------

Kupfer (z.B. Kupferoxychlorid) ¹⁾	Schwefel ¹⁾
Strobilurine (z.B. Azoxystrobin) ²⁾	Strobilurine (z.B. Azoxystrobin) ²⁾
Organophosphorverbindungen (z.B. Fosetyl-Aluminium) ¹⁾	Chinoline (z.B. Quinoxifen) ³⁾
Dithiocarbamate (z.B. Mancozeb) ¹⁾	Sterolbiosynthesehemmer/SSH (z.B. Triazole) ³⁾
Chinone (z.B. Dithianon) ¹⁾	Morpholine (z.B. Spiroxamine) ³⁾
Acetamide (z.B. Cymoxanil) ²⁾	
Zimtsäuren (z.B. Dimethomorph) ³⁾	
Phenylamide (z.B. Metalaxyl) ³⁾	

¹⁾ Kontaktfungizid, ²⁾ lokal-systemische Wirkung, ³⁾ systemische Wirkung

Die Wirkungsintensität dieser Fungizide kann nur erhalten werden, wenn eine langsame Gewöhnung der Schaderreger an den Wirkstoff (Shifting) oder die Auslese widerstandsfähiger Individuen (Resistenz) vermieden wird. Bei einigen dieser Mittel (z.B. Strobilurine) ist die Resistenzgefahr sehr hoch bzw. schon eine Sensitivitätsminderung feststellbar (z.B. Triazole), weshalb die Einhaltung der Resistenzmanagementmaßnahmen von großer Bedeutung ist:

- Rebkrankheiten sollten möglichst vorbeugend bekämpft werden und nicht erst vorhandene Schädlingspopulationen.
- Die Aufwandmengen der Spritzmittel sollten genau eingehalten werden und v.a. Unterdosierungen vermieden werden.
- Es sollen nie mehr als drei Anwendungen einer Wirkstoffgruppe direkt nacheinander durchgeführt und die Wirkstoffgruppen innerhalb der Spritzfolge gewechselt werden.

Da die Ausbreitung von Mehltäupilzen (siehe 6.1.2) in erster Linie von geeigneten Witterungsbedingungen abhängt, wird versucht, durch den Einsatz von Meßnetzen und Prognosemodellen den optimalen Zeitpunkt zur Bekämpfung zu bestimmen, um eine Infektion zu verhindern und gleichzeitig die Anzahl der vorbeugenden Spritzungen zu reduzieren (siehe 6.2.2). Bei der Peronosporabekämpfung stellen - neben der Beobachtung der Witterung - Prognosemodelle wichtige Hilfsmittel dar (siehe 6.2.2).

Nach wie vor läßt sich aber der Beginn einer Oidium-Epidemie nicht mit Hilfe von Wetterdaten prognostizieren, dazu fehlen noch biologische Erkenntnisse über die Überwinterung von Oidium und die Primärinfektion (RÜGNER und KASSEMAYER 2000). Bei Oidium orientieren sich die Bekämpfungsmaßnahmen daher - außer an der Witterung - v.a. am Befall des Vorjahres (siehe auch 6.1.2.2.) und dem Einsatz von Rebschutzinformationssystemen (z.B. das Fränkische Rebschutzinformationssystem FRIS). Dort dienen beispielsweise unbehandelte Monitoringflä-

chen als Vorwarnung für Winzer, weil erste Befallsstellen mit Oidium nur mit geschultem Auge und exakter Kontrolle der Anlagen festzustellen sind. In manchen Gegenden werden Rosen als „Frühwarnsystem“ gepflanzt, die Echten Mehltaubefall vor dem Rebenbefall gut sichtbar anzeigen. Untersuchungen zeigten, dass es eine für den Befall kritische Phase („Mehltaufenster“) zwischen dem Rebblütebeginn und dem phänologischen Stadium der „Schrotkorngröße“ der Beeren gibt, bei dem der gezielte Einsatz von organischen Spritzmitteln (eventuell zusammen mit Netzschwefel) den größten Erfolg zeigt (KAST et al. 2001). Zur Vorblütebehandlung und bei normaler Witterung - je nach Empfindlichkeit der Sorte – werden 1-2 Mal Netzschwefel oder bei der letzten Vorblütenspritzung organische Mittel empfohlen (REDL 1996). Bei Oidiumwitterung und bei abgehender Blüte sollten rechtzeitig organische Präparate zur Anwendung gelangen.

6.2.2 Alternativen zum Fungizideinsatz

Bei der Suche nach Alternativen sind neben den gewünschten Auswirkungen auf die Pflanzengesundheit immer auch noch mögliche Auswirkungen auf die Kellerwirtschaft (Weinbereitung) und die Weinqualität zu berücksichtigen. So sind auch die folgenden Punkte letztlich Einzelmaßnahmen, die zu einer Verbesserung der Situation führen können, indem der Fungizideinsatz zwar nicht zur Gänze aber doch deutlich reduziert werden kann. Daher können sie v.a. in ihrer Gesamtheit als Lösungsansatz betrachten werden.

Neue Fungizide

Nicht nur aus Umweltschutzgründen, sondern auch weil manche PSM den Gärungsprozess bei der Weinherstellung negativ beeinflussen und bei manchen eine Wirkungsminderung festzustellen ist, wird laufend nach neuen Mitteln geforscht. Auch ist eine rein vorbeugende Bekämpfung gegen die Infektion mit *Plasmopara viticola* nicht immer ausreichend (mangelhafte Wettervorhersagen; schwierige Befahrbarkeit der Rebanlagen nach anhaltenden Niederschlägen), weshalb bei neuen Fungiziden v.a. auf ihre kurativen Eigenschaften geachtet wird. Moderne PSM sind zunehmend schaderreger- und stadienspezifisch (hochspezifische Wirkstoffe), wodurch aber auch die Gefahr einer Resistenz und damit die Notwendigkeit für einen Wechsel der Wirkstoffgruppen steigt. Die Spezifität der Mittel erfordert auch oft eine termingerechte Applikation und als Voraussetzung dafür ein umfassendes Schaderreger-Monitoring (HERRMANN und SCHWINGENSCHLÖGL 2002).

Applikation und Warnsysteme

Durch eine Verbesserung der Applikationstechnik lässt sich die Aufwandmenge an Pflanzenschutzmitteln reduzieren. Die Bedeutung von Prognosesystemen im Weinbau liegt in erster Linie darin, durch den gezielteren und rechtzeitigen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln die Auf-

wandmengen zu reduzieren und das Entstehen großer Schädlingpopulationen zu verhindern. So zielt v.a. der integrierte Weinbau darauf hin, nicht prophylaktisch sondern mit Hilfe von Warnsystemen erst nach der Infektion vor Ablauf der Latenzperiode einzugreifen. Die z.T. nur im Nebenerwerb wirtschaftenden Weinbauern nehmen hierfür meist einen Beratungsdienst oder ein gemeinschaftlich betreutes Prognosesystem in Anspruch. Die Staatliche Lehr- und Versuchsanstalt für Wein – und Obstbau Weinsberg (LVWO) betreibt beispielsweise ein Funkmessnetz. Am Staatlichen Weinbauinstitut Freiburg (WBI) wurde ein Prognosemodell zur Bekämpfung von *Plasmopora viticola* basierend auf der Beziehung zwischen der Witterung und der Biologie des Pilzes entwickelt. Dieses Modell setzt unmittelbar am Anschluß an die Primärinfektion an, die sich aus den Daten über Temperatur, Niederschlagshöhe und –verteilung berechnen läßt (VOGT und SCHRUFFT 2000). Zur Verbesserung wird derzeit an Wachstumsmodellen für einzelne Rebsorten gearbeitet, um diese Daten mit den Witterungsdaten verschneiden zu können. Für die Behandlungsintervalle spielt der Zuwachs der Reben nämlich eine entscheidende Rolle (BLEYER et al. 2001). Darüberhinaus stellen Prognosesysteme auch für den ökologischen Weinbau einen wichtigen und noch nicht voll ausgeschöpften Beitrag zur Optimierung von Applikationsplänen zur Peronosporabekämpfung in zeitlicher und quantitativer Hinsicht dar (TAMM et al. 2000).

Konventionelle Züchtung

Die herkömmliche Zuchtdauer von Rebsorten liegt zwischen 25-30 Jahren, bedingt durch das langsame Wachstum von Reben (erst nach drei Jahren traubentragend), geringe Vermehrungsraten, polygen vererbte Resistenzfaktoren und sorgfältige Prüfungen über mehrere Zuchtstufen. Davor liegen noch etliche Jahre komplexer Zuchtgänge (Kreuzungen und Selektionen), so dass Fortschritte nur sehr langsam erzielt werden können. Durch den Einsatz von genetischen Markern (z.B. Marker für die Resistenz gegen den Roten Brenner) kann die Züchtungsarbeit aber erheblich erleichtert werden, weil die Wahl der Kreuzungspartner gezielter und die Selektion viel früher (schon als Sämling und nicht erst im Weinberg als Rebstock) erfolgen kann (BECKER 2001).

In Deutschland sind seit 2001 einige auf herkömmliche Art und Weise gezüchtete, pilzresistente Sorten zur Qualitätsweinherstellung zugelassen. Es sind dies u.a. die Rotweinsorten Regent und Rondo sowie die Weißweinsorten Phönix, Merzling und Johanniter. In der Schweiz stehen außerdem die schon fast hundert Jahre alten, frühreifenden französischen Hybride Léon Millot, Maréchal Foch und Seyval blanc zu Verfügung (BASLER et al. 2000). Aufgrund der erhöhten Pilztoleranz ist der Bedarf an chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen bei diesen Sorten deutlich geringer. Zwei bis drei Spritzungen reichen meist aus (SCHWAB et al. 2001). Manche haben jedoch eine unzureichende Resistenz gegenüber Oidium (Rondo), Peronospora (Merzling) oder Botrytis (Phönix). Untersuchungen weisen darauf hin, dass es Rassen des Peronosporapilzes gibt, die auch bei der pilzwiderstandsfähigen Sorte Regent zu einem Befall führen kön-

nen (KAST 2001a). Allerdings bedeuten auch schon teilresistente Sorten, die in guten Jahren keine, in schlechten Jahren jedoch bis zu fünf Spritzungen benötigen, eine deutliche Verbesserung (BLATTNER 1999).

6.2.3 Einsatz von transgenen pilztoleranten Weinreben

Weltweit sind noch keine transgenen Weinreben zum Anbau zugelassen und in Europa ist in absehbarer Zeit auch nicht mit einer Marktzulassung zu rechnen (Transgen 2002). Es gibt aber bereits zahlreiche Freisetzungen v.a. in den USA und Kanada (siehe ZOGLAUER et al. 2000). Für den Transfer der Sequenzen wird bei Wein das Bodenbakterium *Agrobacterium tumefaciens* als Vektor eingesetzt. Noch wird v.a. an der Verbesserung der Methoden zur bisher schwierigen Regeneration der transgenen Keimlingen gearbeitet (TÖPFER und HARST 1999). Neben der Verbesserung der Pilzwiderstandsfähigkeit (Botrytis und Echter Mehltau in den USA) wird v.a. an virusresistenten Reben (in Frankreich und in den USA) sowie an Reben mit erhöhter Stresstoleranz (Canada) mit gentechnischen Methoden gearbeitet. Auch in Italien und Australien wird schon an gentechnisch veränderten Reben geforscht (Geschmacks- und Farbstabilität). Verschiedene Ansätze, Weinreben durch den Einbau von Fremdgenen pilzresistent zu machen, werden verfolgt:

- Chitinasen, welche Chitin in Zellwänden der Pilze zerstören (gegen Oomyceten, wie *Plasmopara viticola*, jedoch nicht wirken, weil diese kein Chitin enthalten)
- Glucanasen, hydrolisieren Glucane in Zellwänden der Pilze
- Ribosomen-Inhibitierende Proteine (RIP), welche die Proteinsynthese in Pilzen und damit ihr Wachstum behindern
- Überexpression von Phytoalexinen (COLOVA-TSOLOVA et al. 2001)

Phytoalexine zählen zu den sogenannten PR (pathogenesis-related) Proteinen, deren Produktion beim Abwehrkampf der Pflanze induziert wird. Ihre Steuerung, ebenso wie die gesamte Antwort der Pflanze auf eine Infektion, ist in ihrer Komplexität noch nicht vollständig erforscht. Die Abwehrreaktion der Pflanze kann nicht nur lokal erfolgen, sondern auch systemisch, d.h. in nicht infizierten Teilen der Pflanze oder kann durch Stress ausgelöst werden.

In Deutschland findet zur Zeit ein Freisetzungsversuch (siehe Tabelle 12) der Bundesanstalt für Züchtungsforschung an Kulturpflanzen statt. Die transgenen Reben wurden an ihrem Institut für Rebenzüchtung Geilweilerhof (IRZ) entwickelt.

Tabelle 12: Genkonstrukte des Freisetzungsversuchs in Deutschland

Konstrukt	Veränderte Eigenschaft	Ziel/Auswirkung	Transformier-	Anzahl
-----------	------------------------	-----------------	---------------	--------

			te Sorte	der Linien
p35Sgus-int	β -Glucuronidase aus <i>E.coli</i> ^{*)} (leicht durch Blaufärbung nachweisbar)	Bestimmung der Auskreuzungsrate	Dornfelder	6
pGJ40	Chitinase und Glucanase aus Gerste ^{*)}	Steigerung der Pilzwiderstandsfähigkeit	Riesling	17
pGJ42	Chitinase und RIP aus Gerste ^{*)}	Steigerung der Pilzwiderstandsfähigkeit	Riesling Seyval-Blanc	75 2

^{*)} jeweils unter Kontrolle eines 35S RNA Promotors aus CaMV und zusammen mit dem npt II Gen unter Kontrolle des NOS-Promotors als selektierbarem Marker

In den Freisetzungsversuchen soll das Resistenzverhalten, die Umweltwirkung (Auskreuzungsrate), die genetische Stabilität - auch in anderen genetischen Hintergründen (Kreuzungen) - und die Weinqualität der Versuchssorten geprüft werden.

6.2.4 Mehltaubekämpfung im Ökologischen Weinbau

Schädlinge und Krankheiten werden in einem ganzheitlichen Ansatz über die Sortenwahl (z.B. pilztolerante Sorten), die Förderung von Nützlingen und die Aussetzung natürlicher Gegenspieler bekämpft. Ein Verzicht auf Insektizide ist - auch wegen der zur Verfügung stehenden biologischen (z.B. Bt) und biotechnischen (z.B. Konfusionstechnik) Verfahren - möglich und dieser Weg wird auch schon in der integrierten Produktion besprochen (KÖPFER 1999). Da aber das Auftreten von Pilzkrankheiten v.a. witterungsbedingt ist und zu wenige resistente Sorten zur Verfügung stehen bzw. angebaut werden, kommt auch der Ökologische Weinbau nicht ohne den Einsatz von Pflanzenschutz- und Pflanzenstärkungsmitteln aus.

6.2.4.1 Kulturtechnische Maßnahmen

Beim Rebschnitt ist auf einen lockeren Aufbau der Laubwand zur guten Durchlüftung und Förderung einer raschen Abtrocknung zu achten (siehe 6.2.1.1). Weitraumanlagen mit Zeilenabständen zwischen 2 und 3,5 m begünstigen eine rasche Abtrocknung des Laubes (HOFMANN et al. 1995). Eine hohe Erziehung der Stöcke (Stammhöhe mind. 70 cm) sowie eine Begrünung, welche die Spritzintensität der Regentropfen vermindert, reduzieren bei *Peronospora* das Befallspotential vom Boden (HOFMANN 1999). Außerdem kann vorbeugend durch Kompostgaben oder Spritzungen mit Schachtelhalm-Kompostextrakten die Antagonistentätigkeit erhöht und dadurch ausgekeimte Sporen abgetötet werden (HOFMANN

dadurch ausgekeimte Sporen abgetötet werden (HOFMANN et al. 1995). Die bei Oidiumbefall sichtbaren Zeigertriebe müssen konsequent entfernt werden (ANONYM 2001a).

6.2.4.2 Behandlungsmaßnahmen

Peronosporabekämpfung

Gegen den Falschen Mehltau stehen als praktikable und wirksamen Verfahren der Einsatz von Kupferpräparaten in niedrigen Dosen und Pflanzenstärkungsmitteln (z.B. aluminiumhaltige Gesteinsmehle) und zur Verfügung. Diese Präparate haben eine abhärtende, zellwandverstärkende Wirkung (ANONYM 2001a). Tonerdepräparate, wie z.B. Myco-Sin®, sind allerdings weniger pflanzenverträglich. Ihre Wirkung kann bei starkem Befallsdruck unzureichend sein und ist v.a. nicht kurativ, weshalb ein Erfolg immer von Zeitpunkt und Regelmäßigkeit der Applikation abhängig ist. Eine Kontrolle der Witterungs- und Infektionsbedingungen mittels Thermohygrographen und Blattbenetzungsschreiber sowie eine zeitlich versetzte Kombination von Kupfer- und Tonerdepräparaten ermöglicht eine gezielte Applikation, wodurch der Gesamtkupferanteil (z.B. auch über die Applikationstechnik) gesenkt werden kann (HOFMANN 2000). Empfohlen werden 2-3 Vorblütebehandlungen mit den Pflanzestärkungsmitteln Ulmasud® oder Myco-Sin®, bei stärkeren Infektionsbedingungen, bei abgehender Blüte und bei der ersten Nachblütebehandlung Kupfer (zwischen 100-300 g/ha bzw. 200-400g/ha), gefolgt von weiteren Behandlungen mit Gesteinsmehlen oder Kupfer und einer Abschlußspritzung mit ca. 500 g/ha Kupfer (HOFMANN 2000).

Oiduibekämpfung

Gegen den Echten Mehltau stehen Schwefelpräparate sowie Wasserglas- und Backpulverhaltige (NaHCO_3) Mittel zur Verfügung (ANONYM 2001a). Pflanzliche Öle (z.B. Rapsöl, Fenchelöl) und Pflanzenstärkungsmittel (Wasserglas oder Gesteinsmehle) können beigemischt oder für sich verwendet werden. Außerdem werden auch Pflanzenextrakte (z.B. Schachtelhalmextrakt, Brennesselbrühe, Zwiebelschalenjauche), bei denen die bioziden oder resistenzfördernden Wirkungen von Pflanzeninhaltsstoffen (Alkaloide, Gerb- und Bitterstoffe, Gylcoside u.ä.) ausgenützt werden, verwendet (HOFMANN et al. 1995).

Bei warmem und trockenem Wetter kann der Schwefelbelag verdampfen und enge Spritzabstände notwendig machen, weil Schwefel keine kurative Wirkung hat, sondern vor der Infektion auf dem Blatt sein muss (HOFMANN et al. 1995). Oidium breitet sich v.a. bei trockenem Wetter aus, so dass durch das häufigere Befahren zwar die Energiebilanz verschlechtert wird, aber zumindest keine größeren Schäden an den Böden angerichtet werden (KAST 1999). Allerdings kann der Einsatz von Schwefel, ebenso wie der von Kupfer und aluminiumhaltigen Gesteinsmehlen, in höheren Konzentrationen v.a. im Nachblütebereich nützliche Raubmilben schädigen

(HOFMANN et al. 1995, BODENMÜLLER 2000). Frühe Anwendungen (zur Zeit der Austriebs und des Knospenschwellens) schädigen Raubmilben nicht und reduzieren das Oidiumauftreten - v.a. wenn viele Kleistothecien vorhanden sind (REDL 1996) - deutlich.

Bei starkem Oidiumbefall oder Behandlungsfehlern kann es spät in der Saison zu einem starken Mehltaubelag kommen. Kurz vor dem Weichwerden der Beeren muß der Mycelbelag aber möglichst rasch beseitigt werden, um das Aufplatzen der Beeren und die sekundäre Besiedelung mit anderen Pilzen zu verhindern. Für solche Fällen stehen dem Ökologischen Weinbau zur Not physikalische Waschverfahren zur Verfügung. Wasser schädigt nämlich sowohl die Mehltauhyphen als auch die Konidien. Die kurative Wirkung des Wassers kann durch Beimischung von Netzmitteln (1-1,5 % Seife) oder von Pflanzenstärkungsmitteln wie z.B. Wasserglas (Na- bzw. Kalisalz der Kieselsäure 1-1,5 %) noch verstärkt werden (KAST 2001).

6.3 Umweltrelevante Effekte

Nachdem aber die Abschätzung möglicher Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Maßnahmen mit großen Schwierigkeiten verbunden ist (siehe 8), soll im Folgenden die Umweltexposition (Emission synthetischer Stoffe) unterschiedlicher Lösungsansätze dargestellt werden. Dabei steht hier eine mögliche Reduktion des Fungizideinsatzes - neben der Stabilität der Maßnahme - im Mittelpunkt (siehe 6.3.1 - 6.3.3). Herbizide und synthetische Insektizide spielen im Weinbau mengenmäßig eine untergeordnete Rolle. Der Ertrag als vorrangiges Betriebsziel tritt bei Wein - im Unterschied zu anderen landwirtschaftlichen Produkten - aufgrund der marktwirtschaftlichen Entwicklungen der letzten Jahre (weniger Betriebe mit jeweils größeren Flächen) gegenüber der Qualität zunehmend in den Hintergrund (HERRMANN und SCHWINGENSCHLÖGL 2002). Es ist jedoch zu beachten, dass für eine ökotoxikologische Betrachtung die Qualität und die Anwendung der Pflanzenschutzmittel und nicht nur die Aufwandsmengen zu berücksichtigen wären.

Da die Pilzbekämpfung v.a. in Nässeperioden (Peronospora) in z.T. sehr engen Spritzfolgen notwendig ist, ergeben sich oft Folgeprobleme durch das Befahren der nassen Böden (Vedichtungen, Rinnerosion) (KAST 1999). Eine Ökobilanz der Beikrautbekämpfung im Weinbau - ohne Berücksichtigung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln - ergab, dass der Energieeinsatz für den Betrieb der Weinbergmaschinen der dominierende Faktor ist. Weder die Herstellung der Bearbeitungsgeräte noch die Herstellung der Herbizide fallen beim Vergleich der unterschiedlichen Beikrautregulierungsmaßnahmen so stark ins Gewicht wie der Kraftstoffverbrauch (SCHORB 1998). Aus ökologischer Sicht ist daher in allen Bewirtschaftungssystemen - neben begrünten Rebassen - eine Reduktion der Anzahl der Fahrten im Weinberg anzustreben. Die-

se Betrachtungsweise ist zwar üblich, kann jedoch irreführend sein, weil die Ökotoxikologie der Pflanzenschutzmittel nicht einbezogen wird.

