

**Bedeutung
gentechnisch veränderter Krankheits- und schädlingsre-
sistenter Kulturpflanzen für Pflanzenbau
und Pflanzenzüchtung**

Katrin Carrel, Jürg E. Schmid, Peter Stamp

Institut für Pflanzenwissenschaften
Bereich Ackerbau / Pflanzenzüchtung
ETH Zürich

September 1995

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1. Einfluss der Gentechnologie auf die Produktequalität
 - 1.1 Einleitung
 - 1.2 Der Qualitätsbegriff
 - 1.2.1 Der Qualitätsbegriff in den verschiedenen Anbausystemen
 - 1.2.2 Der Qualitätsbegriff in verschiedenen Kulturarten
 - 1.3 Klassische Züchtungsmethoden und ihr Einfluss auf die Produktequalität
 - 1.4 Gentechnologische Züchtungsmethoden und mögliche Einflüsse auf die Produktequalität
 - 1.4.1 Direkte Einflüsse
 - 1.4.2 Indirekte Einflüsse
 - 1.5 Zusammenfassende Bemerkungen zur Produktequalität
 - 1.6 Literatur
2. Pflanzenzüchtung: Auswirkungen der Gentechnologie auf Züchtungspraxis, genetische Ressourcen und Biodiversität der Kulturarten
 - 2.1 Einleitung
 - 2.2. Der Begriff "Biodiversität"
 - 2.3 Klassische Züchtung und genetische Vielfalt
 - 2.3.1 Ziele und prinzipielles Vorgehen in der klassischen Pflanzenzüchtung
 - 2.3.2 Erhaltung der genetischen Vielfalt im Interesse der Pflanzenzüchtung
 - 2.4 Pflanzenzüchtung im Umfeld der Gentechnologie
 - 2.4.1 Neue Möglichkeiten in der Pflanzenzüchtung durch Gentechnologie
 - 2.4.2 Szenarien für eine Pflanzenzüchtung im Umfeld von Bio- und Gentechnologie
 - 2.4.3 Könnte die Gentechnologie einen Beitrag zur Erhaltung und Schonung der genetischen Vielfalt leisten?
 - 2.5 Zusammenfassende Bemerkungen
 - 2.6 Literatur
3. Auswirkungen der Gentechnologie auf die landwirtschaftliche Anbaupraxis
 - 3.1 Einleitung
 - 3.2. Die phytomedizinischen Situation in der Schweiz, die aktuelle Anbaupraxis und mögliche Auswirkungen transgener Resistenzen in den einzelnen Kulturen
 - 3.2.1 Rapsanbau und Fruchtfolge
 - 3.2.2 Maisanbau und Fruchtfolge
 - 3.2.3 Zuckerrübenanbau und Fruchtfolge
 - 3.2.4 Kartoffelanbau und Fruchtfolge
 - 3.2.5 Weizenanbau und Fruchtfolge
 - 3.3 Zusammenfassende Bemerkungen
 - 3.4. Literatur

Vorwort

Die vorliegende Fachstudie wurde im Auftrag der Fachstelle für Biosicherheitsforschung und Abschätzung von Technikfolgen des Schwerpunktprogrammes Biotechnologie (BATS) erstellt. Der Schwerpunkt dieser Arbeit war es, die Technikfolgen des Einsatzes gentechnisch veränderter krankheits- und schädlingsresistenter Kulturpflanzen abzuschätzen.

Die untersuchten Kulturarten waren Weizen, Kartoffeln, Raps, Zuckerrüben und Mais. Der Einfluss transgener Resistenzen in diesen Kulturarten sollte für verschiedene Anbausysteme abgeschätzt werden. Bei den drei Systemen handelt es sich um

- a) die momentane landwirtschaftliche Praxis; Pflanzenschutz im konventionellen Landbau, inklusive dem Subsystem der Integrierten Produktion
- b) ein System das gentechnologisch erzeugte Resistenzen nutzt; Pflanzenschutz wie im konventionellen Landbau mit Hilfe der Züchtung gentechnisch veränderter krankheitsresistenter Nutzpflanzen
- c) das Landbausystem des Biolandbaus; Pflanzenschutz nach den Richtlinien des VSBLO (Vereinigung Schweizerischer Biologischer Landbau-Organisationen)

Die Leitlinie des Systems A orientiert sich am bisherigen Oberziel der Agrarpolitik (Sicherung der Nahrungsmittelversorgung durch qualitativ hochwertige, gesunde und preiswerte Nahrungsmittel). Diese bestimmt die Pflanzenschutzstrategie in der Praxis, die den Einsatz aller Kulturmassnahmen zur Verminderung des Auftretens von Schädlingen und Krankheiten umfasst. Der Leitgedanke eine umweltverträglichen Pflanzenschutzes findet dabei zunehmend stärkere Berücksichtigung. Natürliche Regulationsmechanismen sind nach dem Leitbild der Integrierten Produktion zu fördern. Der Pflanzenschutz findet wird in Form chemischer Mittel, die von ergänzenden Massnahmen wie Fruchtfolge und Sortenwahl flankiert werden. Die dabei angebauten Sorten sind Ertragssorten mit guten Qualitäts- und Resistenzeigenschaften, jedoch keine transgenen Sorten.