6.3.1 Konventionelle Alternativen

Aufgrund der breiten Palette an Fungiziden, die im Weinbau heute zur Verfügung stehen, und der gut ausgebauten Beratung, haben die Winzer das Mehltauproblem einigermaßen im Griff. Durch den Einsatz immer wirkungsspezifischerer PSM in der Praxis und die zunehmende Unterstützung der Beratung durch Prognosesysteme ist noch ein gewisses Potential gegeben, den Pflanzenschutzmittelaufwand in Summe weiter zu reduzieren und gleichzeitig die Ertragssicherheit weiter zu erhöhen. Manche befürchten jedoch, dass aufgrund des zunehmend komplexeren und beratungsintensiveren Pflanzenschutzes der Aufwand für die Betriebe weiter steigt und diese aus marktwirtschaftlichen Gründen ihre Kapazitäten in diesem Bereich nicht weiter erhöhen können oder den Mehraufwand im Marketing sogar jetzt schon z.T. in der Produktion einsparen müssen (HERRMANN und SCHWINGENSCHLÖGL 2002).

Der Einsatz neuer Züchtungen von pilzresistenten Sorten kann – auch wenn es sich z.T. nur um teilresistente Sorten handelt – den Pflanzenschutzmittelaufwand sicherlich deutlich reduzieren. Allerdings sind nicht nur der Echte und der Flasche Mehltau im Weinbau von Bedeutung. Denn selbst wenn aufgrund der Witterung z.B. keine Behandlung gegen *Peronospora* notwendig wäre, sind vielleicht gegen andere Pilzkrankheiten (z.B. *Botrytis* oder Roter Brenner) Spritzungen nicht vermeidbar. Wenngleich mögliche Resistenzdurchbrüche durch Anpassung aggressiver Pilzstämme den Erfolg schmälern könnten, so ist dieser Weg einer biologischen Bekämpfung der Pilzkrankheiten sicherlich langfristig am vielversprechendsten (siehe 6.2.2). Mit resistenten Sorten ist es möglich, Weinbau in Steillagen als ein die Kulturlandschaft prägendes Element zu erhalten, aber auch der wachsenden Nachfrage der Verbraucher nach umweltgerecht erzeugten Lebensmitteln entgegen zu kommen.

6.3.2 Transgene pilztolerante Weinreben

Wenngleich durch transgene Reben die in der Rebenzüchtung übliche Selektionsdauer von 25-30 Jahren (siehe 6.1) kaum verkürzt werden kann, so hofft man, traditionelle Sorten zu erhalten, die einen geringeren Pflanzenschutzmittelaufwand benötigen (TÖPFER und HARST 1999). Allerdings sind noch viele Fragen bezüglich möglicher Umweltwirkungen z.B. bei den in Deutschland freigesetzten Reben, wie die nach den Auswirkungen der Tatsache, dass die Enzyme (Chitinase, Glucanase) ständig und in allen Pflanzengeweiben expremiert werden, (v.a. auf Insekten) offen. Bei natürlichen Abwehrsystemen unterliegt die Produktion dieser Abwehrstoffe in der Pflanze schließlich einer Steuerung.

Wie groß der Beitrag der auf diesem Weg gezüchteten Reben zu einer umweltschonenderen Produktion sein kann, wird – ebenso wie bei der konventionell gezüchteten Resistenz - in erster Linie davon abhängen, wie dauerhaft die Resistenz ist. Die Resistenzbildung ist im Allgemeinen von der zugrundeliegenden Resistenzstrategie und den Anbaubedingungen (z.B. Feldgröße, Anteil in Fruchtfolge) abhängig (SCHULTE und KÄPPELI 1996). Bei Weinreben werden Resistenzen gegen den Echten und den Falschen Mehltau polygen vererbt, d.h. mehrere Teilresistenzen sind gleichzeitig vorhanden und üben als Einzelfaktoren nur einen geringen Selektionsdruck auf die Krankheitserreger aus (KOECHLIN et al. 1999). Dies ist wohl auch der Grund dafür, warum bisher noch kein Erregerstamm bekannt ist, der diese polygenen Resistenzen durchbrechen kann (KOLLER und GESSLER 1996). Gleichzeitig ist aber gerade deshalb – und weil Reben hochgradig heterozygot sind - die konventionelle Züchtung resistenter Sorten so schwierig. Es wird jedoch vermutet, dass die isolierte Verwendung einzelner Resistenzfaktoren – wie im Falle der Gentechnik – zu einer langsamen Selektion virulenter Pathotypen führen könnte (KOLLER und GESSLER 1996). Das wäre v.a. bei Dauerkulturen wie dem Wein sehr problematisch und würde die langfristige Wirksamkeit dieser Maßnahme in Frage stellen.

6.3.3 Ökologischer Landbau

In Deutschland werden ca. 2% der Rebenflächen ökologisch bewirtschaftet. Die geringeren Erträge (mehr noch als der erhöhter Arbeitsaufwand) sowie die Tatsache, dass die volkswirtschaftlichen Mehrleistungen der ökologischen Produktion für die Umwelt nicht honoriert werden, machen die ökologische Produktion teuer (KÖPFER und GEHR 2000). Der ökologische Weinbau verzichtet zwar zur Gänze auf chemische PSM und mineralische Stickstoffdünger, benötigt jedoch Kupfer- und Schwefelpräparate, deren Anwendung auch nicht unproblematisch ist (siehe unten).

Der Ökologische Weinbau unterstützt die Pflanzengesundheit mit acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen. Das Regenerationsvermögen des Ökosystems Weinberg und die Bodenfruchtbarkeit werden über geeignete Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen und ein angepasstes Habitatmanagement gefördert. So werden den Reben beispielsweise über eine Kombination unterschiedlicher organischer Dünger (z.B. Kompost) sowie Lockerungs- und Begrünungsmaßnahmen (z.B. Leguminosen) ausreichend Nährstoffe zur Verfügung gestellt (KÖPFER und GEHR 2000). Die aktive Begrünung der Rebbergsböden fördert über die Durchwurzelung das Bodenleben, verbessert die Wasserspeicherfähigkeit und erhöht die biologische Vielfalt im Rebberg. Die alternierende Bewirtschaftung der Rebassen (z.B. jede zweite Gasse mulchen) ermöglicht viele standortangepasste Verfahren durch Kombination von Einzelmaßnahmen (z.B. Unterstockbereich offen, Gassen begrünt etc.) (KÖPFER und GEHR 2000). Bei pilzresistenten Sorten, wie z.B. Léon Millot oder Maréchal Foch im Hocherziehungssystem (2 m hoch) kann die

Begrünung mit Schafen bewirtschaftet werden und dadurch die Bewirtschaftungsintensität auf ein Minimum reduziert werden (BLATTNER 1999; KAST und HELLER 2001). In der Anbautechnik (Erziehungsarten, Kulturmaßnahmen, Sorteneignung) sollte im Hinblick auf die Gesunderhaltung der Pflanze verstärkt geforscht werden (HOFMANN 2000). Versuche im konventionellen Weinbau in Israel haben beispielsweise gezeigt, dass das Erziehungssystem bzw. die Laubwandgestaltung über die unterschiedliche Strahlungsintensität, die auf die Trauben einwirkt, sehr wohl einen signifikanten Einfluß auf den Befall mit Oidium haben (ZAHAVI et al. 2001). In Österreich ist man beispielsweise dazu übergegangen, die Anzahl der Rebstöcke pro Hektar zu fördern und nicht mehr den Ertrag. Dahinter steckt u.a. die Auffassung, den durch hohe Ertragsleistungen bedingten Stress für den einzelnen Stock zu mindern und damit vielleicht gesündere Kulturen – wenngleich mit erhöhtem Arbeitsaufwand (Laubarbeit) – und vergleichbare Hektarerträge zu erhalten.

Kupferproblematik

Die Anwendung von Kupfer ist aus mehreren Gründen problematisch. Erstens ist es in höheren Konzentrationen phytotoxisch, aber auch giftig für Säugetiere. In biologischen Weinen gefundenen Kupfergehalte sind zwar diesbezüglich unbedenklich, in ihnen sind jedoch rund 56% mehr Kupfer als in konventionellen Weinen enthalten (BODENMÜLLER 2000). Zweitens ist die Anreicherung in Boden, Wasser und Sedimenten bedenklich. Dort wirken Kupferionen (im Boden je nach pH-Wert und Humusgehalt) toxisch auf Pflanzenwurzeln (HOFMANN 1999) und auch auf Fische. Die schädigende Wirkung auf manche Kleinstlebewesen (z.B. Regenwurm, Algen, Bakterien) kann in weiterer Folge die Bodenfruchtbarkeit negativ beeinflussen.

Die Anbauverbände in Deutschland, Österreich und der Schweiz haben die Kupferanwendungen in der Ökologischen Landwirtschaft mit 3-4 kg/ha und Jahr limitiert. Die Europäische Kommission strebt ein Ende für die Zulassung von Kupferpräparaten an. Allerdings stehen dem Ökologischen Landbau zur Zeit keine ausreichenden Lösungen für den Ersatz von Kupferpräparaten zur Verfügung, weshalb auch die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA) eine zeitlich begrenzte Verlängerung der Verfügbarkeit für den Ökologischen Landbau unterstützt (BEER 1999). Um nun die Forschung nach Alternativen zu intensivieren wird der Kupfereinsatz im geänderten Anhang II der EU-Verordnung 2092/91 auf 8 kg/ha und Jahr beschränkt und entsprechende Forschungsmittel bereitgestellt (TAMM p.M.). Schließlich müssen die Mittel für die Praxis nicht nur wirksam, sondern auch erschwinglich sein. Die unten aufgelisteten Forschungsfelder werden in Zukunft einen Beitrag dazu leisten, den Einsatz von Kupfer zu reduzieren.

Forschungsfelder

Da die Europäische Union kupferhaltige Spritzmittel in Zukunft verbieten möchte, wird intensiv nach Alternativen und Reduktionsmöglichkeiten gesucht. Ebenso wird aufgrund der Tatsache, dass Nützlinge beeinträchtigt werden, sowie Rückstände im Wein auftreten, nach Ersatzmitteln zu Schwefel Ausschau gehalten. Die Forschung nach biologischen Pflanzenschutzmitteln und synergistisch wirkenden Kombinationen derselben ist im Labor zwar intensiv im Gange, allerdings fehlt es noch an Feldversuchen in großem Maßstab (z.B. in staatlichen Öko-Weingütern). Denn oft bereitet gerade die Anpassung einer im Labor erfolgreichen Methode an die Praxisbedingungen Schwierigkeiten (BERKELMANN-LÖHNERTZ 2002).

- Die Züchtung neuer pilzresistenter Sorten (siehe 6.2.2) hat für den Ökologischen Weinbau als langfristige Lösung höchste Dringlichkeit. Ihre Attraktivität liegt v.a. darin, dass mit diesen Sorten Pflanzenschutzmaßnahmen - und damit Arbeitsaufwand und Geld - eingespart werden können. Mindestens so schwerwiegend wie das Fehlen einer ausreichenden Anzahl geeigneter Sorten ist aber die Tatsache, dass bei der Sortenwahl aus marktwirtschaftlichen Gründen oft traditionelle Sorten bevorzugt werden (KÖPFER 1999).
- Für den Ökologischen Weinbau werden laufend neue Mittel (organ. und anorgan. Präparate) als Alternativen oder als Ergänzung zu Kupfer getestet. Diese bieten z.T. sowohl im Labor als auch im Freiland eine gewisse Wirkung, allerdings ist der Wirkungsgrad meist zu niedrig bzw. stellt sich bei hohen Konzentrationen oder guter Wirksamkeit die Frage nach Nebenwirkungen. Phosphorige Säure (z.B. Kaliumphosphit), die auch eine kurative Wirkung hat, könnte beispielsweise bei früher Anwendung durchaus erfolgreich - allerdings nur gegen *Peronospora* - eingesetzt werden (SPEISER et al. 2000). Ihr Einsatz wird aber wegen Rückständen im Wein nicht für den Ökologischen Weinbau empfohlen (SPEISER et al. 2000). In Kombination mit Kupfer haben auch NaHCO_3 und KHCO_3 gute Ergebnisse geliefert (KAUER et al. 2002). Gegen *Oidium* hat sich in Versuchen - neben Natrium- und Kaliumbicarbonat (KAUER et al. 2000) - auch das Pflanzenstärkungsmittel Milsana® (Pflanzenextrakt aus dem Staudenknöterich *Reynoutria sachalinensis*) als erfolgreich erwiesen (SCHMITT et al. 2002). Versuche in Weinbergen mit Milsana®, Myco-Sin® und *Brevibacillus brevis* (Wirkung gegen *Botrytis cinerea*) lassen die Kombination dieser drei Mittel als eine vielversprechende Basis für eine biologische Pilzbekämpfung im Weinbau erscheinen (SCHMITT et al. 2002).
- Die Aktivierung der pflanzeigenen Abwehrmechanismen durch die Behandlung einer Pflanze mit geeigneten mikrobiologischen oder chemischen Mitteln (induzierte Resistenz). Sie erfolgt zuerst meist an der behandelten Stelle (local acquired resistance), manchmal auch auf entfernten Pflanzenteilen (systemic acquired resistance). Die natürliche Reaktion einer Pflanze auf eine Infektion kann auch durch sogenannte Resistenzinduktoren (z.B. Salicylsäure) hervorgerufen werden und erhöht in der Folge die Produktion

bestimmter für die Abwehr wichtiger Enzyme (PRP - pathogenesis related proteins, z.B. Chitinasen oder Glukanasen) in der Pflanze. Neben der Erforschung der Grundlagen werden laufend auch mögliche Induktoren getestet, die teilweise allgemeine, teilweise aber auch spezielle Stoffwechselwege aktivieren. Das Problem dabei ist oft, dass der Induktor nur schlecht durch die Zellwände in die Zellen eindringt und damit seine volle Wirkung nicht entfalten kann, d.h. Ergebnisse an Zellkulturen lassen sich nur schwer auf Freilandbedingungen übertragen (KASSEMEYER p.M). Für Reben wird am Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FIBL) beispielsweise ein wässriger Extrakt aus Zellwandbestandteilen des Pilzes *Penicillium chrysogenum* getestet (KOECHLIN et al. 1999). In Versuchen auf Kreta wurde beispielsweise beim Einsatz eines Bodenverbesserungsmittels sowohl ein hinreichender Schutz gegen Oidium als auch eine ertragssteigernde und reifungsbeschleunigende Wirkung beobachtet (BOURBOS et al. 1999). Das Mittel enthält v.a. Schwefelgranulat und Mikroorganismen der Gattung *Thiobacillus* und bewirkt offensichtlich eine Stimulation des pflanzlichen Abwehrsystems über den Boden. Bezüglich der Abklärung der erwünschten Wirkungen - aber auch der unerwünschten Nebenwirkungen - von Resistenzinduktoren ist allerdings noch ein erheblicher Forschungsbedarf gegeben.

- Ebenso wird nach mikrobiellen Antagonisten gesucht, die als Parasiten oder Konkurrenten den Mehltaupilzen schaden. Der natürlich vorkommende Hyperparasit *Ampelomyces quisalis* befällt den Echten Mehltaupilze bei Vorhandensein von Wasser (FALK et al. 1995). Allerdings ist das Präparat sehr teuer. Bei Versuchen mit Konidiensuspensionen von *Fusarium proliferatum* konnte die Entwicklung von *Plasmopara viticola* gehemmt werden (FALK et al. 1996). Allerdings wird dieser Ansatz zur Zeit nicht weiter verfolgt. Weitere Forschungen mit Bakterien (z.B. *Erwinia herbicola*) zeigen, dass prophylaktische Anwendungen, feuchte Bedingungen nach der Applikation und das Beimischen von Additiven (z.B. Zellulose) die Wirkung positiv beeinflussen (TILCHER et al. 2002). Die Wirkung mikrobieller Antagonisten wird allerdings von anderen Kontrollstrategien (z.B. Fungizide, Kupferpräparate etc.) beeinträchtigt (TILCHER et al. 2002).

6.4 Fazit

Generell bedarf es im Weinsektor noch einiges an Aufklärung, Information und Sensibilisierung für die Pilz- bzw. Fungizidproblematik auf Seiten der Konsumenten. Denn da im deutschsprachigen Raum die Angabe der Weinsorte am Etikett üblich ist, ist somit auch die Einführung neuer (pilzresistenter) Sorten für den Konsumenten sichtbar. Im Gegensatz dazu stehen in anderen Ländern Anbaugebiet und Produzent im Vordergrund, weil historisch bedingt Kellerwirt-

schaft und Anbau jeweils eigenständige Bereiche bilden. Sowohl Winzer als auch Konsumenten orientieren sich bei der Kaufentscheidung zur Zeit aber noch vorwiegend an den traditionellen Namen. Diesbezüglich könnte die gentechnische Züchtung pilzresistenter Reben möglicherweise von Vorteil sein, vorausgesetzt die sortentypischen Eigenschaften, v.a. bezüglich der Weinqualität, können erhalten werden und kein neuer Sortenname ist notwendig. Da v.a. der deutschsprachige Raum von einem konservativen Konsumverhalten gekennzeichnet ist, wäre dies der einzige Weg, dem Wunsch der Praxis nach pilzresistenten klassischen Rebsorten (z.B. Riesling) gerecht zu werden (TÖPFER und HARST 1999). Ob die gentechnische Veränderung jedoch die Weinqualität wirklich nicht - wie angenommen - beeinträchtigt, bleibt noch abzuwarten.

Bei der konventionellen Züchtung pilzresistenter Sorten entstehen zwangsläufig immer neue Sorten, mit neuen Namen und neuer Weinqualität. Bezüglich der sensorischen Akzeptanz stehen sie jedoch den traditionellen Sorten um nichts nach, wie Resultate in Degustationen zeigen (BASLER 1999). Die neuen pilzfesten Sorten könnten daher verstärkt in Form von Cuvées in den Markt eingeführt werden bzw. die Sorten bei eingeführten Cuvées ausgetauscht werden, ohne dass der Kunde mit einem neuen Namen konfrontiert wird (BECKER 2000).

Für den ökologischen Weinbau, der sich beim Pflanzenschutz stark auf die Wahl geeigneter Sorten stützt, sollten ebenfalls langfristig viele pilzresistente Sorten - auch für die Qualitätsweinerzeugung - zur Verfügung stehen. Wie erste Versuche auf dem staatlichen Öko-Weinbaubetrieb Burg Wildeck zeigen, kann mit solchen Sorten auch die Bewirtschaftungsintensität und damit der Energieaufwand (z.B. durch den Einsatz von Schafen in der Begrünungspflege) deutlich reduziert werden (KAST und HELLER 2001).

Die konventionelle Züchtung liefert zunehmend neue pilztolerante Sorten, zur deren Etablierung am Markt eine finanzielle Unterstützung entsprechender Marketingmaßnahmen sicherlich einen großen Beitrag leisten kann. Die Veränderung muß also v.a. noch in den Köpfen der Konsumenten stattfinden, dann steht der breiten Umsetzung dieses Lösungsansatzes nichts mehr im Weg.

6.5 Literatur

- ANONYM 2002: Hinweise zur Düngung von Ertragsreben. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/aktuelles/Leitfaden%20Duengung%20Rebe.html>
- ANONYM 2001: Oidium (Rebenmehltau) – Schadbild, Biologie und Bekämpfung. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/Veroeff/oidiuminfo.htm>
- ANONYM 2001a: Pflanzenschutz im ökologischen Weinbau. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/Veroeff/PflanzenschutzOekoweinbau.htm>

- ANONYM 2001b: Ertragslage Garten- und Weinbau. Ergänztter Auszug aus dem Agrarbericht 2001 der Bundesregierung. Hrsg.: Bundesministerium f. Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. <http://www.verbraucherministerium.de/wirtschaftsdaten/ertragslage-gartenbau/ertragslage-gb-2002.pdf>
- ANONYM 2000: Derzeitige Lage und Perspektiven : Weinsektor. http://europa.eu.int/comm/agriculture/publi/pac2000/wine/index_de.htm
- BASLER P., WOLFF M., GEHR E. 2000: Angepasste Rebsorten für den Ökologischen Landbau. In: Ökologie & Landbau 114 2/2000, p.45-47
- BASLER P. 1999: Akzeptanz von Weinen aus pilzresistenten Sorten Tagungsbeitrag auf dem „internationalen Erfahrungsaustausch zum Ökologischen Weinbau“ in Weinsberg <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/kongress/BASLER.htm>
- BAUER K. 1996: Weinbau. Lehr- und Fachbuch für den integrierten Weinbau. Österreichischer Agrarverlag.
- BECKER A. 2001: Die Rebenzüchtung an der Bayrischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. <http://www.stmfl.bayern.de/lwg/weinbau/info/rebenzue.html>.
- BECKER N. 2000: Pilzwiderstandsfähige Rebenneuzuchten – Ein möglicher Beitrag zum umweltschonenden Weinbau. Proceedings. 6th internat. Congress on Organic Viticulture. Basel. IFOAM 2000.
- BEER H. 1999: Forschungsbedarf und Alternativen In: Pflanzenschutz im ökologischen Landbau - Probleme und Lösungsansätze. Zweites Fachgespräch am 5. November 1998 in Darmstadt. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 53.
- BERKELMANN-LÖHNERTZ B. 2002: Copper replacement in organic viticulture – state of the art in legislation and research. In: 10th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing and Viticulture. Weinsberg 2002.
- BLATTNER V. 1999: Entwicklungschancen für den ökologischen Weinbau. Tagungsbeitrag auf dem „internationalen Erfahrungsaustausch zum Ökologischen Weinbau“ in Weinsberg <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/kongress/blattner.html>.
- BLEYER G., HUBER B., KASSEMAYER H.-H., SCHULTZ H.R. 2001: Perspektiven für die Bekämpfung von *Plasmopara viticola* mit Prognosemodellen. http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/wbi/Veroeffentlichungen/Fachartikel/FA_pflanzliche_Schaedlinge/fa_pflanzliche_schaedlinge/Artikel/Gottfried_Bleyer/Bleyer_Prog_Pero.pdf.
- BODENMÜLLER K. 2000: Biologische, konventionelle und gentechnische Anwendungen in der Landwirtschaft. Gesundheitliche und ökologische Aspekte. InterNutrition – Schweizerischer Arbeitskreis für Forschung und Ernährung, Zürich.
- BOURBOS V.A., SKOUDRIDAKIS M.T., BARBOPOULOU E., VENETIS K. 1999: Ecological Control of grape powdery mildew (*Uncinula necator*). <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/kongress/SULFUR.html>.
- COLOVA-TSOLOVA V., PERL A., KRASTANOVA S., TSVETKOV I., ATANASSOV A. 2001: Genetically Engineered Grape for Disease and Stress Tolerance. In: Molecular Biology & Biotechnology of the Grapevine. K.A. Roubelakis-Angelakis (ed.), Kluwer Academic Publishers.
- EWG 1991: Richtlinie 91/414/EWG des Rates vom 15. Juli 1991 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. Abl. Nr. L 230: 1-32.