Die Leitlinie des Anbausystems B richtet sich nach der Neuorientierung in der Agrarpolitik hin zu einer stärkeren Förderung umweltschonender Bewirtschaftungsformen und lässt eine Berücksichtigung transgener krankheitsresistenter Kulturpflanzen zur Verminderung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes sinnvoll erscheinen. Schwerpunkt der Strategie im Pflanzenschutz liegt in der Stärkung der pflanzeigenen Abwehr von Schaderregern. Begleitende Massnahmen wie chemischer und biologischer Pflanzenschutz, Fruchtfolge, Sortenwahl und Schadschwellen werden in Abhängigkeit vom Ausmass der integrierten Resistenzen eingesetzt. Gentechnisch erzeugte Krankheitsresistenz ist nach den Richtlinien zur Integrierten Produktion nicht explizit ausgeschlossen. Bei den angebauten Sorten kann es sich sowohl um transgene als auch konventionell gezüchtete Sorten handeln.

Die Leitlinie im Biolandbau (System C) orientiert sich an der Förderung der Gesundheit der Kulturpflanzendurch vorbeugende Massnahmen wie die Wahl klimatisch angepasster Sorten und Arten, einer harmonischen Düngung und geeigneter Anbau- und Pflegemassnahmen. Der Pflanzenschutz verzichtet auf chemisch-synthetische und "gentechnisch hergestellte" Pflanzenschutzmittel; stattdessen werden "Pflanzenpflege- und -behandlungsmittel" in Verbindung mit einer mechanischen und biotechnischen Regulierung von Schadorganismen eingesetzt. Bei der Sortenwahl wird standortangepassten Sorten

mit guten Qualitäts- und Resistenzeigenschaften den Vorzug gegeben. Züchterisches Ausgangsmaterial ist das konventionelle Sortenspektrum. Transgene Sorten werden nicht angebaut.

Innerhalb dieser Kulturarten und der vorgegebenen Anbausysteme sollen nun verschiedene Fragestellungen mit drei Schwerpunkten diskutiert werden. Das erste Kapitel dieser Studie behandelt Aspekte, die mit möglichen Einflüssen auf die Produktequalität transgener Kulturpflanzen zusammenhängen. In einem zweiten Kapitel sollen die Auswirkungen transgener krankheits- und schädlingsresistenter Kultursorten auf den Bereich der Pflanzenzüchtung und der genetischen Vielfalt innerhalb der Kulturarten diskutiert werden. Im dritten und letzten Kapitel soll abgeschätzt werden, in welcher Art und Weise transgene Resistenzen die schweizerische Anbaupraxis und Fruchtfolgegestaltung beeinflussen würden.

1. Einfluss der Gentechnologie auf die Produktequalität

1.1 Einleitung

In diesem Kapitel soll hauptsächlich der Frage nachgegangen werden, ob die gentechnische Herstellung von krankheits- und schädlingsresistenten Kulturpflanzen im Vergleich zur klassischen Pflanzenzüchtung zusätzliche Risiken einer Qualitätsverschlechterung mit sich bringt.

Um diese komplexe Fragestellung zu durchleuchten, ist es zunächst notwendig ein fundiertes Verständnis des diffusen Begriffes "Produktequalität" zu haben. Der korrekten Definition dieses Begriffes soll deshalb in einem ersten Teil nachgegangen werden. Anschliessend wollen wir kurz die Frage erläutern, inwiefern die Produktequalität im Verlaufe eines konventionellen Zuchtprogramms ohne Gentechnologie beeinträchtigt werden kann. Schliesslich soll im Hauptteil dieses Kapitels diskutiert werden, ob gentechnologische Methoden eine zusätzliche Gefahr einer verschlechterten Produktequalität in sich birgt oder allenfalls in sich bergen könnte.

Es sei hier bereits vorausgeschickt, dass im Bereich krankheits- und schädlingsresistenter transgener Kulturpflanzen kaum spezifische Untersuchungen gemacht wurden, um den Einfluss der Gentechnologie auf die Produktequalität abzuschätzen. Viele Effekte sind theoretisch möglich und bedürfen weiterer Abklärung.

1.2 Der Qualitätsbegriff

1.2.1 Der Qualitätsbegriff in den verschiedenen Anbausystemen

Die allgemeine Qualitätsdefinition

Im konventionellen Landbau beschränkte sich die Beurteilung der Qualität lange Zeit auf drei allgemeine Teilaspekte, die in der Regel mit definierten Analysemethoden am Ausgangs- oder Endprodukt erfasst werden können: die ernährungsphysiologische Qualität, die technologische Qualität und die äussere Qualität (FEIL und STAMP, 1993).

Die ernährungsphysiologische Qualität wird mit den Parametern Inhaltsstoffe, Zusammensetzung und Verdaulichkeit beschrieben (FEIL und STAMP, 1993). Dabei unterscheidet man wertgebende Inhaltsstoffe einerseits und wertmindernde Inhaltsstoffe andererseits. Zu den wertmindernden Inhaltsstoffen gehören Substanzen, die durch die Pflanzen selber gebildet werden (z.B. Nitrat, Phytat), und Substanzen, die durch die Eingriffe des Menschen zustande kommen (z.B. Pestizidrückstände) (VOGTMANN, 1988).

Die technologische Qualität beschreibt, wie gut sich ein pflanzlicher Rohstoff dazu eignet, effizient zu definierten Produkten verarbeitet zu werden. Als Beispiel nennen FEIL und STAMP (1993) die Extraktion von Saccharose aus Zuckerrüben oder das Brotbacken mit Weizenmehl. Zur technologischen Qualität wird auch die Lagerungseignung gezählt (VOGTMANN, 1988).

Die äussere Qualität beinhaltet ästhetische Gesichtspunkte, einschliesslich aller sensorischen Eindrücke. Sowohl visuelle und olfaktorische als auch geschmackliche Wahrnehmung beeinflussen den Konsumenten zunehmend bei der Wahl eines Produkts. Solche äusseren Qualitätsaspekte spielen besonders bei Kartoffeln, Obst und Gemüse eine wichtige Rolle.

Schliesslich ist die Nutzungsart einer Kulturpflanze von entscheidender Bedeutung für die Anforderung an deren Qualitätseigenschaften. Ein Beispiel stellen die unterschiedlichen Forderungen an die Knollengrösse der Kartoffel dar; je nach dem, ob die Knollen zu Speisezwecken oder als Saatgut verwendet werden, ändern sich die Ziele bezüglich ihrer Grösse. Saatgutkartoffeln sollen wesentlich kleiner sein als Speisekartoffeln.

Erweiterter Qualitätsbegriff im Biolandbau und in der Integrierten Produktion

Angeregt durch das gesteigerte Umweltbewusstsein der Bevölkerung gewann ein vierter Aspekt der Produktequalität an Bedeutung: die ökologische Qualität d.h. der Aspekt einer umweltfreundlichen Produktion (FEIL und STAMP, 1993; VOGTMANN, 1988). Man könnte hier vom umfassenderen Begriff der "Produktionsqualität" an Stelle der Produktequalität sprechen (SCHMID, 1993). Dieser Qualitätsaspekt spielt in der Integrierten Produktion und im Biolandbau eine zentrale Rolle; wobei die integrierte Produktion vom ökologischen Gedankengut des Biolandbaus profitieren und lernen konnte (VEZ, 1994). Obwohl beide Produktionsrichtungen die ökologische Qualität in ihre Produktionsweise ein-

beziehen und dadurch auch einige Gemeinsamkeiten aufweisen, sind sie in ihrer Anbau-praxis und "Produktionsphilosophie" recht verschieden.

Im Gegensatz zur Integrierten Produktion verzichtet der Biolandbau auf die Anwendung leicht löslicher mineralischer Dünger. Ausserdem sind zur direkten Bekämpfung phytomedizinischer Probleme nur Produkte natürlicher Herkunft zugelassen (VEZ, 1994). Im Bereich der Definition der Produktequalität gibt es jedoch wichtige Eigenarten des Bio-landbaus, die nur über die philosophischen Hintergründe und des sich daraus ableitenden Menschenbildes und des Verständnisses von Leben verstehen lässt (MEIER-PLOEGER, 1995).

"Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile", ist ein vielzitatierter Satz, wenn es um alternative Definitionen und Analysemethoden für die Produktequalität geht (MEIER-PLOEGER, 1995; VOGTMANN, 1988). Damit soll gesagt werden, dass die herkömmlichen chemisch-analytische Methoden nicht ausreichen, um die Qualität eines Lebensmittels zu erfassen. Deshalb sucht der biologische Landbau nach ergänzenden Methoden, um die Dynamik und die Ordnung zu erfassen, die die "Lebendigkeit" eines Lebensmittels ausmachen (HOFFMANN, 1995). Momentan werden eine Reihe von alternativen Analysemethoden in Ergänzung zu herkömmlichen chemisch-analytischen Methoden angewendet (SCHMIDT, 1995). Hierzu zählen die sogenannten bildschaffenden Methoden wie die Kupferchloridkristallisation (HAHN, 1962), die Steigbildmethode nach WALA (FYFE, 1978) und das Rundfilterchromatogramm nach PFEIFFER (BALZER-GRAF, 1995) und bio-elektornische Methoden, die aus pH-Wert, Redoxpotential und elektrischem Widerstand von Lebensmitteln in wässrigen Lösungen einen sogenannten R-Wert ermitteln (HOFFMANN, 1995).

VOGTMANN (1988) hinterfragt bezüglich dieser alternativen Methoden kritisch, ob nicht zwar umfassendere, aber dennoch eben nur Teilaspekte der gesamten Lebensmittelqualität mit diesen Methoden erfasst werden können.

VEZ (1994) weist darauf hin, dass sich einige Prinzipien des biologischen Landbaus dem rationellen Verständnis entziehen und, wie auch MEIER-PLOEGER (1995) festhält, nur einsehbar sind, wenn man den philosophischen Hintergrund und das Lebensverständnis berücksichtigt, das hinter der Definition der Produktions- und Produktequalität steht.