- 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. In: *Phytopathology* Vol. 86, No. 10, p.1010-1017.
- FALK S.P., GADOURY D.M., PEARSON R.C., SEEM R.C. 1995: Partial Control of Grape Powdery Mildew by the Mycoparasite *Ampelomyces quisalis*. In: *Plant Diseases* 79, p. 483-490.
- HERRMANN J.V., SCHWINGENSCHLÖGL P. 2002: Der Pflanzenschutz im Weinbau – vor Herausforderungen. <http://www.stmlf.bayern.de/lwg/weinbau/info/pfl-sch.html>
- HERRMANN J.V., HOFMANN H., EICHLER P. 2001: Rebschutzleitfaden 2001. <http://www.stmlf.bayern.de/lwg/weinbau/rebschutzleitfaden/4rund-um.pdf>.
- HOFMANN U. 2000: Kupferminimierung und Einsatz von Tonerden zur Peronosporabekämpfung im ökologischen Weinbau. *Proceedings. 6th internat. Congress on Organic Viticulture. IFOAM 2000.*
- HOFMANN U. 1999: Kupferproblematik und Peronosporabekämpfung im ökologischen Weinbau. In: *Be-richte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* Bd. 53, p. 18-23
- HOFMANN U., KÖPFER W., WERNER A. 1995: *Ökologischer Weinbau*. Stuttgart Ulmer Verlag.
- KASSEMEYER H.-H. 2001: Forschung im Rebschutz. http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/wbi/Fachinformationen/unterpunkt_Biologie/botanik/bw_botanik_2000.htm.
- KAST W.K. 2001: Waschmethode gegen den Rebenmehltau. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/Veroeff/rebmehlt.htm>.
- KAST W.K. 2001a: Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit der Resistenz neuer Rebsorten. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/Veroeff/Resistenzdauer.htm>.
- KAST W.K., HELLER W. 2001: Burg Wildeck, ein staatlicher Öko-Weinbaubetrieb in Württemberg – Erfahrungen im Jahr 2000. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/Veroeff/wildeck00.htm>.
- KAST W.K., STARK M., SCHIEFER H.-C. 2001: Das Mehлтаufenster. Oidiumbekämpfung – wann kommt's darauf an? <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/Veroeff/Mehltaufenster.htm>.
- KAST W.K. 1999: Weinbau und Ökologie – Ökologie im Weinbau. Eine einführende Betrachtung nach einem Vortrag auf dem „internationalen Erfahrungsaustausch zum Ökologischen Weinbau“ in Weinsberg. <http://landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/kongress/Kast.htm>.
- KAUER R., WOLFF M., SCHMIDT M., BERKELMANN-LÖHNERTZ B. 2002: Kupferreduzierung im ökologischen Weinbau in Deutschland – Feldversuch und praktische Erfahrungen. In: *10th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing and Viticulture. Weinsberg 2002.*
- KAUER R., GAUBATZ B., WÖHRLE M., KORNITZER U., SCHULTZ H.R., KIRCHNER B. 2000: Organic Viticulture without Sulphur? 3 Years of Experience With Sodium- and Potassiumb carbonate. *Proceedings. 6th internat. Congress on Organic Viticulture. IFOAM 2000.*
- KOLLER B., GESSLER C. 1996: Gentechnisch erzeugte Krankheits- und Schädlingsresistenz bei der Weinrebe. In: *Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen – eine Option für die Landwirtschaft?*. Hrsg. Schulte und Käppeli. Publiziert vom Schwerpunktprogramm biotechnologie, Schweiz. Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftl. Forschung.

- KOECHLIN F., BRUNNER T., NOWACK K., TAMM L., TAPPESER B., ECKELKAMP C., WEBER B., VOGEL B. 1999: Zukunftsmodell Schweiz – Eine Landwirtschaft ohne Gentechnik? Hrsg.: Blauen-Institut
- KÖPFER P., GEHR E. 2000: Ökologischer Weinbau in Deutschland. Proceedings. 6th internat. Congress on Organic Viticulture. 25 to 26 August 2000 Convention Center Basel. SÖL-Sonderausgabe Nr.77.
- KÖPFER P. 1999: Der ökologische Weinbau – ökologische und ökonomische Chancen für europäische Weinbauregionen – Bericht aus Deutschland. Tagungsbeitrag auf dem „internationalen Erfahrungsaustausch zum Ökologischen Weinbau“ in Weinsberg
<http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/kongress/KOEPFER.html>.
- NIEDER G., HÖBAUS E. 1992: Krankheiten, Schädlinge und Nützlinge im Weinbau. Beratungsschrift der Bundesanstalt für Pflanzenschutz, Wien.
- REDL H. 1996: Läßt sich Oidium noch bekämpfen? Versuchsergebnisse 1994 und 1995 über Schwefel, Dinocarp und SSH. In: Pflanzenarzt Bd. 49 (4), p.6-11
- RÜGNER D., KASSEMEYER H.-H. 2000: Untersuchungen zur Biologie und Epidemiologie von Oidium. In: Jahresbericht Staatliches Weinbauinstitut Freiburg.
- SCHIEFER H.-C. 2002: Rebschutzmittel - Kosten und Dokumentation. <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/la/lvwo/Veroeff/rebschutzmitteldokumentation2001>
- SCHMITT A., KUNZ S.T., NANDI S., SEDDON B., ERNST A. 2002: Use of Reynoutria sachalinensis plant extracts, clay preparations and Brevibacillus brevis against fungal disease of grape berries. In: 10th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing and Viticulture. Weinsberg 2002.
- SCHORB A. 1998: Beikrautbekämpfung im Weinbau. Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Köster Verlag.
- SCHULTE E., KÄPPELI O. 1996: Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen. Eine Option für die Landwirtschaft? Band 2 (Abschlußbericht), SPP Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern; BATS, Basel
- SCHWAB A., KNOTT R., SCHOTTDORF W. 2001: Pilzwiderstandsfähige Rebsorten – Die Alternative?. <http://www.stmfl.bayern.de/lwg/weinbau/info/pilzres.html>.
- SPEISER B., BERNER A., HÄSELI A., TAMM L. 2000: Control of Downy Mildew of Grapevine with Potassium Phosphonate: Effectivity and Phosphonate Residues in Wine. In: Biological Agriculture and Horticulture Vol. 17, p.305-312.
- TAMM L., HÄSELI A., LEVITE D. 2000: Use of weather stations in organic viticulture. Proceedings. 6th internat. Congress on Organic Viticulture. IFOAM 2000.
- TILCHER R., SCHMIDT C., LORENZ D., WOLF G.A. 2002: About the use of antagonistic bacteria and fungi. In: 10th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing and Viticulture. Weinsberg 2002.
- TÖPFER R., HARST M. 1999: Neue Hoffnung aus der Rebenzüchtung – pilzresistenter Riesling durch Gentransfer. In: Der Deutsche Weinbau 12 Nr. 7 oder
http://www.bafz.de/baz99_d/baz_orte/sdg/irz/irz_freisetzung3.htm
- VOGT E., SCHRUF G. 2000: Weinbau. Ulmer Verlag Stuttgart
- ZAHAVI T., REUVENI M., SCHEGLOV D., LAVEE S. 2001: Effect of grapevine training systems on development of powdery mildew. In: European Journal of Plant Pathology 107, p.495-501.

ZOGLAUER K., AURICH C., KOWARIK I., SCHEPKER H. 2000: Freisetzung transgener Gehölze und Grundlagen für Confinements. Umweltbundesamt, UBA –Texte 31/00

7 CHANCEN UND HINDERNISSE DER UMSETZUNG VON ALTERNATIVEN – MACHBARKEITSANALYSE

7.1 Einleitung

Die Frage nach den Alternativen zu gentechnologischen Ansätzen beinhaltet auch die Frage der Chancen und Hindernisse einer Umsetzung bzw. der Praxisrelevanz von alternativen Ansätzen im Vergleich zur Praxisrelevanz der gentechnischen Ansätze. Diese Frage geht über den rein technischen Gesichtspunkt der Machbarkeit hinaus und wird insbesondere von sozio-ökonomischen Gesichtspunkten geprägt. Wenn etwas technisch und/oder ökologisch machbar ist, heißt dies jedoch noch lange nicht, dass es auch tatsächlich gemacht wird. Dies hängt von den sozialen und ökonomischen Rahmenbedingungen, sowie von der individuellen Kosten-Nutzenabwägung der Landwirte ab. Im Folgenden werden die technische und standortbedingte sowie die sozio-ökonomische Machbarkeit voneinander abgegrenzt und einige Faktoren, welche die sozio-ökonomische Machbarkeit bestimmen, erörtert.

7.2 Technische und standortbedingte Machbarkeit

Die technische Frage der Machbarkeit erörtert, ob etwas technisch umsetzbar ist, d.h. ob diese Anwendung auch in der täglichen Praxis und nicht nur auf Kleinparzellen im Rahmen eines Forschungsversuches durchführbar ist. Die standortbedingte Machbarkeit untersucht, ob eine Maßnahme unter den gegebenen Standortfaktoren (Boden, Klima) möglich ist. Sie wird meist bei der Produktentwicklung mitberücksichtigt und ist daher zumindest teilweise im Vorhinein bekannt. Folgende Faktoren sind im Rahmen der Machbarkeit zu berücksichtigen:

- **Standorteinschränkung**
Der Boden ist nicht nur der Standort, sondern für die meisten der landwirtschaftlichen Produkte auch Produktionsmittel. Mit dem Standort verbunden ist das Klima sowie das Wasser- und Nährstoffpotential des Bodens. Durch den Standort wird einerseits die Produktionspalette, die Produktqualität, sowie der Zeitpunkt der Produktlieferung (Ernte) eingegrenzt. Zudem erschweren standortspezifische Einschränkungen (Wasserschutzgebiete) ebenfalls den Produktionsprozess.
- **Variabilität der Umweltbedingungen**
Schwankungen der klimatischen Umweltbedingungen sowie in den Bodenverhältnissen führen dazu, dass landwirtschaftliche Produkte einer natürlichen Variation hinsichtlich Qualitätsaspekten unterliegen.

- Saisonales Angebot und begrenzte Lagerfähigkeit der Produkte
- Rohstoffcharakter

Der weitaus größte Teil der landwirtschaftlichen Erzeugnisse dient als Rohstoff und gelangt nicht als Fertigprodukt an den Konsumenten. Da die Nachfrage nach Rohstoffen von der Nachfrage der Endprodukte abhängig ist, wird diese Nachfrage als abgeleitete Nachfrage bezeichnet. Qualitätsanforderungen an den Rohstoff leiten sich zum einem aus den Qualitätsanforderungen der Konsumenten, andererseits aus den Qualitätsanforderungen der Verarbeiter und des Handels ab.

7.3 Sozio-ökonomische Machbarkeit

7.3.1 Einführung

In der sozio-ökonomischen Machbarkeit spiegelt sich das Wertverhalten des Landwirtes wider. Primäres aber nicht alleiniges Handlungsmotiv ist die betriebswirtschaftliche Effizienz (ökonomisches Motiv). Daneben spielen noch weitere soziale Faktoren eine Rolle. Die Basis für die sozio-ökonomische Machbarkeit ist eine (individuelle) Kosten-Nutzenabwägung. Sie basiert auf den persönlichen Wertvorstellungen sowie auf der zugrundeliegenden Information. Somit wird klar, dass der Nutzen nicht etwas objektiv Messbares ist, sondern ein Ausdruck der Beziehungen zwischen der wahrnehmenden und beurteilenden Person und einem Produkt oder einer Maßnahme (HAM 1991). Die Beurteilung des Gesamtnutzens erfolgt in der Regel anhand der Summe von mehreren Nutzen stiftenden Eigenschaften, man spricht in diesem Zusammenhang auch vom „Nutzenbündel“ (HAM 1991).

Ein Produkt bzw. eine Dienstleistung muss nicht nur den Nutzen der direkten Bedürfniserfüllung (Grundnutzen), sondern auch eine große Palette von Zusatznutzen erfüllen. Als Grundnutzen wird die stofflich-technische Beschaffenheit eines Produktes angesehen, welche der funktionalen bzw. stofflichen persönlichen Bedürfnisbefriedigung dient. Die Befriedigung seelisch-geistiger Bedürfnisse (z.B. gesellschaftliches Ansehen und Anerkennung) wird als Zusatznutzen angesehen (HAM 1991). So erfüllt die Uhr den Grundnutzen der Anzeige der aktuellen Uhrzeit. Das Design und die Farbe der Uhr bzw. des Uhrbandes hingegen vermitteln einen Zusatznutzen. Eine vollständige Trennung der Aspekte des Grundnutzens vom Zusatznutzen ist nicht möglich. So ist für manche der Geschmack eines Lebensmittels ein Grundnutzen; für andere neben dem Grundnutzen Nährwert eher ein Zusatznutzen. In Nährwert übersättigten Gesellschaften kann der Geschmack der primäre Grundnutzen, der Nährwert hingegen eher ein negativer Aspekt eines Produktes sein. Da niemand bestimmen kann, welche Grundbedürfnis-

se eine Person hat oder zu befriedigen sucht, ist die Unterteilung in Grund- und Zusatznutzen auch eine subjektive Wertung des Konsumenten.

In den letzten Jahrzehnten ist jedoch eine Verschiebung im Nutzenaspekt erkennbar. So standen noch vor einigen Jahrzehnten die qualitativen Eigenschaften des Produktes im Vordergrund der Betrachtung. Dann gewannen die Nutzenaspekte der Verpackung (Transport, Lager-eignung, Informationsgehalt und Ästhetik der Verpackung) sowie insbesondere die Geschichte (der Produktionsprozess) des Produktes zunehmend an Bedeutung. Als Beispiel können hierfür chlorfrei gebleichtes Papier, biologisch erzeugte Lebensmittel sowie sozial und ökologisch produzierte Textilien angeführt werden.

Bevor auf die unterschiedlichen Wertvorstellungen/Motive eingegangen wird, die den Nutzencharakter eines Produktes bzw. einer landwirtschaftlichen Maßnahme wesentlich beeinflussen, soll auch noch kurz auf den Faktor der „INFORMATION“ eingegangen werden. Denn eine Kosten-Nutzenabwägung setzt voraus, dass man sowohl die „KOSTEN“ als auch den „NUTZEN“ verlässlich bestimmen kann. Dies ist jedoch im Bereich Landwirtschaft bei der Bestimmung des ökonomischen Nutzens nur selten der Fall.

Die Feststellung der Kosten, z.B. für eine Pflanzenschutzmittelmaßnahme, bereitet in der Regel keine Schwierigkeiten. Sie ist durch die Einsatzmenge, den Preis des Pflanzenschutzmittels, die Arbeitskosten und diverse Hilfskosten für Maschinen etc. bestimmt (REISCH und ZEDDIES 1992). Die Quantifizierung der Leistung (des Nutzens) der Pflanzenschutzmaßnahme hingegen bereitet teilweise erhebliche Schwierigkeiten. Die neoklassische Produktionstheorie geht bei der Ableitung der Gesetzmäßigkeiten zur Bestimmung des Produktionsmitteleinsatzes von der vollkommenen Voraussicht des Unternehmers aus. Jedoch sind die Entscheidungen in die Zukunft gerichtet, wobei die Entwicklung vieler Parameter wie Schädlings- bzw. Unkrautdruck, Witterung und Preis des erzeugten Produktes etc. zum Zeitpunkt der Entscheidung nicht bekannt sind. Das heißt, die Entscheidung der Landwirte erfolgt auf Basis unvollständiger Information (STEINHAUSER et al. 1992; siehe auch 7.3.3).

Im Folgenden wird versucht, Typisierungen für unterschiedliche Motive zu geben, die helfen sollen, das Beziehungsgeflecht unterschiedlicher Nutzenerwartungen und Handlungsentscheidungen der Landwirte zu verstehen. Weiterhin werden die externen Faktoren, welche die Motive bestimmen, erörtert.

7.3.2 Ökonomisches Motiv

Es ist unbestritten, dass der ökonomische Gewinn der wichtigste Triebmotor für Entscheidungen ist. Je nach persönlicher Einstellung des Landwirtes kann es zu unterschiedlich starken Ausprägungen im Gewinnstreben kommen (siehe 7.3.6). Die Möglichkeit für den Landwirt,

durch Produktdiversifizierung höhere Erlöse zu erzielen, wird durch Standortfaktoren und sozio-ökonomische Rahmenbedingungen begrenzt (siehe 7.3.2.1 und 7.3.2.2). Somit beschränken sich die einnahmenseitigen Möglichkeiten, höhere Erlöse zu erwirtschaften, auf die Wahl von ertragreichen Sorten, entsprechenden Pflanzenschutzmaßnahmen und Düngung – sowie die Teilnahme an diversen Förder- bzw. Qualitätsmarkenprogrammen. Auf der Kostenseite hat der Landwirt zur Erzielung höherer Erlöse die Möglichkeit, die Stückkosten durch die Ausweitung der Kapazitäten zu reduzieren. Daneben hat der Landwirt auch die Möglichkeit, seine Ertragssituation zu verbessern, indem er die Rationalisierung vorantreibt. So stehen bei der Beurteilung von Betriebsmitteln, sowie von Produktionsmethoden primär Aspekte der Rationalisierungsbemühungen im Vordergrund – sofern diese im Rahmen der Förder- und Qualitätsprogramme möglich sind.

Zu den wichtigsten externen (d.h. vom Landwirt nicht beeinflussbaren) Faktoren, die den Erlös des Landwirtes bestimmen, zählen:

- Die Agrarpolitik mit der Festsetzung von Fördergeldern und spezifischen Auflagen
- Verarbeiter und Handel mit der Festsetzung von Produktpreisen und Produktspezifikationen.

7.3.2.1 Agrarpolitik

Die ökonomische Machbarkeit wird gerade in der Landwirtschaft von den politischen, insbesondere den förderpolitischen Rahmenbedingungen geprägt. Sie beeinflussen wesentlich die Wahl der Kulturart und der Bewirtschaftungsform. Die Förderungspolitik kann neben dem Markt als der wichtigste Faktor in der Ausrichtung der Betriebsweise angesehen werden.

Somit ist die Frage, ob und welche Alternativansätze sich durchsetzen werden (ökonomische Machbarkeit) primär eine Frage der Ausrichtung der Marktordnung und des Agrarfördersystems und somit eine politische Frage. Wenn durch die Agrarpolitik Differenzierungen zwischen den einzelnen Alternativansätzen erfolgen, so sind je nach Ausrichtung neue Entwicklungen möglich. Wenn jedoch im Rahmen der Agrarförderungspolitik nicht oder nur minimal zwischen möglichen Alternativen unterschieden wird, so wird sich jene mit den besten Erlösen (Erträge minus Kosten) durchsetzen. In Österreich wird z.B. die Maßnahme „Betriebsmittelverzicht“ ähnlich gut gefördert wie die Maßnahme „Ökologischer Landbau“ (KIRNER 2001). Da die Maßnahme „ökologischer Landbau“ jedoch deutlich höhere Kosten verursacht, ist der finanzielle Anreiz für eine Umstellung auf ökologische Wirtschaftsweise gering. Schließlich weisen die verschiedenen Arten der Bewirtschaftung einige relevante Unterschiede in den Anforderungen an beispielsweise eine artgerechte Tierhaltung oder den Einsatz von biologischen Futtermitteln auf. In der Förderungspolitik bestehen Möglichkeiten zur Steuerung der Agrarstruktur. Diese werden politisch bedingt oft nicht voll ausgeschöpft oder können auch unerwartete Nebeneffekte haben. Zudem gibt es

Stimmen, die in der derzeitigen Agrarpolitik trotz Überkapazitäten immer noch die Intensivierung der Landwirtschaft gefördert sehen, wie folgendes Zitat zeigt:

„Die EU-Agrarpolitik ist – auch unter Berücksichtigung positiver Ansätze im Rahmen der Agrarreform von 1992 und der Agenda 2000 – noch immer überwiegend auf das Ziel ausgerichtet, die Produktion und die Produktivität zu steigern. Das erreichte Mengenwachstum mündete schnell in Überschüssen auf einzelnen Märkten, weil mit so genannten Marktordnungen für die wichtigsten Agrarprodukte eine staatliche Absatzgarantie gegeben wurde“ (EURONATUR 2001).

Die Autoren meinen ebenso, dass die Landwirtschaft in einer ihrer tiefsten Krisen stecke. Die politischen Rahmenbedingungen hätten dazu beigetragen, dass betriebswirtschaftliche Interessen der Betriebe zunehmend im Widerspruch zu ökologischen, sozialen, tierethischen und volkswirtschaftlichen Zielen der Gesellschaft stehen. Innerhalb der EU führe die Politik der Preissenkungen für wichtige landwirtschaftliche Erzeugnisse in Verbindung mit der Förderung rationeller Produktionsverfahren zu einer Intensivierung, Rationalisierung und Spezialisierung der landwirtschaftlichen Betriebe. Dies gehe einher mit einem steigenden Fremdmiteleinsatz sowie einer steigenden Abhängigkeit von der Agrar- und Lebensmittelindustrie (EURONATUR 2001).

7.3.2.2 Preise und Spezifikationen in Lebensmittelverarbeitung und Handel

Neben der Agrarpolitik bestimmen Ertragspotential, Produktpreis und Produkthanforderungen (Spezifikation) wesentlich die Ausrichtung des Produktionssystems. Ob sich einzelne Alternativen durchsetzen, hängt auch stark davon ab, ob potentielle Mehrkosten oder Mindererträge durch höhere Handels- und Marktpreise kompensiert werden. Zur Zeit ist es jedoch ungewiss, inwiefern sich solche Preisaufschläge in Zukunft halten bzw. etablieren können.