Folgerungen für den biologischen Landbau

In Anbetracht des Zusammenhanges von Produktionssystem und philosophisch-ethischen Wertvorstellungen ist zu erwarten, dass Biobauern in Zukunft eher keine gentechnologischen Pflanzensorten anbauen werden. Dementsprechend äussern sich auch die Autoren in Zeitschriften des biologischen Landbaus (THEN, 1993; SIEFERT, 1993; SONDHOF, 1993). Da der Biolandbau die Ursache von Krankheits- und Schädlingsepidemien bekämpfen will und nicht deren Symptome, äussern sich Vertreter dieser Landbaurichtung kritisch gegenüber der Bio- und Gentechnologie, die letztlich zum Zweck hat, "den Menschen genetisch an eine zerstörte Umwelt anzupassen statt die Umwelt zu retten" (ALTNER, 1992). SCHÜLER (1992) schreibt in einem Artikel zum Thema, ob Gentechnik sich mit ökologischem Landbau verträgt: "Auch in bezug auf die Resistenz gegenüber Krankheiten und Schädlingen und die Verbesserung der Nährstoffaneignung wird die Gentechnik für ein falsches Herangehen an agrarökologische Probleme gehalten. Der ökologische Landbau ist

auf die Produkte dieser Technik nicht angewiesen.". Nicht zuletzt sehen einige Vertreter des Biolandbaus in der Anwendung von Gentechnologie eine Einmischung in die Schöpfungsordnung (ALTNER, 1992; PREUSCHEN, 1992).

1.2.2 Der Qualitätsbegriff in verschiedenen Kulturarten

Einfache oder komplexe Qualitätskriterien?

Der Begriff "Produktequalität" beinhaltet auch zwischen und innerhalb der einzelnen Kulturarten sehr unterschiedliche Faktoren. Die Qualität einer Rapsorte wird anhand ganz anderer Merkmale bestimmt als die Qualität einer Kartoffelsorte. Die Qualität von Raps wird anhand des einfachen Kriteriums des Fettsäuremusters des Öls beurteilt; hingegen spielen bei der Qualitätsbeurteilung von Kartoffeln sehr viele komplexe Kriterien, wie z.B. Knollenform oder der Zusammensetzung des Proteins, eine wichtige Rolle. Besonders dann, wenn die Qualität eines Produkts von verschiedenen Kriterien bestimmt wird, ist es möglich, dass diese sogar in Konkurrenz zueinander stehen; in der Weizenzüchtung sind z.B. die beiden Hauptzuchtziele "hoher Ertrag" und "Krankheitsresistenz" negativ miteinander korreliert d.h. eine gute Resistenz geht auf Kosten des Ertrags, weil die Pflanze mehr Energie in Mechanismen und Strukturen investiert, die sie resistent macht (ORTELLI, 1994). Schliesslich kann die gleiche Kulturart unterschiedlich genutzt werden; in Abhängigkeit davon können sich auch die Qualitätskriterien verändern. Wenn Rapsöl für Speisezwecke verwendet werden soll, beeinträchtigt ein hoher Erucasäure-Anteil die ernährungsphysiologische Qualität; wird das Öl hingegen für technische Zwecke verwendet, sind Erucasäuren für bestimmte Verwendungen erwünscht (FEIL und STAMP, 1993).

Nachfolgend sollen die wichtigsten Qualitätsmerkmale der in dieser Studie berücksichtigten Kulturarten besprochen werden. Dabei gehen wir nur auf die drei allgemeinen Aspekte der Produktequalität, nicht aber spezifisch auf die ökologische Qualität der einzelnen Arten ein, da diese durch die Art der Bodennutzungssysteme und der Weiterverarbeitung vorrangig bestimmt werden. Natürlich sind Krankheits- und Schädlingsresistenzen, abiotische Resistenzen, effiziente Nährstoffausnutzung und hohe Konkurrenzkraft gegen Beikräuter wesentliche Voraussetzungen zur Gewährleistung einer hohen ökologischen Qualität. Jedoch tragen in Abhängigkeit vom Standort viele weitere agronomische Eigenschaften wie Dichtestandstoleranz und Reifetermin zu Gestaltungsmöglichkeiten von umweltschonenden Bodennutzungssystemen bei.

Raps

Raps soll als Hauptprodukt Öl mit genau definierter Fettsäurezusammensetzung liefern. Daneben wird seine Qualität noch vom im Rapsschrot enthaltenen Protein bestimmt.

Das Hauptziel der Rapszüchtung liegt in der Steigerung der Samenertragsleistung und des Öl- und Proteingehalts (HOFFMANN et al., 1985). Nachdem in Fütterungsversuchen mit Ratten gezeigt worden war, dass Erucasäuren, welche bis dahin etwa 50% der im Öl vorhandenen Fettsäuren ausmachten, verminderte Futteraufnahme, gehemmtes Wachstum und histopathologische Veränderungen in verschiedenen Organen verursachten, wurden in den letzten zwanzig Jahren sogenannte erucasäurefreie "0"-Sorten entwickelt. Mit dem Wegfall der Erucasäure hat sich der relative Anteil der verbliebenen Fettsäuren dergestalt verändert, dass nunmehr ein ernährungsphysiologisch hochwertiges Öl erzeugt wird. Zugleich wurden Sorten mit hohem Erucasäuregehalt weiterentwickelt, die für technische

Zwecke verwendet wurden (Herstellung von Schmiermitteln, Plastik und Parfums) (FEIL und STAMP, 1993).