Exkurs: Preisaufschläge für GVO-freien Mais, Raps und Soja

Der Bedarf an Mais als Maisstärke und Futtermittel wird in der EU fast vollständig durch eigenständige Produktion gedeckt. Wegen des Moratoriums in der EU kamen Importe aus den USA und Kanada (und aufgrund der dort angebauten gentechnisch veränderten Maissorten bzw. Verunreinigungen mit in der EU nicht zugelassenen Konstrukten) völlig zum Erliegen. (Maiskleber wird jedoch, weil verarbeitete Produkte nicht unter die EU-Richtlinie 90/220/EWG fallen, zu 100 % aus den USA importiert). Da fast die gesamte nachgefragte Maismenge aus GVO-freier EU-Produktion stammt, ist hier keine Notwendigkeit für extra Prämien für GVO-freie Ware gegeben. Werden in der EU wieder Zulassungen für GVO erteilt, wären höhere Preise für GVO-freien Mais denkbar. Importe in die EU von GVO-freien Mais z.B. aus Ungarn wurden mit einem Aufpreis von 1-2 US \$ je Tonne gehandelt. Südkorea und Japan importieren GVO-freien Mais überwiegend aus China mit einem Preisaufschlag von ca. 2 - 5 %, das sind ca. 3 - 5 US \$ je Tonne.

Die EU ist nach China (12 Mio. t) mit 10 Mio. t zweitgrößter Rapsproduzent der Welt. Da europäischer Raps zu 100 % GVO-frei produziert wird, und in Kanada (ca. 7 Mio.t pro Jahr) auch Raps mit nicht in der EU zugelassenen Konstrukten angebaut wird, wird der europäische Bedarf fast ausschließlich von der EU gedeckt. Obwohl keine Prämien für GVO-freien Raps gezahlt werden, hat es jedoch beträchtliche Preissteigerungen bei Rapsöl gegeben. Dies ist einerseits auf den stark angestiegenen Verbrauch von Biodiesel zurückzuführen als auch darauf, dass Lebensmittelverarbeiter GVO-Sojaöl durch GVO-freies Rapsöl ersetzt haben. Insofern wurden indirekt Prämien für GVO-freien Raps bezahlt. Mittlerweile haben sich die Preisniveaus für Rapsöl und Sojaöl bei Preisen von € 450,-- je Tonne Rapsöl wieder angeglichen. In Österreich wird gemäß der Definition des österreichischen Lebensmittelcodex „gentechnikfrei produzierter“ Raps unter der Marke RAPSO als Rapsöl oder Rapsschrot vermarktet. Landwirte erhalten Prämien von € 30,- (ca. 16 %) pro Tonne Raps.

Die USA, Argentinien und Brasilien sind weltweit die größten Exporteure, die EU der weltgrößte Importeur für Sojabohnen und Sojaextraktionsschrot. Von den importierten 16 Mio. t Sojabohnen stammen ca. 100.000 t aus GVO-freier USA Produktion und werden überwiegend von Tofuproduzenten nachgefragt. Hierfür werden Prämien bis ca. 25 % gezahlt. Die Nachfrage nach „gentechnik-freiem“ Soja-schrot mit einem GVO-Anteil von 1 bis 2 % beläuft sich in der EU zur Zeit auf ca. 1,5 Mio. t und wird insbesondere von der Geflügelindustrie nachgefragt. Dies entspricht lediglich einem Anteil von 5 % am Gesamtverbrauch von Sojaschrot in der EU. Für Sojaschrot werden je nach der Intensität des Kontrollverfahrens unterschiedliche Prämien (zwischen 5 und 15 % des aktuellen Warenwertes) bezahlt.

Wenn zwischen den einzelnen Maßnahmen des Anbaus keine Produktdiversifizierung erfolgt, so setzt sich die mit dem besten Kosten-Ertragsverhältnissen durch. Im Vergleich zu anderen Wirtschaftsbereichen wird die Produktionsstruktur der Landwirtschaft in Europa durch das Vorherrschen von Kleinstbetrieben (polypolistische Angebotsstruktur) geprägt. Ein Landwirt hat für sich kaum Möglichkeiten, einzelne pflanzenbauliche Maßnahmen als einen Zusatznutzen zu vermarkten. Ihm sind die klassischen Aktionsbereiche des Marketings (z.B. Produktinnovation) nicht zugänglich (STRECKER 1974 zit in HAM 1991), denn ein Großteil der landwirtschaftlichen Produkte dient lediglich als undifferenzierter Rohstoff für die Weiterverarbeitung. Dadurch, und auch, weil dem einzelnen Betrieb meist große Verarbeiter- und Handelsbetriebe gegenüberstehen, deren Nachfrage er alleine nicht befriedigen kann, sind die Gestaltungsmöglichkeiten stark eingeschränkt. Aus diesem Grund sind einzelbetriebliche Profilierungs- und Differenzierungsstrategien auch primär im Bereich der Direktvermarktung angesiedelt. Die Zahl der Nachfrager ist in Deutschland auf der Handelsstufe noch kleiner als auf der Produzentenstufe; die Unternehmenskonzentration ist sehr hoch. Auf die zehn größten deutschen Handelsunternehmen entfallen ca. 80 % des Umsatzes. Einzelne Handelsunternehmen haben daher eine sehr starke Marktstellung (WAGNER 2000). Somit werden Produktqualitäten primär vom Handel und der Lebensmittelverarbeitung bestimmt. Die starke Stellung der Verarbeitung ist auch ein Grund dafür, dass sich am Acker z.B. Sortenmischungen, die aus phytopathologischer Sicht sehr viele

Vorteile - wie einen geringeren Krankheitsdruck und deshalb meist erhebliche Pflanzenschutzmitteleinsparungen und höhere Erträge - aufweisen (BECKER 1993, WOLFE 1991, WOLFE 2000, ZHU et al. 2000), kaum durchsetzen. Die verarbeitende Industrie stellt ihre Technologie soweit wie möglich auf die jeweilige Sorte ein. Deshalb werden Erntepartien mit sortenreinem Saatgut bevorzugt (BECKER 1993).

Jede Form der Differenzierung auf Seiten der Landwirte (z.B. Verzicht auf bestimmte PSM) ist ökonomisch sinnvoll, wenn der Nutzen dieser Maßnahme vom Kunden honoriert wird. Doch bevor er honoriert werden kann, muss sichergestellt werden, dass die Qualität bzw. Produktidentität des Produktes über die gesamte nachgelagerte Prozesskette gewahrt bleibt. Das heißt, dass jede Form der Produktdifferenzierung auf der Rohstoffseite auch die Notwendigkeit einer Segregation der nachgelagerten Wertschöpfungskette (getrennte Ernte, Transport, Lagerung, Verarbeitung, Verpackung, Vermarktung) nach sich zieht, ähnlich wie dies im Ökologischen Landbau praktiziert wird. Je kürzer die Prozesskette vom Landwirt zum Kunden ist, desto leichter lassen sich Produktqualitäten zum Kunden transportieren. Ein Beispiel hierfür ist Gemüse und Obst aus integriertem Anbau, das in den Regalen der Supermärkte zu finden ist. Verarbeitete Ware aus integriertem Anbau ist auf Grund der aufwendigeren Segregation im Handel praktisch unbedeutend.

7.3.3 Unsicherheitsvermeidung - Sicherheits- Motiv

Der Landwirt agiert auf Basis unvollständiger Information, insbesondere was die Witterung betrifft. Die Kosten-Nutzenabwägung einer Pflanzenschutzmaßnahme beispielsweise ist somit mehr eine in die Zukunft gerichtete Abschätzung. Nach Auffassung von Soziologen und Psychologen ist besonders unter Beachtung der Unsicherheiten in Entscheidungssituationen – aufgrund unvollständiger Information - ein stärkeres Streben nach befriedigenden als nach ökonomisch maximalen Lösungen festzustellen (STEINHAUSER et al. 1992). Das erklärt auch, warum Landwirte im Streben nach Sicherheit eine betonte Neigung zu prophylaktischen Pflanzenschutzmaßnahmen erkennen lassen (REISCH und ZEDDIES 1992). Der Landwirt neigt also eher dazu, einen fixen, klar kalkulierbaren Kostenfaktor, anstatt Unsicherheiten in Form von überproportionalen Ertragseinbußen in Kauf zu nehmen. Da viele Umweltfaktoren (Wetterdynamik) nicht präzise vorhersagbar sind, und spätere Korrekturmaßnahmen (Herbizidapplikation) nicht mehr möglich (z.B. wegen der Bestandshöhe) oder nicht mehr so sehr wirksam sind, wird eher getrachtet, Unsicherheitsfaktoren auszuschließen. Die Pflanzenschutzmaßnahme dient gleichsam als Versicherungsprämie, die höhere Einbußen in ungünstigen Saisons verhindert.

7.3.4 Soziale Machbarkeit - soziales Ansehen einer Maßnahme

Zu der sozialen Machbarkeit zählen persönliche Werte wie ausreichende Freizeit, geringe Kreditbelastung und hohe Flexibilität der Betriebsorganisation, aber auch Werte wie persönlicher Einfluss und Prestige, die dem sozialen Ansehen zuzuordnen sind.

Die Tatsache, dass nicht immer ökonomische Faktoren den Ausschlag für die eine oder andere Bewirtschaftungsweise geben, weist auf die Bedeutung des Faktors soziale Machbarkeit hin. So erklärten im Rahmen einer Umfrage unter konventionellen Landwirten in Österreich ca. 45 %, sie würden auch dann nicht auf biologische Bewirtschaftung umstellen, wenn es höhere finanzielle Anreize geben würde. 38 % der Landwirte hatten dazu keine Meinung. (KIRNER 2001). In Betrieben mit geringem Ackerbauanteil wurden besonders pflanzenbauliche Motive, wie z.B. höherer Unkraut- und Krankheitsdruck, als wesentliche Hemmfaktoren für eine Umstellung genannt, obwohl ein solcher, selbst wenn er auftreten würde, kaum Einfluss auf die zu erzielenden Erlöse hätte. Auf Basis dieser Ergebnisse folgert der Autor, dass „nicht nur wirtschaftliche Faktoren eine Rolle spielen“. Es könnte z.B. mit einem höheren Unkrautdruck auch ein Prestigeverlust des Landwirtes gegenüber seinen Berufskollegen befürchtet werden. „Mittels ausschließlich rationaler Argumente kann diesem Hemmnis nicht entgegengewirkt werden, vielmehr müssen Maßnahmen gesetzt werden, welche die Akzeptanz und das Ansehen des Biologischen Landbaus in der Praxis erhöhen“ (KIRNER 2001). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen LINDENTHAL et al. (2002) in ihren Untersuchungen über Potentiale und Hemmnisse einer Vollumstellung auf Ökologischen Landbau in zwei Modellregionen Österreichs.

7.3.5 Überbetriebliche Maßnahme versus einzelbetriebliche Maßnahme

Viele vorbeugende Maßnahmen wirken nur eingeschränkt auf einzelbetrieblicher Ebene. Die volle Wirkung kommt nur zur Geltung, wenn die Maßnahmen in einer Region überbetrieblich von mehreren Landwirten angewendet werden. Hier wäre z.B. die vorbeugende Bodenbearbeitung zur Reduzierung der Überwinterungsrate des Maiszünsler oder das Resistenzmanagement für Bt-Mais anzuführen.

Die Befürchtungen von Agrarexperten in den USA, dass das Resistenzmanagement für Bt-Mais in zu geringem Ausmaß umgesetzt wird (ILSI 1998, US EPA 1999), spiegelt diese Problematik wider. Aus der Sicht der persönlichen Nutzenoptimierung ist es für den Einzelnen ökonomisch sinnvoll, keine Maßnahmen durchzuführen, solange andere diese Maßnahme durchführen. Solange diese Haltung in der Minderheit ist, ergibt sich kein Problem. Wenn jedoch die Mehrheit diese eigennützige Haltung vertritt, dann bricht das System zusammen. Auf Lösungsansätze soll hier nicht näher eingegangen werden. Es soll nur verdeutlichen, dass auch sehr effiziente Maßnahmen, wie z.B. die vorbeugende Bodenbearbeitung des Maisstrohs unter einem größeren Gesichtspunkt gesehen werden muss, wenn es darum geht, abzuwägen, welche Maßnah-

me in der Landwirtschaft die größte Akzeptanz finden wird. Maßnahmen, deren Wirksamkeit auf die Kooperationsbereitschaft anderer Landwirte in der Region beruhen, dürften weniger attraktiv sein, als direkte Bekämpfungsmaßnahmen. Lediglich wenn die direkte chemische Bekämpfung, wie im Falle der Maiszünslerbekämpfung durch Stelzentraktoren sehr aufwendig ist, werden sich eher vorsorgeorientierte kooperative Maßnahmen durchsetzen.

7.3.6 Umweltethisches Motiv

Die neoklassische Produktionstheorie unterstellt dem Unternehmer die Gewinnmaximierung als die alleinige Zielsetzung (STEINHAUSER et al. 1992). Bisher wurde beschrieben, dass neben einer ökonomischen Gewinnmaximierung auch eine soziale Gewinnmaximierung (Ansehen - Image) ebenso in Betracht zu ziehen ist. Es gibt aber auch Fälle, wo gegen die ökonomische und soziale Gewinnmaximierung gehandelt wird. In diesem Fall geht es um die Maximierung innerer, persönlicher Werte, die außerhalb des vorherrschenden Trends angesiedelt sind. Obwohl dieses Motiv in der gesamten Landwirtschaft existiert, findet es seine bedeutsamste Ausprägung in den Beweggründen für eine Umstellung auf Ökologischen Landbau. In einer Studie aus dem Jahr 1993 - einer Zeit, in der die staatliche Bioförderung in Österreich noch nicht so ausgeprägt war - wurden die Gründe für eine Umstellung auf Ökologischen Landbau untersucht. Nur rund 2 % der Nennungen nannten die „Inanspruchnahme von staatlichen Förderungen“ als Grund für eine Umstellung. 5 % der Befragten hatten „große Probleme mit dem konventionellen Pflanzenschutz“, weil oft „eine höhere Dosis immer weniger Unkräuter tatsächlich vernichtete“. Auch das wachsende Bewusstsein über die Gefahren und die Schädlichkeit der synthetischen PSM für Mensch und Natur wurde genannt. An erster Stelle mit 24 % rangierte die „Änderung der Lebenseinstellung“ (Wertewandel). Dies steht in engem Zusammenhang mit der zweitgrößten Nennung „andere Gründe“, wie z.B. Schlüsselerlebnisse wie Krankheit in der Familie (PIRKLHUBER und GRÜNDLINGER 1993). Aus diesen persönlichen umweltethischen Einstellungen, die anfangs der monetären Gewinnoptimierung entgegenstanden, konnten nach und nach neue Märkte etabliert werden. Aus diesem Grund können sich Einstellungen, die ursprünglich aus ökonomischer Sicht nicht sinnvoll (machbar) sind, nach und nach als ökonomisch sinnvoll erweisen.

7.4 Fazit

Wie oben beschrieben, hängt die Frage der ökonomischen Machbarkeit stark von den agrar- und förderpolitischen Faktoren ab. Ebenso von Bedeutung ist, ob Verarbeitung und Handel eine kontrolliert gentechnikfreie Lebensmittelverarbeitung etablieren werden. Dies wird nur dann möglich sein, wenn der Kunde eventuelle Mehrkosten in der Produktion sowie der Segregation

durch höhere Preise honoriert. Der Kunde hat nur dann die Möglichkeit, GVO-freie Ware zu honorieren, wenn ihm die Wahlmöglichkeit hierzu seitens der Verarbeiter und des Handels gegeben wird. Auf das Wechselspiel zwischen Kundenbedürfnis und Vermarktungsstrategie der Handelsunternehmen wurde hier nicht näher eingegangen, jedoch sind Chancen und Hindernisse für die Umsetzung von Alternativen auch in diesem Bereich zu suchen.

Der wichtigste nicht ökonomische Faktor ist sicherlich das soziale Image einer Maßnahme. In manchen Fällen kann es sogar bedeutsamer sein als das ökonomische Gewinnstreben der Landwirte (siehe 7.3.4). In der Landwirtschaft zählt weniger das Image einer Maßnahme in der Gesellschaft (der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln hat einen sehr schlechten Ruf) als vielmehr das Image innerhalb der Landwirte und deren Interessensvertreter. Die zukünftige Entwicklung ist kaum abschätzbar und wahrscheinlich regional sehr verschieden. Ein kurzer Ausblick bezüglich der Entwicklungen bei den einzelnen Fallbeispielen wird am Ende dieser Arbeit gegeben (siehe 9).

7.5 Exkurs: Machbarkeit und Globale Aspekte

Es drängt sich die Frage auf, welchen Einfluß andere Rahmenbedingungen, wie z.B. Hungersnöte in manchen Ländern der Erde, auf die Diskussion um Alternativen zu GVP in der Landwirtschaft haben. Ist es auch für diese sogenannten „Entwicklungsländer“ vertretbar, die GVO-Lösungsmöglichkeiten zu hinterfragen, möglicherweise sogar abzulehnen und stattdessen Alternativen zu fördern und weiterzuentwickeln? Oder sind Alternativen zum Einsatz von GVP lediglich in den „reichen Ländern des Westens/Nordens“ möglich, wo die Ernährung der Bevölkerung im Prinzip gesichert ist? Diese Fragestellung wird weltweit sehr kontrovers geführt (CHRISPEELS 2000, GREENPEACE 2001) und eine umfassende Darstellung der Argumente und unterschiedlicher Situationen kann im Rahmen dieses Projektes nicht gegeben werden. Es soll jedoch ein kurzer Einblick in die wichtigsten Fakten aufgezeigt werden.

7.5.1 Analyse der Ursachen

Etwa 800 Millionen Menschen leiden an chronischer Unterernährung und ca. 24 000 davon sterben täglich an den Folgen der Unterernährung (FAO 2002g). Im Gegensatz dazu leiden ca. 300 Millionen Menschen an Fettleibigkeit (FAO 2002c). Weltweit würden genug Nahrungsmittel zur Verfügung stehen, um alle Menschen satt zu machen (FAO 2002c):

„The simultaneous persistence of widespread extreme food deprivation and plentiful food supplies in a world with excellent means of communications and transport can only suggest that there

are fundamental flaws in the ways in which nations are functioning and the relationships between them are governed and managed. The situation was described as unacceptable in the Rome Declaration, yet the world continues to live with it and seems not to care.” (FAO 2002c)

Hunger ist die Folge von Armut. In den Entwicklungsländern leben ca. dreiviertel jener Familien, die an Armut und chronischem Nahrungsmangel leiden, in ländlichen Gebieten. Ihr Lebensunterhalt ist direkt oder indirekt von der Landwirtschaft oder der Fischerei abhängig. Armut wird meist durch den Mangel an verfügbarem, qualitativ gutem Land verursacht. Selbst dort allerdings, wo solches vorhanden ist, führen Mangel an Geld und/oder Know-how für die Produktionssteigerung zu Hunger (FAO 2002a). Die durch Subventionen gestützten, niedrigen Weltmarktpreise von Nahrungsmitteln behindern zusätzlich eine rentable Produktion und lokale Vermarktung in den Entwicklungsländern (FAO 2002c).

7.5.2 Hunger ein Verteilungsproblem?

Wenn also weltweit genug Nahrungsmittel zur Verfügung stehen (FAO 2002c), wäre Hunger doch durch eine gerechte Nahrungsmittelverteilung vermeidbar. Das Verteilungsproblem ist jedoch nicht nur ein Verteilungsproblem von den Nahrungsmittel-Überschussländern im reichen Norden zu den Mangelländern im Süden, sondern auch ein Verteilungsproblem innerhalb der Länder des Südens wie folgende zwei Beispiel exemplarisch zeigen sollen.

Argentinien beispielsweise produzierte 2001 genug Weizen, um den Bedarf von China und Indien zu decken und ist außerdem der zweitgrößte Produzent von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen. Weder die Produktion von Weizenüberschüssen noch der Einsatz von GVP (ebenfalls mehrheitlich für den Export produziert) verhindern, dass in Argentinien Menschen hungern (PARROTT und MARDSEN 2002). Weiters ist z.B. Indien bezüglich Nahrungsgütern per saldo Selbstversorger. Die Exporte waren fast immer höher als die Importe (ZINGEL 1998 allgemein bzw. exemplarisch FAO-STAT 2002: Weizenbilanz für das Jahr 2000), dennoch sind in Indien ca. 25 - 35 % der Bevölkerung unterernährt (FAO 2002d). Dass Menschen an Unterernährung leiden, ist also primär eine Frage der gerechten Verteilung von Ressourcen zwischen armen und wohlhabenden Menschen dieser Erde.

7.5.3 Lösungsansätze

Die FAO sieht in der Steigerung der Agrar-Produktivität von Kleinbauern ein wichtiges Element in der Armutsbekämpfung und ist prinzipiell der Ansicht, dass substantielle Ertragsverbesserungen durch „klassische und konventionelle Technologie“ zu erreichen wären. Sie schränkt jedoch ein, dass sich viele Landwirte teure Betriebsmittel (z.B. Maschinen, PSM udgl.) nicht leisten können. Deshalb müssen effiziente, kostengünstige Lösungsansätze gesucht werden, wie

beispielsweise ökologische Landwirtschaftsmethoden und „agroforestry“², die neben der FAO auch von Weltbank und anderen internationalen Institutionen unterstützt werden (FAO 2002e). Im selben Dokument wird auch der Einsatz der Gentechnologie als Option angeführt (FAO 2002e). Es ist jedoch umstritten, inwiefern sich der Einsatz von teurem gentechnisch veränderten Saatgut mit der Forderung nach kostengünstigen Lösungen vereinbaren lässt.

Neue Technologien erreichen oft die arme Bevölkerung nicht oder erbringen u.U. keine dauerhaften Lösungen. So führte gemäß eines Greenpeace Berichts der Einsatz von Düngemitteln in Bangladesh nach anfangs sehr guten Erfolgen bei minimalstem Input zu einer chemischen Treitmühle mit ständig wachsendem Input bei sinkenden Erträgen. Viele mittelständische Landwirte gingen Bankrott und mussten ihr Land verkaufen. Ein Wechsel zu Mischkultur und Ökologischer Landwirtschaft brachte dagegen höhere Erträge und ein höheres Einkommen (GREENPEACE 2001).