Das nach der Ölextraktion anfallende Rapsschrot enthält etwa 40% Protein, das ernährungsphysiologisch von guter Qualität ist. Dieses Schrot wies jedoch zuvor einen unerwünscht hohen Gehalt an Glucosinolaten von bis zu 3% in der Trockensubstanz auf, welche bei monogastrischen Lebewesen toxisch wirken, vor allem Schilddrüsenstörungen hervorrufen könnten und damit die eine schlechte Futterausnutzung und gesundheitliche Schäden zur Folge haben. Daher hat man sogenannte "00"-Sorten mit extrem niedrigem Glucosinolatgehalt selektioniert (HOFFMANN et al., 1985). Dieses neue, nicht mehr toxische Rapsmehl könnte prinzipiell auch als Rohstoff für die Herstellung proteinreicher Nahrungsmittel in der menschlichen Ernährung genutzt werden, da das Protein eine vergleichbar hohe biologische Wertigkeit besitzt wie das Sojaprotein (FEIL und STAMP, 1993). Diese Entwicklungen sind äusserst bemerkenswert, da durch konventionelle Züchtung unter Nutzung natürlicher Mutanten aus einer unbedeutenden Kulturart mit ernährungsphysiologisch minderwertigen Produkten eine neue Kulturart mit hoher Akzeptanz entstanden ist.

Zuckerrübe

Zuckerrüben werden einzig für die Produktion von Saccharose angebaut. Dementsprechend weist eine Rübensorte mit einfacher Verarbeitbarkeit und hohem ausbeutbarem Zuckerertrag die beste technologische Qualität auf. Da Ertrag und Zuckergehalt der Rüben jedoch negativ miteinander korreliert sind, muss die Züchtung ein Optimum zwischen diesen beiden Parametern anstreben. Als Merkmale für einen hohen Zuckergehalt, werden der Kalium-Gehalt, der Gehalt an Natrium-Ionen und schliesslich der Anteil von α -Aminostickstoff an den Aminosäuren und Amiden bestimmt (HOFFMANN et al., 1985).

Mais

Mais wird in den Industrieländern vorwiegend als Futtermittel genutzt. In der Maiszüchtung mit den Hauptzuchtzielen Korn- bzw. Gesamtpflanzenertrag in der Regel auch eine hohe Ausprägung der ernährungsphysiologischen Qualitätskomponente eines hohen Energiegehaltes und einer hohen Verdaulichkeit erreicht (BECKER, 1993; HOFFMANN et al., 1985). Weitere ernährungsphysiologische Qualitätskomponenten sind häufig ungenügend.

Das Maiskorn ist im mengenmässigen Eiweissgehalt niedrig; das Eiweiss weist zudem eine geringe Qualität auf. Ausserdem liegt der Vitamingehalt tief. Das Eiweiss des Korns besteht vor allem aus Zein, das wenig Lysin und Tryptophan enthält. Es wurden Zuchtprogramme aufgenommen, die eine Erhöhung des Lysin- und Tryptophangehalts zum Ziel hatten. Dabei wurden Mutanten entdeckt (opaque 2 und floury 2), die den Lysin- und Tryptophangehalt erhöhen. Leider ist die Einkreuzung der betreffenden Gene mit wesentlichen Nachteilen gekoppelt: weiches Endosperm, Probleme beim Drusch und bei der Lagerung, grössere Anfälligkeit gegenüber Kolbenfäule. In Westeuropa wiesen Opaque 2-Hybriden einen geringeren Ertrag und schlechtere Ausreife auf (HOFFMANN et al., 1985).

Der Ölgehalt ist in der Schweinefütterung wichtig, wenn der Mais nass vermahlen wird. In Westeuropa ist die Ölmenge als Zuchtziel von sehr geringer Bedeutung (HOFFMANN et al., 1985). Öl- und Stärkegehalt sind positiv miteinander korreliert (DORSEY-REDDING et al., 1991).

Die Nutzungsart bestimmt schliesslich die Anforderungen, die an den Kohlehydrat- und Eiweissgehalt und deren Zusammensetzung gestellt werden. Eine allgemeine Erhöhung des Eiweissgehaltes geht beispielsweise bei Silo- und bei Körnermais zu Lasten des Energiegehaltes und ist damit nur dann sinnvoll, wenn in der Verfütterung keine Eiweissegänzung bevorzugt wird. Für die industrielle Nutzung ist besonders die Zusammensetzung der Stärke bzw. das Verhältnis von Amylose zu Amylopektin wichtig. Im Zuckermais konnte der Anteil des Zuckers an den Kohlenhydraten züchterisch um das zehnfache gesteigert werden, indem Gene eingekreuzt wurden, die eine Umwandlung von Zucker in Stärke verhindern (HOFFMANN et al., 1985).

Weizen

Bezüglich seiner ernährungsphysiologischen Qualität ist Weizen vor allem als Lieferant von leicht verdaulicher Energie sehr gut zu bewerten. Er enthält etwa 64% Stärke, die etwa zu einem Viertel aus Amylose und zu drei Vierteln aus Amylopektin besteht. Durch seinen Proteingehalt von 7-20% ist Weizen zudem eine wichtige Proteinquelle für die menschliche Ernährung. Das Protein setzt sich aus den ernährungsphysiologisch günstig zusammengesetzten Albuminen und Globulinen, die vorwiegend aus der Aleuronschicht stammen, und aus den mengenmässig bedeutsameren Prolaminen (= Gliadine) und Gluteninen, die im Endosperm gespeichert werden, zusammen. Die Aminosäurezusammensetzung des Endosperm-Proteins hat daher einen entscheidenden Einfluss auf die ernährungsphysiologische Qualität des Weizens. Die limitierenden Aminosäuren sind dabei Lysin, Threonin und Valin. Mit zunehmendem Proteingehalt nimmt der Gehalt an Prolaminen zu, was wiederum die ernährungsphysiologische Qualität vermindert, da Prolamine eine tiefe Lysin-Konzentration aufweisen. Für die ernährungsphysiologische Qualität ist ausserdem der Vitamin- und Mineralstoffgehalt von Bedeutung. Dabei wird Phosphor überwiegend in Form von wenig verdaulichen Phytaten gespeichert, die zudem als wertvermindernde Substanzen gelten, weil sie die biologische Verfügbarkeit von Kupfer, Zink, Kalzium und Eisen herabsetzen (FEIL und STAMP, 1993).

Für den Brotweizen steht jedoch die Backfähigkeit und somit eine technologische Qualität im Vordergrund. Da für diese Eigenschaft der Gehalt und die Zusammensetzung von Gluteninen und Glutenin-Untereinheiten von entscheidender Bedeutung ist, wurden bislang ernährungsphysiologische Qualitätskomponenten in Züchtung und Anbau nicht berücksichtigt.

Kartoffeln

In der Kartoffelzüchtung sind die Qualitätseigenschaften mindestens so wichtig wie der Ertrag (BECKER, 1993). Die Qualität von Kartoffeln wird von sehr komplexen Parametern

bestimmt, da ernährungsphysiologische, äussere, und technologische Aspekte eine wichtige und zudem - je nach Verwendungszweck - unterschiedliche Rolle spielen.

Die ernährungsphysiologische Qualität der Kartoffel steht in engem Zusammenhang mit der Zusammensetzung der Knollen, ihrer Verdaulichkeit und dem biologischen Wert der einzelnen Komponenten.

Das Kartoffel-Protein enthält relativ viele essentielle Aminosäuren, besitzt also eine hohe biologische Wertigkeit. Der ernährungsphysiologische Wert der Kartoffel könnte deshalb durch eine Steigerung des Eiweissgehaltes wesentlich verbessert werden.

Von grosser Bedeutung ist auch der Gehalt an Vitamin C. In Nordeuropa wird ca. ein Drittel des Gesamtbedarfs über die Kartoffel abgedeckt (FEIL und STAMP, 1993; HOFFMANN et al., 1985).

Speisekartoffel-Sorten müssen eine Reihe von äusseren resp. inneren Qualitätseigenschaften besitzen, damit sie vermarktbar sind.

Die Knollen müssen eine gleichmässige Knollengrösse und eine regelmässige Form mit flachen Augen aufweisen. Ausserdem soll die Fleischfarbe hellgelb bis gelb sein; es dürfen keine Eisenflecken oder durch das Rattlevirus verursachte Nekroseflecken auftreten.

Ausserdem müssen die Kartoffeln gegen Stossblau und gegen Dunkeln des rohen oder gekochten Knollenfleisches resistent sein. Diese Verfärbung des Knollenfleisches beruht u.a. darauf, dass Chlorogensäure und Tyrosin durch Polyphenol-Oxydase in Melanin und andere dunkel gefärbte Substanzen umgewandelt werden.

Schliesslich ist ein guter Geschmack sehr wichtig. Dabei wirken die Glykoalkaloide Solanin und Chaconin negativ auf den Geschmack. Speisesorten enthalten durchschnittlich 1 bis 5 mg Solanin und Chaconin pro 100g Knollenfrischgewicht (ROSS et al., 1978); der Gehalt wird dabei stark von Umweltbedingungen beeinflusst (HOFFMANN et al., 1985).

Die Anforderungen an die technologische Qualität von Kartoffeln variieren mit dem Verwendungszweck. Es gibt sowohl Speisesorten mit relativ niedrigem Stärkegehalt (12-15%), als auch Sorten für die industrielle Verwertung, die einen hohen Stärkegehalt aufweisen sollten (15-18%).

Die Speisesorten werden in vier Kochtypen eingeteilt, die besonders auf der Ausprägung der Mehligkeit der Knollen beruht.

Stärkesorten werden für Futterzwecke, zur Stärke- und Alkoholproduktion genutzt. Sie sollen nicht nur einen hohen Stärkegehalt, sondern zugleich einen hohen Knollenertrag aufweisen, weil diese Nutzungsarten sonst nicht wirtschaftlich sind.