Im Gegensatz zum Einsatz von Technologien, die bedürftige Menschen oft nicht erreichen, kann der Einsatz von „low-cost“ Technologien die Lebensgrundlagen (z.B. die Wasserversorgung) der armen Bevölkerung nachhaltig verbessern. Außerdem wird so die regionale Arbeitskraft gefördert und dadurch wiederum die Regionalökonomie gestärkt. Die Symbiose von traditionellem Wissen und moderner „low-cost“ Technologie ist dabei von großer Bedeutung (vgl. FAO 2002h, FAO 2002i, PRETTY et al. 2002). Das „Special Programme for Food Security in Low-Income Food-Deficit Countries“ (SPFS) der FAO verfolgt deshalb das Ziel, Familien in erster Linie durch kleine effiziente Verbesserungen, die sie sich leisten können, zu helfen, die Produktivität zu steigern. Dazu zählen z.B. die rechtzeitige Aussaat, die bessere Nutzung von Wirtschaftsdüngern oder die Herstellung von Kompost aus organischem Abfall (FAO 2002a). Ein wichtiger Ansatz zur Verbesserung der Bodenqualität ist besonders in den Trockengebieten der Entwicklungsländer die Erosionsverminderung (CASSMAN 1999).

Viele Fakten (GREENPEACE 2001, PARROTT und MARDSEN 2002, PRETTY et al. 2002) zeigen, dass mit Ökologischem Landbau verglichen mit der extensiven Landwirtschaft deutlich höhere oder im Vergleich zu ressourcen- und kostenintensiven, konventionellen Landwirtschaftsmethoden zumindest gleichwertige Erträge in den Entwicklungsländern erzielt werden könnten. Es gibt jedoch auch viele Stimmen, die meinen, dass der Ökologische Landbau keine machbare Option sei, um die Welternährung zu sichern (TREWAVAS 2001a, TREWAVAS 2001b). In dieser Diskussion aber wird oft ein prinzipielles Missverständnis

² Agroforestry/Agroforstwirtschaft: bezeichnet integrierte Landnutzungssysteme, in denen perennierende Holzgewächse (Bäume, Sträucher, Palmen und Bambus) absichtlich auf einer landwirtschaftlichen Betriebsfläche mit Feldfrüchten wie zB Weizen und/oder Tieren (Hausvieh oder Weidevieh) kombiniert werden. Hierbei ergänzen sich die verschiedenen Arten räumlich und/oder zeitlich und stehen in komplexen ökologischen und ökonomischen Wechselwirkungen zueinander. Diese Wechselwirkungen können positiver wie auch negativer Art sein.) Sehr erfolgreich werden diese Systeme in ariden Gebieten angewendet.

2001b). In dieser Diskussion aber wird oft ein prinzipielles Missverständnis deutlich. Es ist dies die Auffassung, dass Ökologischer Landbau lediglich der Verzicht auf synthetische Chemikalien sei, weshalb das Ertragsniveau der konventionellen Landwirtschaft von 1910 zur Berechnung der Leistungsfähigkeit der Erträge der biologische Landwirtschaft herangezogen wird. Dass eine solche „Extrapolation“ nicht nur falsch, sondern auch wissenschaftlich nicht nachvollziehbar ist, weil es bereits eine Reihe von wissenschaftlichen exakten Ertragsvergleichen gibt, sei hier nur kurz angemerkt. Die Erträge im Ökologischen Landbau in Europa sind im langjährigen Durchschnitt um ca. 20 % niedriger als in der konventionellen Landwirtschaft. Bei Weizen lagen die Erträge nach 21 Versuchsjahren im Schnitt um 10 %, bei Kartoffel im Schnitt um 30 % bis 40 % niedriger (MAEDER et al. 2002). In den USA sind die Erträge des Ökologischen Landbaus und der konventioneller Landwirtschaft in etwa gleich, wie 10 bzw. 7 jährige Feldversuche mit Mais zeigten (DRINKWATER et al. 1998, CLARK et al. 1998a). Andere Versuche zeigen Unterschiede je nach Gebiet und Witterung auf. In guten Gebieten in guten Jahren sind Erträge im Ökologischen Landbau etwas geringer, in trockenen Gebieten und/oder trockenen Jahren sind sie die Erträge im Ökologischen Landbau im Durchschnitt höher (SAHS und LESOING 1985, CLARK et al. 1999).

Zudem wird oft angenommen, dass Ökologische Landbaumethoden (z.B. Anbau von Futterleguminosen) aus Europa in Entwicklungsländer übertragen werden könnten (CHRISPEELS 2000). Im Gegensatz zu Europa, wo aus Gründen der mechanisierten Ernte eine Mischkultur verschiedener Arten nur schwer möglich ist, ist beispielsweise der Anbau von Leguminosen in Mischkultur auf Ebene der afrikanischen Kleinbauern sehr wohl möglich.

Durch gezielte ökologische Optimierung konnten beispielsweise Erträge im Maisanbau in Kenia durch die von der Regierung offiziell geförderten „push and pull“ Methode zwischen 40 und 100 % gesteigert werden (GENET 2002). Dafür ist v.a. eine erfolgreiche Insektenbekämpfung verantwortlich, die vor allem durch den gezielten Anbau von Fangpflanzen erreicht wird. Zusätzlich erfolgt bei dieser Methode auch ein Stickstoffeintrag durch den gleichzeitigen Anbau von Leguminosen, ein Zurückdrängung einer parasitischen Pflanze durch Ausscheidung allelopathischer Verbindungen über die Wurzel dieser Leguminose, sowie eine Verminderung der Erosion durch Fangpflanzen und Leguminosen (GREENPEACE 2001). Ebenso konnte die Wirkung von Salzstress unter den Bedingungen des Ökologischen Landbaus abgepuffert werden (RANGARAJAN et al. 2002).

Doch auch im Bereich der konventionellen Landwirtschaft Chinas wurden mit Sortenmischungen von Reis 98 % der Fungizide eingespart und deutlich höhere Erträge erzielt (ZHU et al. 2000, GREENPEACE 2001). Glutenreiche Reissorten in China erzielen hohe Marktpreise, sind jedoch sehr empfindlich gegen den Pilz *Magnaporthe grisea* und - auch deshalb - weniger ertragreich als resistente, glutenarme Sorten. Im Mischanbau von resistenten und empfindlichen Sorten im Verhältnis 9:1, konnten die Erträge der empfindlichen Sorte um 89 % erhöht werden.

Der Krankheitsdruck war um 94 % geringer als im Vergleich zum Monokulturanbau, sodass der sonst übliche mehrmalige Fungizideinsatz vollständig reduziert werden konnte. Die Erträge der resistenten Sorten in Monokultur im Vergleich zu jenen in Mischkultur blieben annähernd gleich. Der Mehrerlös der Mischkultur lag im Vergleich zur resistenten Monokulturen um 14 % höher im Vergleich zur sensiblen Kultur um 40 % höher (ZHU 2000).

Die Heterogenität der Ursachen für geringe Produktivität in den Entwicklungsländern erfordert bei der Suche nach geeigneten Lösungen immer eine detaillierte Auseinandersetzung mit den regionalen ökologischen und sozio-ökonomischen Verhältnissen. Oft bestehen aber auch Probleme bei der Weiterleitung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse zu den Kleinbauern (ABATE et al. 2000, CASSMAN 1999). Die wichtigsten nicht-chemischen Ansätze zur Ertragssicherung und Steigerung sind „Agroforestry“, Kompostierung, Mischkulturen, Fangpflanzungen und Anpassen des Anbauzeitpunktes, um Schädlingsbefall zu verhindern (PARROTT und MARDSEN 2002, JAYARAJ und RABINDRA 1993, PAL 1993).

Der 1989 im Rahmen einer IFOAM-Konferenz abgegebene „Appeal of Ougadougou“ weist darauf hin, wie wichtig gerade in Entwicklungsländern der Einsatz ökologischer Landwirtschaft für die Sicherung der Nahrungsmittelproduktion ist. *“For developing countries ecological agriculture is not an alternative but a necessity imposed by local conditions”* (IFOAM 1989).

Das Aufzeigen der Ertragspotentiale des Ökologischen Landbaus soll jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass der wesentliche Teil der Problemlösung in der Sozial- und Wirtschaftspolitik angesiedelt ist. Weder die Gentechnologie, noch die grüne Revolution, noch der ökologische Landbau, können die grundlegenden Ungerechtigkeiten in den Wirtschaftsbeziehungen zwischen den Ländern und innerhalb der Länder verändern. Armut und Hunger werden wesentlich durch den Mangel an Job- und Einkommensmöglichkeiten bestimmt - selbst in reichen Ländern wie den USA. So ist die Lebenserwartung von afro-amerikanischen Frauen und Männern in den verslumten Innenstadtbereichen in den USA beispielweise geringer als im Indischen Staat Keral (SEN 1996). Neben der Armutsbekämpfung liegen weitere Ansätze im bildungs- und gesellschaftspolitischen Bereich (z.B. gesellschaftliche Stellung der Frau) (FAO 2002f). Ein sehr bedeutender Faktor in Entwicklungsländern ist aber auch die politische Stabilität (FAO 2002b).

8 MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER BEWERTUNG

In den Fallbeispielen wurden Unterschiede in der Umweltexposition der verschiedenen landwirtschaftlichen Ansätze dargestellt. Das heißt, es wurde aufgezeigt, welche synthetischen Stoffe (PSM, Düngemittel) im jeweiligen landwirtschaftlichen Ansatz emittiert und/oder eingespart werden. Transgene werden dabei ebenfalls berücksichtigt, weil bezüglich ihrer möglichen Auswirkungen große Unsicherheit besteht. Auf potentielle nachteilige Wirkungen dieser Emissionen auf Mensch und Umwelt wurde bis auf wenige Ausnahmen (aufgrund der besseren Lesbarkeit) nicht eingegangen. Es ist offenkundig, dass aus den Unterschieden in der Exposition (d.h. in Menge und Qualität) der eingesetzten Betriebsmittel nicht zwangsläufig auf Unterschiede in Form von Umweltwirkungen geschlossen werden kann. Das heißt, dass mögliche Unterschiede in den Umweltwirkungen (z.B. Regenwurmbesatz) durch vergleichende Untersuchungen erarbeitet werden müssen. Dies stellt einen Bewertungsschritt dar, dem eine Festlegung der Umweltziele (wie z.B. Erhöhung der Agrarbiodiversität) und des Schadensbegriffes voran gehen muss (auf die hier aber nicht näher eingegangen werden soll).

8.1 Methoden zur Erfassung von Umweltauswirkungen

Es gibt mehrere Formen der Bewertung von Unterschieden in den Umweltauswirkungen von Betriebsmitteln. Auf die drei wichtigsten davon soll näher eingegangen werden. Es handelt sich um die prospektive Risikoabschätzung von Pflanzenschutzmitteln (Ökotoxikologie), (retrospektive) Vergleichsuntersuchungen verschiedener Anbausysteme sowie die LCA, der Analyse von Unterschieden in den Umweltwirkungen auf Basis international standardisierter Indikatoren. Alle drei Ansätze haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile und somit deutliche Grenzen in ihrer Aussagekraft, die hier in Kürze aufgezeigt werden sollen.

8.1.1 Risikoabschätzung

Durch prospektive Risikoabschätzungen werden im Bereich Landwirtschaft Wirkungen von jeweils einzelnen Pflanzenschutzmitteln und von GVO abgeschätzt. Der Focus liegt somit nicht auf dem landwirtschaftlichen System, sondern auf spezifischen Teilen (Pflanzenschutzmitteleinsatz, GVO-Einsatz) davon. Es handelt sich nicht um eine vergleichende Bewertung. Hingegen werden Grenzwerte (z.B. LD50) ermittelt, die z.B. ein PSM unterschreiten muss, um zugelassen zu werden (EWG 1991). Risikoabschätzungen von Pflanzenschutzmitteln und/oder GVO können deshalb keine Aussagen über die Umweltverträglichkeit von unterschiedlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen als Gesamtes treffen.

Der Vorteil der prädiktiven Risikoabschätzung liegt darin, dass eine Vielzahl von Effekten, wie beispielweise akute, chronische oder Embryotoxizität, erfasst wird – insbesondere auch auf jene Organismen, die außerhalb des Agrarökosystem leben. Somit werden Wirkungen, die durch Transportprozesse von Pflanzenschutzmitteln bzw. GVO in andere Umweltkompartimente (z.B. Grundwasser und Flüsse) erfolgen können, in die Bewertung ansatzweise einbezogen. Ein weiterer Vorteil ist, dass insbesondere die Risikoabschätzung von Pflanzenschutzmitteln recht detailgenau standardisiert ist (EWG 1991), wodurch Effekte unterschiedlicher Pflanzenschutzmittel untereinander vergleichbar sind.

Da Chemikalien wie auch PSM nicht direkt in Ökosystemen getestet werden können, werden für eine prädiktive Abschätzung der Risiken Laboruntersuchung mit einer begrenzten Auswahl an repräsentativen Labortieren durchgeführt. Die Test sind als sogenannte Einzelspezies-tests angelegt, wobei an den ausgewählten Tierarten ein oder mehrere Endpunkte (z.B. akute Toxizität, chronische Toxizität) geprüft werden. Die Extrapolation dieser Ergebnisse auf Freilandbedingungen ist mit großer Unsicherheit behaftet. Weiterhin werden aus der Vielfalt an potentiellen betroffenen Organismen einige wenige stellvertretend ausgewählt. Von den sehr vielfältigen Wirkungsmöglichkeiten eines Pestizids auf eine Art, werden nur einige Aspekte untersucht. In der Regel ist dies die Bestimmung der akuten Toxizität. Andere Wirkungsmöglichkeiten, wie hormonelle Wirkungen, werden nur in einzelnen Fällen durchgeführt. Zudem sind die Organismen in einem Agrarökosystem einer Vielfalt von Pflanzenschutzmitteln, Düngemitteln sowie anderen Störungen, wie mechanische Bodenbearbeitung ausgesetzt, die im Labor nicht simuliert werden können. Somit werden synergistische und /oder abpuffernde Effekte nicht erfasst.

Ein weiterer Aspekt, der anhand von langjährigen Vergleichsversuchen erkannt wurde, ist, dass in der Risikoabschätzung langfristige Effekte, z.B. auf die Bodenfruchtbarkeit, nicht erfasst werden. Ebenso werden Effekte durch Unterschiede in der Fruchtfolgegestaltung, die sich fast zwangsläufig durch unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten in der Quantität und Qualität von Betriebsmitteln ergeben, nicht erfasst.

Schließlich gibt es jedoch bei der Risikoabschätzung von GVO im Vergleich zur Risikoabschätzung von Chemikalien einige spezielle Aspekte. Risiken von GVO lassen sich in zwei große, sehr unterschiedliche Kategorien einteilen, biologische (genetische) Risiken und chemische (Genprodukt-) Risiken (siehe Tabelle 13). Diese grundsätzlich verschiedenen Risiken spiegeln sich in der Methodik der Risikoanalyse wider.

Tabelle 13: *Qualität biologischer und chemischer Risiken im Vergleich*

Qualität der biologischen (genetischen) Risiken	Qualität der Genprodukt- bzw. chemischen Risiken
Die Risikoursache kann • sich selbst vermehren, • sich räumlich ausbreiten, • im Schadensfall nicht zurückgeholt werden und • an andere Organismen weitergegeben werden. • Für die meisten Schadwirkungen lassen sich keine Dosis-Wirkungsbeziehungen angeben. • Die Wirkung im System bleibt nach einmaliger Exposition erhalten, die Größe der Anbaufläche hat eher geringeren Stellenwert. • Eine monokausale, lineare Betrachtungsweise ist nicht möglich. • Die Effekte entfalten sich ausnahmslos synergistisch und systembezogen.	Die Risikoursache kann sich • sich selbst nicht vermehren, • räumlich und zeitlich ausgebreitet werden, • sich akkumulieren und • im Schadensfall nicht zurückgeholt werden. • Vor allem quantitative Prozesse stehen im Vordergrund der Betrachtung. Das Schadensausmaß steigt mit der Konzentration des Genproduktes im GVO, mit der Anbauintensität (Anbauumfang und –häufigkeit) von GVP bzw. der Ausbringungsintensität von GVO. • Wirkungen im System können zwar zeitlich nachwirken, sofern jedoch Pufferkapazitäten nicht überschritten werden, ist die Regenerierung des Ökosystems zu erwarten. • Für die meisten Schadwirkungen lassen sich Dosis-Wirkungsbeziehungen angeben. Einschränkungen ergeben sich hinsichtlich allergener und infektiöser (Prione, Virushüllproteine) Proteine.

Das Modell der chemischen Risikoqualität beruht auf der Evaluierung von Dosis-Wirkungsbeziehungen. Bei GVO wird hierfür das Genprodukt angereichert und mit Methoden der chemischen Toxikologie ausgewertet. Solche Methoden zur Feststellung einer Dosis-Wirkungsbeziehung (Fütterungstest mit Indikatorenspezies) lassen sich auf die Kategorie der biologischen Risiken nicht übertragen. Hier wird deshalb lediglich argumentativ analysiert und bewertet. Im Gegensatz zu chemischen Risiken wo es mittlerweile verschiedene Qualitäten von Dosis-Wirkungsbeziehungen (Kurzzeittoxikologie, Langzeittoxikologie, chronische Toxikologie) und verschiedene Schadensphänomene (LD 50, Embryotoxikologie, Reproduktionstoxikologie) gibt, ist das Schadensbild im Bereich der biologischen Risiken sehr diffus und unstrukturiert geblieben. Die zentrale Frage der bisherigen Abschätzung biologischer Risiken (USDA 1999) liegt in der Frage, ob das Transgen dem GVO oder verwandten Arten von GVO zu einem erheblichen Selektionsvorteil verhilft, durch den es unkrautartiges Vermehrungspotential (analog den Erfahrungen aus der Invasionsbiologie) zeigen könnte. Andere Gesichtspunkte, wie Artenverlust

durch Hybridisierung (RHYMER 1996) oder andere wichtige Systemstörungen werden nicht in Betracht gezogen. Bei der argumentativen Analyse in der Risikoabschätzung biologischer Risiken werden Annahmen getroffen, die wissenschaftlich sehr umstritten sind. Es handelt sich primär um die Beurteilung der Eigenschaften von Transgenen hinsichtlich eines potentiellen Selektionsvorteils. Hier wird meist von einem sehr umstrittenen Verständnis der Evolutionstheorie Darwins (Missinterpretation von „survival of the fittest“) ausgegangen (vgl. MÜLLER 2001). Es wird nicht erkannt, dass Selektionsvorteil eine Funktion der Pflanze mit ihrer Umwelt ist. Das heißt beispielsweise, dass einzelne Pflanzen in gewissen Regionen in sehr kleinen Populationen vorkommen können, während sie gleichzeitig in anderen Gebieten zu dominantem Auftreten neigen. Aufgrund dieser fundamentalen Auffassungsunterschiede bei der Beurteilung der biologischen Gegebenheiten ergeben sich deutliche Bewertungsunterschiede bezüglich der biologischen Risiken von GVO und konventionell gezüchteten Pflanzen.

Fazit

Mit der Abschätzung chemischer Risiken sind Risikoabschätzer einigermaßen vertraut, wenn es um lineare Wirkungsbeziehungen geht. Eine monokausale, lineare Betrachtungsweise ist möglich. Die gängige Risikoabschätzung von Pflanzenschutzmitteln basiert vornehmlich auf diesem Ansatz. Über synergistische systembezogene Effekte besteht ein geringer Erfahrungsschatz. Im Bereich der genetischen (biologischen) Risiken bestehen Erfahrungen aus dem Bereich der Invasionsbiologie. Eine monokausale, lineare Betrachtungsweise ist nicht möglich. Die Effekte entfalten sich ausnahmslos synergistisch und systembezogen.

8.1.2 Vergleichsversuche

Unter dem Titel Vergleichsversuche werden all jene Untersuchungen zusammengefasst, die vergleichend bestimmte Parameter bei unterschiedlichen Landbauformen untersuchen. Vergleichsversuche sind weder in der Definition der Anbauformen, die miteinander verglichen werden, noch in der Auswahl der Indikatoren standardisiert. Besonders in den 80er Jahren des vorangegangenen Jahrhunderts, wurden viele Vergleichsversuche zwischen dem Ökologischen Landbau und der konventionellen Landwirtschaft durchgeführt. Die Ergebnisse der Vergleichsversuche waren sehr heterogen, was auf starke Unterschiede im Methodendesign zurückzuführen ist, wobei insbesondere Fehler in der Anlage der ökologischen Anbauvariante – die nicht den Praxisbedingungen des Ökologischen Landbaus entsprachen – zu Tage traten (LINDENTHAL et al. 1996). Der Ökolandbau unterscheidet sich von der konventionellen Landwirtschaft mehr als nur durch den Verzicht von synthetischen Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln, was im Methodendesign zu berücksichtigen ist. Dies erfordert jedoch auch Abstriche an die Interpretation der Daten, denn wenn mehrere Parameter (wie Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutzmitteleinsatz und Düngung) zwischen konventioneller und öko-

logischer Anbaumethode verschieden sind, lassen sich Unterschiede auch nicht mehr auf einen Einzelparameter, wie z.B. den Pflanzenschutzmitteleinsatz, zurückführen. Somit ist die Forderung nach *ceteris paribus* (unter sonst gleichen Umständen) zur Beurteilung von Unterschieden in den Umwelteffekten durch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kaum zu erfüllen. Einer der wenigen Versuche, bei dem unterschiedliche Anbausysteme untereinander verglichen wurden und die Fruchtfolge in allen Systemen gleich waren, ist der mittlerweile 21 jährige DOK-Versuch³, wobei die Fruchtfolge einen Kompromiss zwischen ökologischer und konventioneller Landwirtschaft darstellte (MAEDER et al. 2002a, siehe auch 8.2).

Es gibt jedoch auch Vergleichsversuche, wo lediglich unterschiedlich bewirtschaftete Flächen untersucht wurden. Hierbei lassen sich Effekte der Fruchtfolge von solchen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes nicht mehr unterscheiden. Dennoch lassen sie sich für einen Systemvergleich heranziehen. Die Unterschiede in den Fruchtfolgen sind Ergebnis der agrarpolitischen Rahmenbedingungen (insbesondere der konventionellen Landwirtschaft) sowie dem Mix aus Agrarpolitik und den gegebenen Anbaurestriktionen im Ökologischen Landbau. Da Landwirte im Ökologischen Landbau nur eingeschränkte Möglichkeiten der direkten Schädlings-, Krankheits- und Unkrautbekämpfung haben, müssen sie im Rahmen der Fruchtfolge danach trachten, vorsorgeorientiert Unkraut- und Schädlingsdruck zu minimieren.

Doch auch mit solchen Versuchen lassen sich lediglich Effekte auf der Fläche nachweisen. Fördernde bzw. hemmende Einflüsse auf die Biodiversität von Tieren mit großen Aktionsradien lassen sich durch Vergleichsversuche kaum eruieren, insbesondere wenn es sich um zerstreute Flächeneinheiten in intensiven Agrarregionen handelt.

Ein wesentlicher Vorteil der Vergleichsversuche ist, dass reale Freilandeffekte gemessen werden. Problematische Formen der Extrapolation von Laborergebnissen auf Freilandbedingungen, wie sie immer wieder in der Diskussion von Pflanzenschutzmitteln aber auch von GVO (siehe HILBECK et al. 1998a, HILBECK et al. 1998b, LOSEY et al. 1999) vorkommen, fallen dadurch weg. Zudem wird auch synergistischen und/oder abpuffernden Effekten Rechnung getragen, die aus Kostengründen im Labor nicht durchgeführt werden können. Insbesondere bei Langzeituntersuchungen (10 bis 150 Jahre; siehe DRINKWATER et al. 1998, ERA 2002, MAEDER et al. 2002a) werden Wirkungen erfasst, die mit anderen Methoden kaum identifizierbar wären und die wesentlich zur Validierung oder Relativierung von Hypothesen beitragen. Eine gute Übersicht über Erkenntnisse aus Langzeitversuchen gibt Rasmussen, der bemerkenswerterweise angibt, dass Veränderungen im Kohlenstoffhaushalt des Bodens erst nach mindestens 20 Jahren feststellbar sind und dass sich Hinweise auf die Nachhaltigkeit der Bodenbe-

³ DOK steht für den Vergleich von den drei Anbauvarianten biologisch-dynamisch, organisch biologisch und konventionell. Die konventionelle Variante wurde nach der ersten Fruchtfolge gemäß den Schweizer Richtlinien für integrierte Produktion bewirtschaftet.

wirtschaftung deutlicher nach 40 Jahren zeigen als in Studien mit einer Laufzeit von 20 bis 40 Jahren (RASMUSSEN 1998).

Nachteilig ist, dass mit Vergleichsversuchen lediglich Effekte der Agrarfläche bzw. in deren unmittelbarer Umgebung berücksichtigt werden können. Effekte, die außerhalb dieser Flächen durch Transport- und/oder Akkumulationsprozesse stattfinden, können nicht erfasst werden (vgl. Expositionspfade von Pflanzenschutzmitteln in 8.2.3).

8.1.3 Life Cycle Assessment - LCA

LCA ist eine international (ISO) standardisierte Methode zur Quantifizierung der Umweltwirkungen unterschiedlicher Produktionsprozesse, wobei auch Vorleistungen (Maschinen, Transporte) in die Berechnung Eingang finden. Im Bereich Landwirtschaft hat sie den Vorteil, dass im Rahmen der Bewertung auch Wirkungen außerhalb der Anbaufläche (z.B. Treibhauspotential, Energieeffizienz) miteingefasst werden, wodurch ein möglichst umfassendes Bild vermittelt wird. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass die Vorgangsweise der LCA und die zu verwendenden Indikatoren international standardisiert sind und somit solche Untersuchungen vergleichbar sind. Außerdem ist es nicht möglich, durch die gezielte Auswahl von Indikatoren ein selektives Bild zu vermitteln. Ein weiterer Vorteil ist, dass sämtliche Inputs erfasst und somit neben Pflanzenschutzmitteln auch der Einsatz von Düngemitteln und die mechanische Bodenbearbeitung sowie Vorketten in die Analyse miteinbezogen werden. LCA kann sowohl retrospektiv als auch prospektiv eingesetzt werden.

Die kritischsten Schwachstellen der LCA finden sich in der Datenqualität, der Allokation der Daten, sowie in der Qualität der Indikatoren. Da die LCA eine vergleichende, quantitative Analyse von Produktionsprozessen darstellt, können deren Aussagen nicht besser sein als die zugrundeliegende Datenbasis. Häufig sind keine Daten aus Vergleichsversuchen verfügbar, weshalb Anbauverhältnisse (Pflanzenschutzmittelaufwendungen und Durchschnittserträge) im Rahmen eines (fiktiven) Szenarios extrapoliert werden müssen. In der LCA werden häufig nur Einzelprodukte erfasst. Somit spiegeln sich in den Ergebnissen Effekte der Fruchtfolge nicht wider. Um Aussagen für einen größeren geographischen Raum machen zu können, müssen Daten zusammengefasst werden, wodurch die Analyse an Detailgenauigkeit verliert. Eine besondere Bedeutung kommt den Indikatoren und deren Gewichtung zu. Werden z.B. human- und ökotoxikologische Daten aus dem Bereich der Risikoabschätzung von Pflanzenschutzmitteln verwendet, spiegeln sich in der LCA auch die Probleme und Aussagegrenzen dieser Risikoabschätzung wider. Die aus der Chemikalienprüfung übernommene Toxizitätsbestimmung basiert in erster Linie auf LD 50 Werten und ist für die Bewertung öko- bzw. humantoxikologischer Risiken von GVO möglicherweise nur wenig geeignet. Problematisch bei der Anwendung der LCA

für GVO ist auch die Quantifizierung qualitativer Risiken, wie sie z.B. das Problem der Auskreuzung von Transgenen auf Wildpflanzen darstellt (siehe KLÖPFER et al. 1999 und 2001).

8.1.4 Unsicherheit – „Uncertainty“

Allen drei Methoden gleich sind die Grenzen des Kenntnisstandes, die sich in quantitative und qualitative Unsicherheit unterscheiden lassen (MÜLLER 2001). Während sich quantitative Unsicherheit (z.B. Datenlücken, Wissenslücken oder Variabilität) durch statistische Methoden, wie z.B. Monte Carlo Analyse, reduzieren lässt, ist das bei qualitativer Unsicherheit aufgrund der Komplexität von Ökosystemen und Unkenntnis (von Systemzusammenhängen) nicht möglich. Im Unterschied zu Wissenslücken versteht man unter Unkenntnis jene Systemzusammenhänge, die im Vorhinein nicht abgeschätzt werden können, wie am Beispiel der Geschichte der Pflanzenschutzmittelzulassungen kurz gezeigt werden soll:

An deren Anfang stand lediglich die Bewertung der akuten Toxizität im Vordergrund. Erst nach und nach wurde erkannt, dass darüberhinaus noch bis dato unbekannte Systembeziehungen wirksam sind und so wurde die Risikoabschätzung von Pflanzenschutzmitteln um die Parameter „Langzeittoxizität“, „Embryotoxizität“ und „hormonelle Wirkungen“ erweitert. Nicht Daten- oder Wissenslücken, sondern die völlige Unkenntnis dieser Systemzusammenhänge waren der Grund für deren Nichtbeachtung in der Risikoabschätzung zuvor. Es ist somit davon auszugehen, dass bestimmte Systemzusammenhänge weiter übersehen werden und die Risikoabschätzung daher einer kontinuierlichen Weiterentwicklung bedarf.

Die Berücksichtigung dieser qualitativen Aspekte der Unsicherheit in der Risikoabschätzung ist lediglich durch die Wahl vorsorgeorientierter Parameter, wie z.B. Persistenz, möglich. Die Berücksichtigung solcher Parameter in der Risikoabschätzung soll dazu beitragen, dass Umwelteffekte, die zum Zeitpunkt der Produktbewertung nicht bekannt sind, möglichst nur kurzfristige Störungen nach sich ziehen (MÜLLER 2001).

8.1.5 Fazit

Da diese drei Methoden jeweils ihre spezifischen Stärken und Schwächen haben, sollten zur Durchführung von umfassenden Vergleichen, d.h. Bewertungen zwischen verschiedenen Anbausystemen, alle drei berücksichtigt werden. Wenngleich das Mehrkosten für die Risikobewertung bedeutet, ist es fraglich, ob ein solcher vorsorgeorientierter Ansatz nicht trotzdem günstiger ist als Reperaturlösungen im Schadensfall. Sofern man sich aus finanziellen Gründen - und/oder bedingt durch andere (politische) Rahmenbedingungen - bei der Risikobewertung auf eine Methode beschränken muß, wäre es doch notwendig, einen Mechanismus zu finden, der den Blick auf systemische Wirkungszusammenhänge öffnet.

Außerdem sind Daten der allgemeinen Umweltbeobachtung, wie z.B. Expositionswege von Pflanzenschutzmitteln, ebenfalls zu berücksichtigen, um ein umfassendes Bild zwischen den Wechselwirkungen der Landwirtschaft und der Umwelt zu erhalten. Die Anwendung einer Methode allein ergibt ein höchst unvollständiges Bild. Langfristige Effekte auf die Bodenfruchtbarkeit, die mit Vergleichsuntersuchungen beobachtet werden können (MAEDER et al. 2002a, BULLUCK, III et al. 2002), dürften zunehmend an Bedeutung gewinnen. Dies sollte insofern Beachtung finden, als die hierbei beobachteten Veränderungen in der Bodenfruchtbarkeit durch kurzfristige Reparaturmaßnahmen nicht zu korrigieren sind. Diese Unterschiede treten insbesondere in Stresssituationen (z.B. Trockenheit) hervor, wo aufgrund der verbesserten Wasserhaltekapazität von organisch gedüngten Böden deutlich höhere Erträge als auf mit Mineraldünger gedüngten Böden zu erzielen sind (SAHS und LESOING 1985).

8.2 Exkurs: Vernetztheit von Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Emissionen

Nachdem oben die Grenzen und Möglichkeiten der Abschätzung von Umweltwirkungen der Landwirtschaft dargestellt wurden, soll am Beispiel bisheriger Umweltbeobachtungen ein kurzer Überblick über die Vernetztheit und Reichweite von Umweltwirkungen der Emissionen der Landwirtschaft gegeben werden.

8.2.1 Agrarbiodiversität

Der günstige Einfluss des Ökologischen Landbaus auf die Agrarbiodiversität sowie die Bodenfruchtbarkeit ist vielfach belegt (CLARK et al. 1998, CARPENTER-BOGGS et al. 2000, BULLUCK, III et al. 2002, BULLUCK, III und RISTAINO 2002, MAEDER et al. 2002b).

Im 21 jährigen Vergleichsversuch von organisch-biologisch, biologisch-dynamisch, sowie konventionell (gemäß den Vorschriften der integrierten Produktion der Schweiz) wurden folgende Unterschiede in der Bodenaktivität gemessen. Die Bodenfruchtbarkeit wurde in den ökologischen Varianten gefördert. So war die Aggregatstabilität des Bodens um 10 bis 60 % höher und die mikrobielle Enzymaktivität war ebenso signifikant gesteigert, was auf eine höhere mikrobielle Aktivität schließen lässt. Die Länge der mit Mykorrhiza besiedelten Wurzelfasern war um 40 % höher. Die Aktivität von Laufkäfern und Spinnen war ca. um 100 % höher als im konventionellen Anbausystem (MAEDER et al. 2002b).

Dieser Aspekt ist v.a. in Hinblick auf einen vorsorgeorientierten Pflanzenschutz, der sich auf eine Optimierung des Agrarökosystems im Sinne einer Erhöhung der Biodiversität verbunden mit einem möglichst hohen Vernetzungsgrad der vorkommenden Arten stützt, von Bedeutung (siehe 9.1).

8.2.2 Stickstoffverluste - Stickstoffeffizienz

Der Input an Nährstoffen (Stickstoff, Phosphor, Kali) im Ökologischen Landbau ist ca. um 34 - 52 % geringer bei durchschnittlich 20 % geringeren Erträgen (MAEDER et al. 2002b). Bezogen auf die Trockenmasse produzierten die ökologischen Varianten die gleiche Menge mit 20 bis 56 % weniger externem Energieinput. Im Ökologischen Landbau werden einerseits ausschließlich organische Stickstoffdünger eingesetzt, andererseits ist das Stickstoffniveau viel niedriger als in der konventionellen Landwirtschaft. Dies läßt die Schlußfolgerung zu, dass Stickstoff in der konventionellen Landwirtschaft weit weniger effizient genutzt wird als in der Ökologischen Landwirtschaft. Ebenso sind auch die Stickstoffverluste der konventionellen Landwirtschaft, z.B. im Form von Nitrat, um bis zu 300% höher als jene des Ökologischen Landbaus (KRATOCHVIL und PLAKOLM 2002). Überschüssiger Stickstoff kann in Form von N_2 , N_2O ausgasen sowie als NO_3 versickern.

Sehr problematisch ist N_2O , da es ca. 120 Jahre in der Atmosphäre persistent verbleibt und ca. 200 fach so effektiv wie CO_2 zur globalen Erwärmung beiträgt. N_2O ist hinter Wasserdampf, CO_2 , Methan ein bedeutendes Gas der globalen Erwärmung. Daneben trägt es noch durch Spaltung zu NO zur Verminderung des stratosphärischen Ozongehaltes bei, wobei die lange Persistenz besonders problematisch ist. Der Flugverkehr und die Landwirtschaft sind Hauptverursacher des NO Gehaltes in der stratosphärischen Atmosphäre (SOCOLOW 1999). Ebenso unerwünscht ist der übermäßige Austrag von Stickstoff in das Grund- und Oberflächenwasser, da es einerseits zu Gesundheitsgefährdung durch Belastung des Trinkwassers oder zur Eutrophierung von Gewässern führen kann.

8.2.3 Pflanzenschutzmitteleinsatz

Aspekte des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in Bezug auf Umwelt und Gesundheit sind schwer zu erfassen. Die Basis hierfür sind die Ergebnisse der Risikoabschätzung. Hierbei werden jedoch nur Einzelkomponenten und nicht Mischungen von Pflanzenschutzmitteln untersucht, wie sie in Lebensmitteln (in Form von Rückständen) bzw. in der Umwelt auftreten.

Gut untersucht sind mittlerweile die Expositionspfade von Pflanzenschutzmitteln, insbesondere von Herbiziden. Da die Herbizide mit 60 % an der Gesamtaufwandmenge von Pflanzenschutzmitteln beteiligt sind, wurde insbesondere ihr Austrag in Atmosphäre und Grundwasser erfaßt (HURLE 1994). „Binnen 24 Stunden nach der Pestizidapplikation können Verdunstungsverluste in Höhe von 40 %, 50 % bis zu 90 % der ausgebrachten PSM auftreten (NEURURER und WOMASTEK 1991, NEURURER und WOMASTEK 1992).

PSM wurden in der Luft und im Regen (HUSKES und LEVSEN 1997, BREGA et al. 1998, DONALD et al. 1999, COUPE et al. 2000, MAJEWSKI et al. 2000, GRYNKIEWICZ et al. 2001) oder Nebel (GLOTFELTY et al. 1987, PLIMMER 1990) nachgewiesen. Besonders im Nebel dürfte es laut GLOTFELTY et al. (1987) zu hohen Anreicherungen von Pflanzenschutzmitteln kommen. Die Verdunstung in die Atmosphäre hängt nicht nur vom Dampfdruck des Pestizids ab, sondern es ist auch eine Ko-Destillation von Pflanzenschutzmitteln mit Wasser trotz sehr niedrigen Dampfdruckes möglich (NEURURER und WOMASTEK 1991).

OBERWALDER et al. (1992 zitiert in BÖRNER 1997) konnten im Zeitraum Mai bis Juli Maximalkonzentrationen von 1-2 µg je Liter Niederschlag (Regen und Nebel) finden. Von den 13 nachgewiesenen Verbindungen waren zehn Herbizide, zwei Metabolite von Herbiziden und ein nicht näher spezifiziertes Pestizid (Insektizid oder Fungizid).

Viele der PSM werden photochemisch in wenigen Wochen abgebaut (KRUSE 2002), dennoch werden einige von ihnen (mit hoher Wahrscheinlichkeit auch moderne PSM) über lange Strecken transportiert und kondensieren in kühleren Regionen der Erde, wie Bergen und Polgebieten, wieder aus. Ökosysteme, die weitab jeder Ausbringung von Chemikalien liegen, zählen heute zu den am stärksten mit Pflanzenschutzmitteln und anderen Chemikalien belasteten Gebieten (z.B. BLAIS et al. 1998) und Wale zu den mit Pflanzenschutzmitteln am stärksten belasteten Säugetieren der Erde (SASCHENBRECKER 1973, AGUILAR und BORRELL 1994, MOSSNER und BALLSCHMITER 1997, TILBURY et al. 1999, BERNT et al. 1999). Die Pestizid- und allgemeine Chemikalienbelastung der Wale schwächt möglicherweise das Immunsystem der Tiere (DE GUISE et al. 1998). Tote Belugawale müssen wie Sondermüll behandelt werden (GREENPEACE 1999).

Auch Lebensmittel sind mit Pestizidrückständen belastet, wobei biologisch produzierte Lebensmitteln deutlich geringere Belastungen aufweisen (BAKER et al. 2002). Gründe, warum Biolebensmittel trotz des Anwendungsverbotes dennoch Pestizidrückstände aufweisen, liegen in der Pestizidabdrift, der allgemeinen Pestizidbelastung der Atmosphäre, persistenten Pestizidrückständen im Boden, belasteten Transport- und Lagergebinden, sowie in der immer wieder auch vorkommenden widerrechtlichen Verwendung von Pflanzenschutzmitteln. Gewisse Pflanzenschutzmittel bzw. Antikeimungsmitteln können auch im Rahmen der Lagerung berührungslos durch Verdampfen und Niederschlag zu Kontaminationen führen. Dieser Übertrag kann in jeder Stufe der gemeinsamen Lagerung z.B. von mit Chlorpropham behandelten Kartoffeln neben anderen Produkten erfolgen, egal ob in industrieller Zwischenlagerung oder auch in den Direktverkaufsbereichen bei den Letztanbietern (EIS, ABG-Austria, schriftl. Mitteilung von Probenergebnissen).

Über die Wirkungen der Belastung über die Nahrungsaufnahme und der Atemluft (insbesondere bei Nebel) ist wenig bekannt. Zu den akut toxischen Wirkungen auf den Menschen werden folgende Symptome gezählt: Übelkeit, Schlafstörungen, krampfartige Bauchschmerzen, Kreis-

laufschwäche, Augenbrennen, Bruststechen, Herzstechen, Muskelzuckungen, Muskelkrämpfe, Schwächegefühl, Schweißausbrüche, Haarausfall, Bronchitis, Atemnot, Kollapszustände, Fieberschübe, Herzflattern u.a. Diese Symptome sind einerseits bei Anwendern, aber auch bei Personen, die in der Nähe bewirtschafteter Flächen wohnen, zu finden. An Nebeltagen und bei steigender Temperatur verstärken sich die Beschwerden, was mit der um bis zu 3.000-fachen Anreicherung der PSM in Nebeltröpfchen einerseits (Erhöhung der Konzentration) und andererseits mit erhöhter Wirksamkeit (Erhöhung der Toxizität) erklärt werden könnte (JOSEPHANS 1993). Der Nachweis, dass für die oben erwähnten Symptome die PSM Verursacher sein könnten, wurde mit analytisch-deduktiven Methoden noch nicht geführt (z.B. Nachweis von Pflanzenschutzmitteln in Blut, Harn etc.). Indizien, wie regional- und witterungsabhängige Symptome, die gleichzeitig auftreten und nach Ortswechsel wieder abklingen, können jedoch aufgezeigt werden (JOSEPHANS 1993). Möglich sind auch Langzeiteffekte, die sich insbesondere auf Embryos und Kleinkinder auswirken könnten. Immer noch lassen sich in den Industriestaaten längst verbotene PSM wie DDT und deren Metabolite in der Plazenta (PRZYREMBEL et al. 2000) und der Muttermilch (SMITH 1999, SCHREIBER 2001) nachweisen. Auch in Deutschland konnten 1995 immer noch DDT und seine Metaboliten in der Muttermilch nachgewiesen werden, wobei sich im Vergleich zu Messungen von 1985 die Konzentrationen signifikant verringert haben (OTT et al. 1999). Ähnliche Untersuchungsergebnisse finden sich in anderen europäischen Ländern wie Schweden (NOREN und MEIRONYTE 2000) oder Großbritannien (HARRIS et al. 1999).

Gesundheitliche Belastungen können aus den Daten (noch) nicht abgeleitet werden. Jedoch schränken POITRAST et al. (1988) ihre Ergebnisse dahingehend ein: *"To date, there is no evidence of harm to breast-feeding infants whose mothers are not exposed above a permissible exposure limit (PEL). While we may take some comfort in this, "no evidence of harm" is not the same as "evidence of no harm." Unfortunately, the latter, being a negative, can never be proven."*

Diese Situation ist wenig zufriedenstellend, denn gerade die Diskussion um hormonelle Wirkungen zeigt, dass auch geringe Mengen erheblich die Gesundheit von Mensch und Tier beeinflussen können. Wobei auch hier synergistischen Effekten besonders Augenmerk zu schenken wäre. Anhand transgener Hefezellen mit menschlichem Östrogenrezeptor zeigten ARNOLD et al. (1996) mögliche synergistische Wirkungen, die die hormonelle Wirkung verstärken könnten. Die Kombinationen zweier schwach östrogenwirksamer PSM wie Dieldrin + Endosulfan oder Endosulfan + Toxaphene zeigten um den Faktor 1000 erhöhte Aktivierungen der Östrogenrezeptoren, als jedes dieser PSM allein.

8.2.4 Fazit

Die hier durchgeführte Übersicht differenziert nicht in unterschiedliche Formen (Herbizide, Fungizide etc.) und auch nicht in Unterschiede der Zulassungsdaten der PSM. Viele PSM und deren Metaboliten, die heute in den diversen Umweltmedien gefunden werden, sind mittlerweile längst verboten und werden in der Landwirtschaft Mitteleuropas und den USA nicht mehr eingesetzt. Eine differenzierte Darstellung in Wirkungen und Verteilungen von alten Pflanzenschutzmitteln und neuen Pflanzenschutzmitteln konnte in dieser Studie nicht gegeben werden, da dies deutlich den Rahmen, als auch die Zielstellung des Projektes übersteigen würde. Es soll jedoch anhand dieser Darstellung verdeutlicht werden, welche Effekte im Rahmen der Risikoabschätzung lange Zeit übersehen wurden und aufgrund der Komplexität nicht erfasst werden können. Dies soll zeigen, wie schwierig es ist, alle umwelt- und gesundheitsrelevanten Aspekte im Rahmen eines sorgfältigen Vergleichs unterschiedlicher Anbausysteme miteinzubeziehen und zu bewerten.