Schliesslich gibt es Sorten, die besonders für Veredlungszwecke angebaut werden. Aus ihnen werden Pommes frites, Chips und dehydrierte Produkte wie Kartoffelflocken, Klossmehl usw. hergestellt. Veredlungssorten müssen bestimmte Knollenformen und einen hohen Trockensubstanzgehalt aufweisen, der manchmal negativ mit dem Stärkegehalt korreliert ist. Der Trockensubstanz-Gehalt ist dabei ein wichtiger Indikator für eine gute Qualität. Ein hoher TS-Gehalt senkt den Energie-Aufwand und die Öl-Absorption während des Fritiervorganges. Ausser für Pommes frites wird zusätzlich ein niedriger Gehalt an reduzierenden Zuckern verlangt, weil sonst die Chips durch die Maillardreaktion dunkel gefärbt werden. Der Gehalt an Reduzierenden Zuckern steht in engem Zusammenhang mit der Sorte und der Lagerung (HOFFMANN et al., 1985).

1.3 Klassische Züchtungsmethoden und ihr Einfluss auf die Produktqualität

Welche Faktoren beeinflussen die Wahl der Züchtungsmethoden?

Die Pflanzenzüchtung benutzt verschiedene Züchtungsmethoden und -verfahren. Diese sind durch die biologischen Eigenschaften der bearbeiteten Kulturart vorgegeben. Die natürliche Fortpflanzungsart kann in Form von asexueller Vermehrung, Selbst- oder Fremdbefruchtung geschehen. Dementsprechend wurden in der Pflanzenzüchtung Klonsorten, Liniensorten oder Populationssorten entwickelt. Schliesslich gibt es noch ein viertes, "künstliches" Verfahren: die Herstellung von Hybridsorten. Hybridsorten werden sowohl für Fremd- als auch für Selbstbefruchter entwickelt (BECKER, 1993).

In der Kartoffelzüchtung ist die Klonzüchtung die vorherrschende Züchtungsmethode. In der Zuckerrübenzüchtung werden heute ausschliesslich di- oder triploide Hybridsorten hergestellt. Beim Raps gibt es zur Zeit enge Populationssorten neben einigen Liniensorten vor. In neuerer Zeit stehen auch in Europa Hybridsorten zur Verfügung, nachdem sie bisher v.a. in China und Kanada angebaut wurden. Weizen ist ein relativ strenger Selbstbefruchter, deshalb werden vor allem Liniensorten entwickelt. Auch an Hybridsorten wird gearbeitet; bisher haben sie jedoch nur geringe Bedeutung erlangt. Bei Mais handelt es sich um einen Fremdbefruchter. In den Industrieländern werden praktisch nur Hybridsorten angebaut (BECKER, 1993).

Hauptzuchtziele und ihr Verhältnis zueinander

Für alle in dieser Studie betrachteten Kulturpflanzen gibt es drei wesentliche Hauptgruppen in der Pflanzenzüchtung: Ertrags-, Resistenz- und Qualitätseigenschaften. Diese Ziele stehen in wechselseitiger Beziehung zueinander und ihre Rangfolge kann von Kulturart zu Kulturart und je nach Anbauregion variieren. So steht meist das Ziel eines hohen und sicheren Ertrags an erster Stelle; häufig liegt die Resistenz an zweiter Stelle vor der Qualität. Bei Kulturarten, die vor ihrer Verwendung als Nahrungs- oder Futtermittel zuerst verarbeitet werden, werden in der Regel die Qualitäts- wichtiger als die Resistenzeigenschaften. So werden beispielsweise Weizensorten mit ungenügender Resistenz, jedoch hoher technologische Qualität angebaut. Bei Speisekartoffeln ist eine gute Vermarktungsqualität sowie technologische Qualität, häufig verbunden mit einem hohen Bekanntheitsgrad von Sorten, wichtiger als die Ausprägung der ernährungsphysiologischen Qualitätseigenschaften (WENZEL, 1993).

Innerhalb der einzelnen Kulturarten bezieht sich das Zuchtziel Resistenz auf ganz unterschiedliche Aspekte. Dabei spielen sowohl biotische Resistenzen gegen Krankheiten und Schädlinge, als auch abiotische Resistenzen gegenüber Stress (z.B. Trockenheit oder Kälte) eine wichtige Rolle. Je nachdem welche Krankheiten und Schädlinge die grösste Bedeutung für den Anbau der betreffenden Kulturart haben, wird der Schwerpunkt der Selektion gelegt.