9 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Für alle der hier angeführten Fallbeispiele gibt es Lösungsansätze ohne GVP, die sowohl technisch als auch standortbedingt machbar sind und mitunter seit mehreren Jahren durchgeführt werden. Der Einsatz von GVP ist eine weitere Option und kann eine Alternative zu der bisherigen, konventionellen Standardmaßnahme sein. Neben der konventionellen Standardmaßnahme wurde in den behandelten Fallbeispielen versucht, weitere umweltentlastende Alternativen anzuführen. In den meisten Fällen sind diese ebenfalls technisch machbar. Dass auch sehr umweltentlastende Maßnahmen technisch machbar sind, beweisen die Landwirte des Ökologischen Landbaus, weil auch alle in der konventionellen Landwirtschaft verwendeten Feldfrüchte ökologisch angebaut werden.

Welche der hier angeführten alternativen Lösungsansätze bei den Landwirten die größte Akzeptanz erzielen werden, hängt primär von den ökonomischen Rahmenbedingungen und vom Image der verschiedenen Maßnahmen ab. Erstere werden wesentlich durch Förderpolitik und Preise sowie Prozess- und Produktspezifikationen des Lebensmittelhandels und der Lebensmittelverarbeitung gestaltet. Wenn Förderpolitik und/oder Lebensmittelhandel zwischen gentechnischen und nicht-gentechnischen Maßnahmen und Produkten unterscheiden, so sind durchaus Verschiebungen in der Nutzung von Alternativen denkbar. Werden keine Differenzierungsstrategien durchgeführt, so wird sich die kostengünstigste Maßnahme oder die Maßnahme, die dem Streben der Landwirte nach Vermeidung von Unsicherheiten entspricht, durchsetzen. Bei der Unsicherheitsvermeidung spielen jedoch nicht nur Ertragseinbußen durch Schädlinge und Krankheiten, sondern auch die Preisentwicklung eine Rolle. Wenn z.B. unsicher ist, ob und in welcher Höhe Preisabschläge für gentechnisch veränderte Produkte in Kauf genommen werden müssen, so ist für Zuckerrüben, Mais, Raps, Wein und eventuell auch für Kartoffeln der Umstieg von der bisherigen konventionellen Standardmaßnahme auf den Einsatz von GVP kaum attraktiv, weil alle konventionellen Maßnahmen zufriedenstellende Erträge bringen. Eine Ausnahme könnte Bt-Mais in Regionen mit hohem Maiszünslerbefall und sehr sandigen Böden sein. Neben den Kosten-Preis-Faktoren ist von fast gleichwertiger Bedeutung das soziale Image in die Überlegungen der Machbarkeit mit einzubeziehen.

Raps

Sowohl bei der Applikation von selektiven Herbiziden als Standardmaßnahme, als auch beim Einsatz von herbizidtolerantem Raps mit der Applikation von nicht-selektiven Herbiziden, ist mit Wirkungslücken und/oder Unkrautresistenzen zu rechnen. Wie die Entwicklung in Kanada (Raps Durchwuchs mit Resistenz gegen drei Totalherbizide, HALL et al. 2000) zeigt, könnte die Effizienz von herbizidtoleranten Rapssorten lediglich von begrenzter Dauer sein. Der Unkraut-

druck spielt im Rapsanbau per se - und so auch im Ökologischen Landbau - eine eher untergeordnete Rolle, weil Raps konkurrenzstärker als z.B. das relativ gut unkrautunterdrückende Getreide ist. In Bezug auf die Unkrautregulierung findet der Öko-Landwirt mit der mechanischen Bodenbearbeitung und Fruchtfolgemaßnahmen sein Auslangen. Auch auf sehr leichten Böden sind pfluglose Verfahren zur Unkrautregulierung im Ökologischen Landbau erfolgreich (NIEMANN 1998).

Mais

Die Standardmaßnahme der vorbeugenden Bodenbearbeitung zur Maiszünslerbekämpfung ist technisch und ökologisch machbar sowie ökonomisch sinnvoll. Einschränkungen für die vorbeugende Bodenbearbeitung kann es im Bereich sehr leichter Böden geben. Hierbei wäre jedoch ein sehr intensives Abschlägeln als Ersatzmaßnahme möglich. Der Einsatz von Bt-Mais als direkte Bekämpfungsmaßnahme kommt den Landwirten in ihrem Streben zur Vermeidung von Unsicherheit entgegen. Wenngleich der Einsatz in vielen Fällen aufgrund höherer Saatgutpreise ökonomisch wenig sinnvoll erscheint, könnte er aus dem Motiv der Unsicherheitsvermeidung rasche Akzeptanz unter den Landwirten finden. In Fällen mit leichten, sandigen Böden ist aufgrund der geringen Möglichkeit zu vorbeugenden Bodenbearbeitungsmaßnahmen die Akzeptanz noch höher einzuschätzen. Bei verstärktem Auftreten von Resistenzen in den Maiszünslerpopulationen kann die Effizienz und somit die technische Machbarkeit des GVO-Ansatzes vermindert werden oder vollständig verloren gehen.

Mit Resistenzmanagement kann das Problem der Resistenzentwicklung einige Jahre hinausgezögert, jedoch nicht vollständig verhindert werden. Die Effizienz des Resistenzmanagements hängt einerseits von der Bereitschaft der Landwirte, diese Maßnahmen flächendeckend umzusetzen, und andererseits von der Ausprägung des Resistenzgens (dominant bzw rezessiver Vererbung) selbst ab.

Zuckerrübe

Wie bereits gezeigt (siehe 4.2), ist die konventionelle Rizomania-Resistenzzüchtung in den letzten Jahren sehr erfolgreich gewesen. Mit den neuen, konventionell gezüchteten, resistenten Sorten können in Befallsgebieten gleichwertig hohe Erträge erwirtschaftet werden, wie mit den alten Leistungssorten in Rizomania-freien Gebieten. Standortbedingte Einschränkungen für den Anbau der resistenten Sorten sind keine bekannt. Leistungsprüfungen ergaben, dass die zur Verfügung stehenden Sorten unter Befallsbedingungen deutlich bessere Rübenenerträge zeigen und auch unter Nichtbefall (nichtbefallene Teilflächen auf der Parzelle) in Ertrag und Leistung dem Standardsortiment in keiner Weise nachstehen. „*Vielmehr nehmen sie auch hier Spitzenpositionen im bereinigten Zuckerertrag ein*“ (HEUPEL und HEINRICHS 2002). Es ist für diesen Standardansatz, der auch im ökologischen Landbau eingesetzt wird, kaum mit ökonomischer

Konkurrenz seitens der gentechnisch veränderten, virusresistenten Zuckerrübe zu rechnen. Dies lässt jedoch keine Rückschlüsse auf die ökonomische Attraktivität von beispielsweise herbizidtoleranten Zuckerrüben zu.

Kartoffel

Durch Fortschritte in der konventionellen Kartoffelzüchtung wurden anhand monohaploider Linien amylosefreie Kartoffeln durch Hybridzüchtung entwickelt. Diese bilden jedoch nur wenige Knollen und besitzen eine schlechtere Vitalität, weshalb sie wirtschaftlich nicht so interessant wie die gentechnisch veränderte, amylosefreie Kartoffel sind. Der Genpool von Wildkartoffeln bzw. von primitiven Kartoffelsorten ist durch eine hohe chemische und physikalische Variabilität der Kartoffelstärke ausgezeichnet. Dieses Potential kann auch in der konventionellen Pflanzenzucht als Basis für die Nutzung bestimmter Stärkeformen in industriell relevanten Mengen weiterentwickelt werden. Ebenso gibt es andere Kulturarten mit sehr geringen Amylosegehalten: Wachshirse (1%), Wachsmais (<1%) und Wachtreis (1%). Durch die Entwicklung von kühler Witterung gegenüber toleranten Sorten ist der Einsatz von Wachsmais auch in typischen Kartoffelanbaugebieten möglich. Ob sich gentechnische Ansätze durchsetzen werden, kann zur Zeit schwer prognostiziert werden. Für viele Verarbeitungsbetriebe, die bisher Kartoffelstärke verarbeitet haben, ist es wahrscheinlich günstiger, gentechnisch veränderte Kartoffeln zu verarbeiten, als in Verarbeitungsanlagen für Wachsmais zu investieren.

Wein

Die Standardmaßnahme im konventionellen Weinbau ist der intensive Einsatz von synthetischen Fungiziden, wobei sicherlich noch ein gewisses Potential zu Fungizideinsparungen (Verbesserungen bei Prognosemodellen udgl.) besteht. Zudem gibt es bereits einige konventionell gezüchtete Rebsorten mit guten Resistenzeigenschaften gegen echten (*Oidium*) und falschen Mehltau (*Peronospora*), die jedoch erst in sehr geringem Umfang in die Praxis Eingang gefunden haben. Ursache hierfür ist, dass im deutschsprachigen Raum die Angabe der Weinsorte auf dem Etikett üblich ist und somit auch die Einführung neuer Sorten für den Konsumenten sichtbar ist. Im Gegensatz dazu stehen in anderen Ländern Anbaugebiet und Produzent im Vordergrund, weil historisch bedingt Kellerwirtschaft und Anbau jeweils eigenständigere Bereiche bilden. Sowohl Winzer als auch Konsumenten orientieren sich im deutschsprachigen Raum bei der Kaufentscheidung zur Zeit aber noch vorwiegend an den traditionellen Namen, was die Markteinführung konventionell gezüchteter, pilzresistenter Sorten erschwert (BECKER 2000).

Im Ökologischen Landbau wird mit mineralischen Fungiziden (Kupfer und Schwefel) sowie Pflanzenstärkungsmitteln gearbeitet, wobei insbesondere der Einsatz von Kupfer als problematisch angesehen wird. Alternative Ansätze befinden sich erst im Forschungs- und Entwicklungs-

stadium. Für viele ökologischere Alternativen zum Kupfereinsatz ist die praktische Anwendung im großem Maßstab noch ein Hindernis. Der Einsatz konventionell gezüchteter, pilzresistenter Sorten wird im ökologischen Weinbau ebenfalls verstärkt.

Die gentechnischen Ansätze befinden sich bisher in einem sehr frühen Entwicklungsstadium. Ob sie sich im Sinne der technischen Machbarkeit als tragfähige Alternativen erweisen können, ist aus heutiger Sicht ungewiss. Da gentechnische Ansätze noch nicht gezeigt haben, ob mit ihnen die gewünschten Resistenzeffekte erzielt werden können, ist es unmöglich, Aussagen über die Effizienz von gentechnisch veränderten Reben zu treffen. Offen ist auch, ob der Kunde gentechnisch veränderte Sorten als identisch mit den Ausgangssorten erachtet. Wenn dies nicht der Fall ist, so müssten neben dem GVO-Image auch noch ein neues Sortenimage aufgebaut werden, was die Vermarktungschancen solcher Weine deutlich schmälert.

9.1 Forschungsbedarf

Die Grüne Gentechnik folgt in den Bereichen Unkrautregulierung und Pflanzenschutz gegen Schädlinge den gleichen Theorien wie der chemische Pflanzenschutz mit einer verfeinerten Methode. Sie unterscheidet sich also nur in der Wahl der Mittel, aber nicht durch neue Ideen. Untersuchungsobjekt ist die Pflanze und deren Interaktion mit der Schädlingspopulation. Die Frage, wie die Schädlingspopulation verringert (abgetötet, gestört) werden kann, steht im Mittelpunkt des Interesses (Symptombekämpfung). Diese Ausrichtung geht an der zentralen Frage, wie das Potential für die Entwicklung der Schaderreger zu verringern sei, vorbei (WOLFE 1991). Spezialisten im Ökosystem, die ihre Ressource im allgemeinen sehr effektiv nutzen, nehmen überhand, wenn diese Ressourcen in großen Mengen vorhanden sind. Andererseits sind sie sehr empfindlich gegenüber Veränderungen oder Störungen, die ihre enge Nische beeinträchtigen (ODUM 1991). Können diese Störungen jedoch von einigen dieser Spezialisten durch wenige Mutationen kompensiert werden, tritt eine ungehemmte Vermehrung dieser nun über einen Vorteil verfügenden Rasse auf. Ähnliches ist für die gentechnisch erzielten monogenen Resistenzen gegen Pilz-, Bakterien- und Viruskrankheiten zu befürchten.

Die Lösung der agrarischen Probleme nur an der Pflanze zu suchen, anstatt das System zu verbessern, führt unweigerlich zu Konflikten im Agrarökosystem, wie dies auch die Geschichte der Pflanzenschutzmittelzulassung zeigt. Der Ansatzpunkt, zuerst das ganzheitliche vernetzte System zu verstehen und zu verbessern und daran anschließend die einzelnen Systemparameter zu verändern, ist prinzipiell erfolgversprechend (HÄNI et al. 1990). In der Praxis sind die Maßnahmen zur Verbesserung des Systems (Anlage von Hecken und Rainen, Vorbereitungen für Mischkulturanbau, etc.) und der Systemparameter (Auswahl der Gehölze für die Hecke, Auswahl der passenden Mischkulturkomponenten) nicht streng voneinander zu trennen. Die Berücksichtigung der agrarökologischen ökosystemaren Grundsätze ist zwar, wie oben er-

wähnt, eine notwendige, jedoch nicht ausreichende Bedingung für ein nachhaltiges Produktionssystem "Acker". So kann zum Beispiel die Erhöhung der Diversität nicht nach zufälligen Gesichtspunkten erfolgen (SPEIGHT 1983). "Es geht nicht um die Artenvielfalt, sondern um die Art der Vernetzung der verschiedenen Ökosystemelemente, welche die gewünschte Stabilität verleiht (DELUCCHI 1990). In einer intensiven und leistungsfähigen "Mischkulturwirtschaft", bis hin zu Permakultur (permanent agriculture)⁴ und Agroforstwirtschaft müssen die einzelnen Pflanzen- und Tierarten von ihren räumlichen und zeitlichen Ansprüchen und Wechselwirkungen gut aneinander angepasst werden.

Aus dieser Arbeit ist ersichtlich, dass es insbesondere Forschungsbedarf in der Weiterentwicklung des vorsorgeorientierten Pflanzenschutzes gibt. Denn mit diesem könnten viele gentechnische oder chemische symptomorientierte Bekämpfungsmaßnahmen vermieden werden. Im Rahmen der Fallbeispiele sind insbesondere ökologische und vorbeugeorientierte Insektenregulierung bei Raps, die Pilzbekämpfung beim Wein wie die Befallsreduktion von Maiszünsler auf leichten (sandigen) Böden, wo das Einpflügen des Maisstrohs nicht möglich ist, zu nennen. Insbesondere in der Insektenbekämpfung ist die Forschung im Bereich des vorsorgeorientierten Pflanzenschutzes voranzutreiben. Ansätze hierfür wären einerseits die Gestaltung einer vielfältigen Fruchtfolge wie auch die Ausrichtung des Agrarökosystems zur Erhöhung der Biodiversität.

Einen deutlichen Forschungsbedarf gibt es im Bereich der Optimierung des Agrarökosystems, im Sinne einer Erhöhung der Biodiversität, verbunden mit einem möglichst hohen Vernetzungsgrad der vorkommenden Arten. Auf dieser Basis sollen antagonistisch wirkende Organismen die Schaderregerpopulationen möglichst früh in ihrer Entwicklung hemmen. Eine Verknüpfung der Ansätze aus dem Bereich der chemischen Ökologie mit der der Agrarökosystemforschung und der ökologischen Pflanzenzucht wäre anzustreben, um die für die Erreichung dieser Ziele notwendigen Wechselwirkungen der Kulturpflanzen untereinander und mit anderen Organismen im Ökosystem beizubehalten (vgl. HOBALLAH et al. 2002).

Dies wäre ein wichtiger Schritt, um dem im Bereich der Symptombekämpfung bekannten Problem des Resistenzwettkaufs (vgl. TILMAN et al. 2002), bedingt durch höhere Aufwandsmengen oder Toxinkonzentrationen in Pflanzengewebe transgener Kulturpflanzen erfolgreich zu begegnen.

⁴ Der Begriff „Permakultur“ wurde (in den 70er Jahren) von den Australiern Bill Mollison und David Holmgren geprägt und diente ursprünglich zur Beschreibung einer permanent agriculture (dauerhaften Landwirtschaft), die sich am Vorbild des Urwaldes oder an einem sich selbst entwickelten Ökosystem, mit vorwiegend mehrjährigen oder sich selbst ausäsenden Pflanzen, orientiert. Durch sorgsame Auswahl und Anordnung (in Raum und Zeit) von "Elementen" (Pflanzen, Tiere) wird versucht eine größtmögliche Anzahl von einander positiv beeinflussenden Funktionen auf der Bewirtschaftungsfläche zu erreichen. Das Recycling von "Abfällen" findet auf der höchstmöglichen Energieebene statt. Die besten Energiepfade und angemessenen Energieformen werden genutzt. Heute umfasst dieses Konzept auch soziale, ökonomische und ethische Ziele.

Die Erkenntnisse könnten sowohl in der konventionellen, gentechnischen Landwirtschaft sowie auch im Ökologischen Landbau genutzt werden. Denn auch im Ökologischen Landbau besteht die Tendenz, den chemischen durch biologischen Pflanzenschutzmittel zu ersetzen, wodurch auch hier das Problem des Resistenzwettlaufes prinzipiell gegeben ist.

Im Bereich Krankheitsvorbeugung sind, insbesondere in den Bereichen Agrarökosystem und Pflanzenzucht, Forschungsanstrengungen nötig. Schwerpunkt liegt im Gegensatz zum gentechnologischen Ansatz im Aufbau möglichst stabiler polygener Resistenzen, um einen Resistenzwettlauf mit dem Schaderreger zu verhindern.

Die phytosanierende Wirkung einer vielfältigen Fruchtfolge ist zwar wissenschaftlich erwiesen, doch in der Praxis kaum anerkannt (METZ 2002). Immer wieder zeigt sich, dass ein mehrmaliger Nacheinanderanbau der gleichen Fruchtarten nicht die prognostizierten Mindererträge bestätigt, sondern bei Erkenntnisgewinn und verbesserter Anbautechnologie, sogar Mehrerträge ermöglicht. Die Nachteile liegen im Aufbau eines Schaderregerpotentials (z.B. Nematoden, Fusariosen), das zu einem plötzlichen Ertragseinbruch führen kann, auch durch vermehrten Pflanzenschutzmitteleinsatz nicht mehr abzufangen ist und viele Sanierungsjahre nach sich zieht (METZ 2002).

Forschungsbedarf liegt hier in der Frage, welche Werteinstellungen der Landwirte und andere Hindernisse einer Transformation wissenschaftlicher Erkenntnisse - z.B. über den ökonomischen wie ökologischen Nutzens einer vielfältigen Fruchtfolge - in die Praxis entgegenstehen.

Neben der zögerlichen Umsetzung dieser Erkenntnisse in die Praxis, gehen von der EU-Agrarpolitik falsche Signale aus, die der Implementierung einer vielfältigen Fruchtfolge entgegenstehen. Es wäre deshalb zu untersuchen, welche Hindernisse einer Berücksichtigung solcher Erkenntnisse in der EU-Agrarpolitik entgegenstehen.⁵

Eine weiterer wichtiger Ansatz, der in der Machbarkeitsanalyse (siehe 7) deutlich wurde, liegt im Bereich der Transformation von ökologischen Werten. Nur so kann ökologischen Ansätzen, die auch betriebswirtschaftlich sinnvoll sind, stärker zum Durchbruch verholfen werden.

Im vorliegenden Bericht wurde keine umfassende Risikobewertung der unterschiedlichen Ansätze durchgeführt, sondern die Grenzen der unterschiedlichen Methoden einer vergleichenden Risikobewertung aufgezeigt. Das Verfahren „Risikoabschätzung“ zeigt deutliche Schwächen bei großräumigen Belastungen von Pflanzenschutzmitteln, die durch Effekte wie globale Destillation (großräumige Verfrachtung von Pflanzenschutzmitteln in unbelastende Regionen z.B. Nord- und Südpol) hervorgerufen werden. Ähnliche Grenzen sind im Bereich der Risikoabschätzung

⁵ Metz 2002: „Ein großes Problem in dieser Hinsicht ist die Subventionspolitik der EU. Sie ist im Hinblick auf Ökologie und Fruchtfolgegestaltung einem Praktiker kaum zu erklären“

transgener Pflanzen, sowie in einem symptomorientierten biologischen Pflanzenschutz auszumachen. Neben der Stärkung des vorsorgeorientierten Ansatzes wird deshalb auch ein Forschungsbedarf bei der Weiterentwicklung der Risikoabschätzung von chemischen, biologischen und von Gentechnik-basierten Pflanzenschutzstrategien gesehen. Im Sinne des Vorsorgeprinzips ist die Integration des Konzeptes „Unsicherheit“ (uncertainty) in das Verfahren „Risikoabschätzung“ vorzusehen. Ebenso sollte eine mögliche Integration von anderen Ansätzen wie z.B. LCA oder langjährige Vergleichsversuchen bei der Risikobewertung überprüft werden.

10 LITERATUR für die Kapitel 1, 7, 8 und 9

- ABATE T., VAN HUIS A., AMPOFO J.K.O. 2000: Pest Management Strategies in Traditional Agriculture: An African Perspective. *Annual Review of Entomology* 45(1): 631.
- AGUILAR A., BORRELL A. 1994: Reproductive transfer and variation of body load of organochlorine pollutants with age in fin whales (*Balaenoptera physalus*). *Arch Environ Contam Toxicol* 27 (4): 546-554.
- ARNOLD S.F., KLOTZ D.M., COLLINS B.C., VONIER P.M., MCLACHLAN J.A. 1996: Synergistic Activation of Estrogen Receptor with Combinations of Environmental Chemicals. *Science* 272: 1489-1492.
- BAKER B.P., BENBROOK C., GROTH E., III, BENBROOK K. 2002: Pesticide residues in conventional, IPM-grown and organic foods: Insights from three U.S. data sets. *Food Additives and Contaminants* 19 (5): 427-446.
- BECKER H. 1993: Pflanzenzüchtung. Ulmer Verlag, Stuttgart (p.83ff).
- BECKER N. 2000: Pilzwiderstandsfähige Rebenneuzuchten - Ein möglicher Beitrag zum umweltschonenden Weinbau. *Proceedings. 6th internat. Congress on Organic Viticulture*. Basel. IFOAM 2000.
- BERNT K.E., HAMMILL M.O., LEBEUF M., KOVACS K.M. 1999: Levels and patterns of PCBs and OC pesticides in harbour and grey seals from the St Lawrence Estuary, Canada. *Sci Total Environ* 243-244: 243-262.
- BLAIS J.M., SCHINDLER D.W., MUIR D.C., KIMPE L.E., DONALD D.B., ROSENBERG B. 1998: Accumulation of persistent organochlorine compounds in mountains of western Canada. *Nature* 395: 585-588.
- BMVEL Ministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft 2001: Agrar- und ernährungspolitischer Bericht der Bundesregierung.
<http://www.verbraucherministerium.de/landwirtschaft/ab-2001/ab01/text.htm>
- BÖRNER H. 1997: Unkrautbekämpfung. In: Keller E, Hanus H, Heyland K (Hg.) *Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion*. pp. 362-393 (p. 377ff).
- BREGA S.M., VASSILIEFF I., ALMEIDA A., MERCADANTE A., BISSACOT D., CURY P.R., FREIRE-MAIA D.V. 1998: Clinical, cytogenetic and toxicological studies in rural workers exposed to pesticides in Botucatu, Sao Paulo, Brazil. *Cad.Saude Publica* 14 Suppl 3: 109-115.
- BULLUCK L.R., III, BROSIUS M., EVANYLO G.K., RISTAINO J.B. 2002: Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied Soil Ecology* @19(2): 147-160.
- BULLUCK L.R., III, RISTAINO J.B. 2002: Effect of synthetic and organic soil fertility amendments on southern blight, soil microbial communities, and yield of processing tomatoes. *Phytopathology* 92 (2): 181-189.
- CARPENTER-BOGGS L., KENNEDY A.C., REGANOLD J.P. 2000: Organic and Biodynamic Management: Effects on Soil Biology. *Soil Science Society of America Journal* 64 (5): 1651.
- CASSMAN K. 1999: Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 96 (11): 5952-5959.
- CHRISPEELS M.J. 2000: Biotechnology and the Poor. *Plant Physiology* 124 (1): 3.

- CLARK M.S., HORWATH W.R., SHENNAN C., SCOW K.M. 1998: Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agronomy Journal* 90 (5): 662-671.
- COUPE R.H., MANNING M.A., FOREMAN W.T., GOOLSBY D.A., MAJEWSKI M.S. 2000: Occurrence of pesticides in rain and air in urban and agricultural areas of Mississippi, April-September 1995. *Sci Total Environ.* 248 (2-3): 227-240.
- DEFRA Department for Environment, Food and Rural Affairs 2002: Farm-Scale Evaluations of Genetically Modified Crops. <http://www.defra.gov.uk/environment/fse/index.htm>
- DE GUISE S., MARTINEAU D., BELAND P., FOURNIER M. 1998: Effects of in vitro exposure of beluga whale leukocytes to selected organochlorines. *J Toxicol Environ Health* 55 (7): 479-493.
- DELUCCHI V. 1990: Phytomedizinische Visionen. *Landwirtschaft Schweiz* 3 (9): 469-474.
- DONALD D.B., SYRGIANNIS J., HUNTER F., WEISS G. 1999: Agricultural pesticides threaten the ecological integrity of northern prairie wetlands. *Sci Total Environ.* 231(2-3): 173-181.
- DRINKWATER L., WAGONER P., SARRANTONIO M. 1998: Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature* 396: 262.
- ERA 2002: Broadbalk experiment on effects of different organic manures and inorganic fertilizers on the yield of winter wheat since 1843. The Electronic Rothamsted Archive (ERA).
http://www.era.iacr.ac.uk/broadbalk_1.html
- EURONATUR 2001: Auf dem Weg zu einer neuen Agrarpolitik in der Europäischen Union. Gemeinsame Plattform von Verbänden aus Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft, Tierschutz und Verbraucherschutz, Oktober 2001.
- EG 2001: Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. März 2001 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates. *Abl. Nr. L 106*: 1-39.
- EWG 1991: Richtlinie 91/414/EWG des Rates vom 15. Juli 1991 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. *Abl. Nr. L 230*: 1-32.
- EWG 1991: Verordnung 2092/91 des Rates vom 24. Juni 1991 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel. *Nr. L 198*: 1-56.
- FAO 2002a: Helping the Hungry to Feed Themselves: The Special Programme for Food Security (SPFS). THE WORLD FOOD SUMMIT five years later 10 -13 June 2002
<http://www.fao.org/worldfoodsummit/sideevents/papers/Y6933E.htm>.
- FAO 2002b: Fighting Hunger - The Ingredients of Success. THE WORLD FOOD SUMMIT five years later 10 -13 June 2002 Summit News,
<http://www.fao.org/WorldFoodSummit/sideevents/papers/Y6822E.htm>.
- FAO 2002c: Mobilizing the political will and resources to banish world hunger. THE WORLD FOOD SUMMIT five years later - Technical background documents.
- FAO 2002d: Mobilizing the political will and resources to banish world hunger - Mobilizing resources for agriculture in support of food security. THE WORLD FOOD SUMMIT five years later - Technical background documents - http://www.fao.org/DOCREP/004/Y1780e/y1780e07.htm#P0_0.
- FAO 2002e: New challenges to the achievement of the World Food Summit goals. THE WORLD FOOD SUMMIT five years later - Technical background documents -
http://www.fao.org/DOCREP/004/Y1780e/y1780e04.htm#P0_0.

- FAO 2002f: The right to food in theory and practice. <http://www.fao.org/docrep/w9990e/w9990e00.htm>
- FAO 2002g: THE WORLD FOOD SUMMIT five years later begins - UN Secretary-General Annan: Progress in fighting hunger far too slow. THE WORLD FOOD SUMMIT five years later 10 -13 June 2002 Summit News. <http://www.fao.org/worldfoodsummit/english/newsroom/news/6019-en.html>
- FAO 2002h: Traditional knowledge solves modern-day problems - From water management to conserving genetic resources, traditional wisdom has much to teach today's planners. THE WORLD FOOD SUMMIT five years later 10 -13 June 2002 Summit News.
<http://www.fao.org/worldfoodsummit/english/newsroom/news/6592-en.html>
- FAO 2002i: Winners and losers in low-cost technology - What makes village technical innovation work? Some surprising stories from the NGO/CSO Forum. THE WORLD FOOD SUMMIT five years later 10 -13 June 2002 Summit News.
<http://www.fao.org/worldfoodsummit/english/newsroom/news/6481-en.html>
- FAO-STAT 2002: FOODBALANCESHEET Wheat for year 2000. FAO Statistical Databases.
<http://apps.fao.org/page/collections?subset=agriculture>
- GENET 2002: Government to Support Icipe Efforts. The East African Standard, Kenya by Philip Osewe.
<http://allafrica.com/stories/200206240200.html>
- GLOTFELTY D.E., SEIBER J.N., LILJEDAHN L.A. 1987: Pesticides in fog. Nature 325 (6105): 602-605.
- GREENPEACE 2001: Recipes against hunger success stories for the future of agriculture. Greenpeace International, produced in Association with "Brot für die Welt" (p. 15ff).
- GREENPEACE 1999: Wale sind Sondermüll.
http://www.greenpeace.at/umweltwissen/chemie/dauergifte/wale_son.doc.
- GRYNKIEWICZ M., POLKOWSKA Z., GORECKI T., NAMIESNIK J. 2001: Pesticides in precipitation in the Gdansk region (Poland). Chemosphere 43 (3): 303-312.
- HÄNI F., BOLLER E., BIGLER F. 1990: Integrierte Produktion - ein ökologisch ausgerichtetes Bewirtschaftungssystem. Schw Landw Fo 29 (2/3): 101-115.
- HALL L., TOPINKA K., HUFFMAN J., DAVIS L., GOOD A. 2000: Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. Weed Science 48: 688-694.
- HAM U. 1991: Landwirtschaftliches Marketing - Grundlagen des Marketings für landwirtschaftliche Unternehmen. UTB Ulmer (p. 21ff und 168ff).
- HARRIS C.A., O'HAGAN S., MERSON G.H. 1999: Organochlorine pesticide residues in human milk in the United Kingdom 1997 - 8. Hum.Exp.Toxicol. 18 (10): 602-606.
- HEUPEL M., HEINRICHS C. 2002: Rizomania breitet sich im Rheinland aus. Pflanzenschutzdienst, Landwirtschaftskammer Rheinland.
- 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: 1-8.
- HILBECK A., MOAR W.J., PUSZTAI-CAREY M., FILIPPINI A., BIGLER F. 1998b: Toxicity of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin to the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Environmental Entomology 27 (5): 1255-1263.
- HOBALLAH M.E., TAMO C., TURLINGS T.C. 2002: Differential attractiveness of induced odors emitted by eight maize varieties for the parasitoid *Cotesia marginiventris*: is quality or quantity important? J Chem Ecol 28 (5): 951-968.

- HURLE K. 1994: Mögliche Veränderung in der landwirtschaftlichen Praxis durch die HR-Technik. Ökologische Lang-zeiteffekte der Verwilderung von Kulturpflanzen. pp. 1-91, Wissenschaftszentrum Berlin (WZB), Berlin.
- HUSKES R., LEVSEN K. 1997: Pesticides in rain. *Chemosphere* 35 (12): 3013-3024.
- IFOAM 1989: IFOAM Conference 1989 in Burkina Faso. The Ouagadougou Appeal. <http://www.ifoam.org/declarations/declarations.html>.
- ILSI 1998: An Evaluation of Insect Resistance Management in Bt field corn - A Science based framework for Risk Assessment and Risk Management. Report, ILSI - International Life Sciences Institute.
- JAYARAJ S., RABINDRA R.J. 1993: The local view on the role of plant protection in sustainable agriculture in India. *Ciba Found.Symp.* 177: 168-180.
- JOSEPHANS E. 1993: Pestizide als Ursache gesundheitlicher Störungen. In: Bödeker W and Dümmler C (Hg.) *Pestizide und Gesundheit*. pp. C.F.Müller Verlag, Karlsruhe.
- KIRNER L. 2001: Hemmnisse für die Umstellung auf biologischen Wirtschaftsweise in Österreich. Analyse einer Befragung von Betrieben mit Verzicht auf bestimmte ertragssteigernde Betriebsmittel. Bundesanstalt für Agrarökonomie Wien (p. 66ff und 124ff).
- KLÖPFER W., RENNER I., SCHMIDT E., TAPPESER B., GENSCHE C.-O., GAUGITSCH H. 2001: Methodische Weiterentwicklung der Wirkungsabschätzung in Ökobilanzen (LCA) gentechnisch veränderter Pflanzen. Umweltbundesamt Wien, Monographien Bd. 143.
- KLÖPFER W., RENNER I., TAPPESER B., ECKELKAMP C., DIETRICH R 1999: Life Cycle Assessment gentechnisch veränderter Produkte als Basis für eine umfassende Beurteilung möglicher Umweltauswirkungen. Umweltbundesamt Wien, Monographien Bd. 111.
- KLÖPFER W. 1994: Kriterien zur Umweltbewertung von Einzelstoffen und Stoffgruppen. *UWSF-Z.Umweltchem.Ökotox.* 6(2): 61-63.
- KOECHLIN F., BRUNNER T., NOWACK K., TAMM L., TAPPESER B., ECKELKAMP C., WEBER B., VOGEL B. 1999: Zukunftsmodell Schweiz – Eine Landwirtschaft ohne Gentechnik? Hrsg.: Blauen-Institut
- KRATOCHVIL R., PLAKOLM G. 2002: Leistungen des Biologischen Landbaus für den Grundwasserschutz. *Ländlicher Raum* 3: 3-17.
- KRUSE H. 2002: Telefon Interview 24.06.2002. Professor für Toxikologie, Universität Kiel.
- LINDENTHAL T., BARTEL A., DARNHOFER I., EDER M., FREYER B., HADATSCH S., MILESTAD R., MUHAR A., PAYER A., PENKER M., RÜTZLER H., SCHNEEBERGER W., VELMIROV A., WALZER A. 2002: Flächendeckende Umstellung auf biologischen Landbau: Integrative Wirkungsanalyse anhand ausgewählter Beispielregionen. Projektendbericht, Forschungsprogramm Kulturlandschaft II, im Auftrag von Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (BMBWK), Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie nun Teil des BM f. Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW).
- LINDENTHAL T., VOGL C.R., HEß J. 1996: Forschung im Ökologischen Landbau Integrale Schwerpunktthemen und Methodikkriterien. Förderungsdienst Sonderausgabe 2c/1996, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (BMLF).
- LOSEY J.E., RAYOR L.S., CARTER M.E. 1999: Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399: 214.

- MAEDER P., FLIESSBACH A., DUBOIS D., GUNST L., FRIED P., NIGGLI U. 2002a: Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* 296 (5573): 1694-1697.
- MAEDER P., FLIESSBACH A., DUBOIS D., GUNST L., FRIED P., NIGGLI U. 2002b: *Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming* - Supporting Online Material Mäder et al., 1071148. *Science* 296 (5573): 1694-1697.
- MAJEWSKI M.S., FOREMAN W.T., GOOLSBY D.A. 2000: Pesticides in the atmosphere of the Mississippi River Valley, part I-- rain. *Sci Total Environ.* 248 (2-3): 201-212.
- METZ R. 2002: Zähneputzen statt Löcher plombieren. Die Ursachen von Schaderregern nachhaltig beseitigen. *Neue Landwirtschaft* (6): 40-42.
- MOSSNER S., BALLSCHMITER K. 1997: Marine mammals as global pollution indicators for organochlorines. *Chemosphere* 34 (5-7): 1285-1296.
- MÜLLER W. 2001: Uncertainty - vorsorgeorientierte Risikoabschätzung von GVO - Vorarbeiten zur Implementierung des Konzepts "uncertainty" in die EU-Richtlinie 90/220/EWG. *Wissenschaft & Umwelt Spezial, Forum Österreichischer Wissenschaftler für Umweltschutz* - Wien, Gefördert durch das Bundesministerium f. Umwelt, Jugend und Familie.
- NEURURER H., WOMASTEK R. 1991: Über das Auftreten von Pflanzenschutzmitteln in der Luft. *Bodenkultur* 42 (1): 57-70.
- NEURURER H., WOMASTEK R. 1992: Mögliche Umweltbelastung durch Abdrift oder Verdunstung von Pflanzenschutzmitteln. In: *Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft B-D (Hg.) 48. Deutsche Pflanzenschutz-Tagung in Göttingen 5.-8. Oktober 1992.* pp. 123.
- NIEMANN H. 1998: Begleitpflanzen im ökologischen Getreidebau – Regulieren oder Kultivieren. *Ökologische Konzepte* 93 Deukalion Verlag.
- NOREN K., MEIRONYTE D. 2000: Certain organochlorine and organobromine contaminants in Swedish human milk in perspective of past 20-30 years. *Chemosphere* 40 (9-11): 1111-1123.
- ODUM P. (1991) *Prinzipien der Ökologie. Spektrum der Wissenschaft*, Akademischer Verlag.
- OTT M., FAILING K., LANG U., SCHUBRING C., GENT H.J., GEORGII S., BRUNN H. 1999: Contamination of human milk in Middle Hesse, Germany--a cross-sectional study on the changing levels of chlorinated pesticides, PCB congeners and recent levels of nitro musks. *Chemosphere* 38 (1): 13-32.
- PAL M. 1993: Agriculture in Gloria Land. *Ciba Found.Symp.* 177: 158-160.
- PARROTT N., MARDSEN T. 2002: *The Real Green Revolution - Organic and agroecological farming in the South.* Department of City and Regional Planning, Cardiff University. Published by Greenpeace Environmental Trust, Canonbury Villas, London N1 2PN, United Kingdom.
- PIRKLHUBER W., GRÜNDLINGER C. 1993: *Der Biologische Landbau in Österreich.* Umweltbundesamt (UBA) Wien.
- PLIMMER J.R. 1990: Pesticide loss to the atmosphere. *Am.J Ind.Med.* 18 (4): 461-466.
- POITRAST B.J., KELLER W.C., ELVES R.G. 1988: Estimation of chemical hazards in breast milk. *Aviat.Space Environ.Med.* 59 (11 Pt 2): A87-A92.
- PRETTY J., HIME R., WEID J. 2002: *Alternative Models (or Approaches) to Food Production.* NGO/CSO FORUM for Food sovereignty Civil Society Input/Case Studies by Jean Marc von der Weid - AS-PTA, Brazil, Jules Pretty and Rachel Hime, University of Essex, UK.
<http://www.forumfoodsovereignty.org/>.

- PRZYREMBEL H., HEINRICH-HIRSCH B., VIETH B. 2000: Exposition to and health effects of residues in human milk. *Adv.Exp.Med.Biol* 478: 307-325.
- RANGARAJAN S., SALEENA L.M., NAIR S. 2002: Diversity of *Pseudomonas* spp. Isolated from Rice Rhizosphere Populations Grown along a Salinity Gradient. *Microb.Ecol.* 43 (2): 280-290.
- RASMUSSEN P.; GOULDING K.; BROWN J.; GRACE P.; JANZEN H., KÖRSCHENS M. 1998: Long-Term Agroecosystem Experiments: Assessing Agricultural Sustainability and Global Change. *Science*, 282: 893-896
- REISCH E., ZEDDIES J. 1992: Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre Spezieller Teil. 3. Auflage UTB für Wissenschaft Ulmer Verlag (p. 176ff und 186ff).
- RHYMER J. M. & SIMBERLOFF D. 1996: Extinction by Hybridization and Introgression. *Annu.Rev.Ecol.Syst.*, 27(1): 83-109.
- SAHS W.W., LESOING G. 1985: Crop rotations and manure versus agricultural chemicals in dryland grain production. *Journal of Soil and Water Conservation* 40 (6): 511-516.
- SASCHENBRECKER P.W. 1973: Levels of DDT and PCB compounds in North Atlantic fin-back whales. *Can J Comp Med Vet Sci* 37 (2): 203-206.
- SCHREIBER J.S. 2001: Parents worried about breast milk contamination. What is best for baby? *Pediatr.Clin.North Am.* 48 (5): 1113-27, viii.
- SEN A. 1996: Lebensstandard und Lebenserwartung. *Spektrum der Wissenschaft Dossier 3 Welt*: 74-81.
- SMITH D. 1999: Worldwide trends in DDT levels in human breast milk. *Int.J Epidemiol.* 28 (2): 179-188.
- SOCOLOW R.H. 1999: Nitrogen management and the future of food: Lessons from the management of energy and carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.* 96 (11): 6001.
- SPEIGHT M.R. (1983) The potential of ecosystem management for pest control. *Agriculture, ecosystems and environment* 10: 183-199.
- STEINHAUSER H., LANGBEHN C., PETERS U. 1992: Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre Allgemeiner Teil. 5. Auflage UTB für Wissenschaft Ulmer Verlag (p. 153ff).
- TILBURY K.L., ADAMS N.G., KRONE C.A., MEADOR J.P., EARLY G., VARANASI U. 1999: Organochlorines in stranded pilot whales (*Globicephala melaena*) from the coast of Massachusetts. *Arch Environ Contam Toxicol* 37 (1): 125-134.
- TILMAN D., CASSMAN K., MATSON P., NYLOR R., POLASKY S. (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- TORGERSEN H. 1996: Ökologische Effekte von Nutzpflanzen – Grundlage für die Beurteilung transgener Pflanzen. Umweltbundesamt Wien, Monographien Bd. 74.
- TREWAVAS A.J. 2001a: Urban myths of organic farming. *Nature* 410 (6827): 409-410.
- TREWAVAS A.J. 2001b: The Population/Biodiversity Paradox. *Agricultural Efficiency to Save Wilderness.* *Plant Physiology* 125 (1): 174.
- USDA 1999: Response to Monsanto Petition 98-216-01p for Determination of Nonregulated Status for Glyphosate-Tolerant Canola Line RT73 Environmental Assessment and Finding of No Significant Impact
- US EPA 1999: Proceedings of EPA/USDA Workshop (June 18, 1999) on Bt Crop Resistance Management. US Environmental Protection Agency (EPA).
<http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/otherdocs/btcornproceedings.htm>.

- WAGNER P. 2000: Marketing in der Agrar- und Ernährungswirtschaft. Bill/Resolution, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart (p.30ff).
- WOLFE M.S. 1991: Phytomedizinische Visionen Teil 2 oder: Sind für unsere Landwirtschaft einfache Lösungen nicht mehr möglich oder sinnvoll? Landwirtschaft Schweiz 4 (12): 687-693.
- WOLFE M.S. 2000: Crop strength through diversity. Nature 406 (6797): 681-682.
- ZHU Y., CHEN H., FAN J., WANG Y., LI Y., CHEN J., FAN J., YANG S., HU L., LEUNG H., MEW T.W., TENG P.S., WANG Z., MUNDT C.C. 2000: Genetic diversity and disease control in rice. Nature 406 (6797): 718-722.
- ZINGEL W. 1998: INDIEN - Wirtschaft. Südasien-Institut der Universität Heidelberg, Abt. Internationale Wirtschafts- und Entwicklungspolitik <http://www.sai.uni-heidelberg.de/intwep/zingel/india-wi.htm>

11 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BNYVV	b eet n ecrotic y ellow v ein v irus (Aderngelbfleckigkeitsvirus)
Bt	B acillus t huringiensis
ca	c irca
d.h.	d as h eißt
EU	E uropäische U nion
GVO	g entechnisch v eränderte O rganismen
GVP	g entechnisch v eränderte P flanzen
HR	h erbizidresistent
IP	i ntegrierte P roduktion
ISO	i nternational S tandard O rganisation
LCA	L ife C ycle A ssessment (Ökobilanz)
LD50	L ethal D ose F ifty (50 % der Versuchsorganismen sterben innerhalb eines bestimmten Zeitpunktes)
LMO	L iving m odified o rganism
N	S tickstoff
p.M.	p ersönliche M itteilung
PSM	P flanzenschutzmittel
SCP	S cientific C ommittee on P lants
subsp.	S ubspezies
Tab.	T abelle
v.a.	v or a llem
z.B.	z um B eispiel