Benutzte Genquellen und ihr Einfluss auf die Qualität

In der Pflanzenzüchtung werden unterschiedliche Genquellen genutzt. Je nachdem wie gross die genetische Variabilität innerhalb einer Kulturart ist, werden zuerst Gene in bereits vorhandenen Zuchtsorten gesucht. Bleibt die Suche ohne Erfolg, so werden Landrassen oder Pflanzen aus anderen Klimaregionen (exotisches Genmaterial) in die Suche einbezogen. Zuletzt werden Wildformen und näher verwandte Arten genutzt. Je näher die beiden Kreuzungspartner miteinander verwandt sind, desto einfacher gestaltet sich die Züchtung einer neuen Kultursorte. Generell lässt sich sagen, dass Resistenzgene meist in verwandtschaftlich weiter entfernten Genquellen gesucht werden müssen als Gene für positive Ertrags- und Qualitätseigenschaften. Da die Kulturarten eine unterschiedliche genetische Variabilität aufweisen, liegt der Schwerpunkt der Suche nach Resistenzgenen auch auf unterschiedlichen Genquellen.

In der Weizenzüchtung wurden Resistenzen gegen Rostpilze und Mehltau oft aus Wildarten, wie Wildemmer oder Einkornweizen, eingekreuzt. Andere Resistenzgene gegen Roste und Mehltau stammen aus Roggen und wurden durch Translokation bzw. Substitution in hexaploide Weizenformen eingekreuzt (HOFFMANN et al., 1985).

Die ersten in Europa angebauten Kartoffelsorten stammten von nur wenigen ursprünglichen Einfuhren ab. Viele Resistenzgene wurden erst im Verlaufe dieses Jahrhunderts aus Wildarten eingekreuzt (BECKER, 1993).

Auch in der Zuckerrübenzüchtung gehen Resistenzen gegen die Blattkrankheit *Cercospora beticola* auf wildwachsende Formen zurück. Ebenso wurden rizomaniatolerante Sorten aus Kreuzungen mit verschiedenen Wildarten entwickelt (HOFFMANN et al., 1985)

Die Rapszüchtung bietet ein Beispiele für extrem weite Kreuzungen. Um Resistenz gegen die Wurzelhals- und Stengelfäule (*Phoma lingam*) zu erreichen, wurden in Australien interspezifische Kreuzungen mit *Brassica juncea* gemacht und deren Resistenzgene auf diese Weise in Rapsorten transferiert. Eine andere Möglichkeit ist die Nutzung von Kreuzungen über die Gattungsgrenze hinaus: Dabei werden z.B. Gattungsbastarde zwischen *Raphanus*- und *Brassica*-Arten gemacht und anschliessen mit kultivierten *Brassica*-Arten zurückgekreuzt. Auf diesem Weg hofft man, Resistenzgene gegen Rübennematoden in Rapsorten einzukreuzen (HOFFMANN et al., 1985).

In der Maiszüchtung hingegen werden oft nur die verschiedenen Inzuchtlinien innerhalb eines Verwandtschaftskreises miteinander gekreuzt, um Resistenzen in neue Linien hineinzunehmen (HOFFMANN et al., 1985).

In der klassischen Züchtung besteht ein wichtiges Problem darin, dass bei der Kreuzung neben den erwünschten auch unerwünschte Gene hereingebracht werden. Dies gilt besonders dann, wenn züchterisch nicht oder wenig bearbeitete Formen eingekreuzt werden. So bringt gerade die Resistenzzüchtung einen erhöhten züchterischen Aufwand mit sich, da diese unerwünschten Gene, die aus Wildtypen eingekreuzt werden, nur über mehrere Rückkreuzungen und Selektionsschritte weitgehend entfernt werden können. Sowohl Ertrags- als auch Qualitätseigenschaften können dabei betroffen sein.

So wurde z.B. 1968 in der Schweiz 'Marijke' als erste nematodenresistente Kartoffelsorte auf die Sortenliste aufgenommen. Sie wurde zur Pommesfrites-Herstellung verwendet und hatte für diesen Zweck die ideale Form. Diese Sorte konnte jedoch nie recht

Fuss fassen, weil sie bei der Verarbeitung leicht grau wurde und damit eine verschlechterte technologische Qualität aufwies. Mit der Resistenz war parallel auch eine schlechtere d.h. grobere Speisequalität eingekreuzt worden, die durch mehrere Rückkreuzungen wieder verbessert werden musste (WINIGER, pers. Mitteilung).

Andere Beispiele für eine unerwünschte Qualitätsverschlechterung in der klassischen Pflanzenzüchtung sind erhöhte Gehalte an Glucosinolaten in *Brassica*-Arten (THOMPSON und HUGHES, 1986) und an Glykoalkaloiden in Kartoffel-Sorten (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989).

Sind die gewünschten Resistenzeigenschaften einmal in eine neue Kultursorte eingebaut, stellt sich die Frage, ob die Resistenz die Ausprägung anderer wertgebender Eigenschaften der Pflanzen beeinträchtigt. ORTELLI (1994) hat den Zusammenhang zwischen Braunrostresistenz und Ertrag in verschiedenen nah isogenen Winterweizenlinien und ihrem rekurrenten Elter 'Arina' untersucht und festgestellt, dass die resistenteren Linien einen reduzierten Ertrag aufwiesen. Dies dahingehend interpretiert, dass die resistenten Pflanzen Energie in Resistenzmechanismen und -strukturen investierten, die sie sonst für die Ertragsbildung hätten verwenden können.

WENZEL (1993) vertritt die Meinung, dass es sich beim Verhältnis von vielen Resistenz- und Qualitätseigenschaften nicht um prinzipiell einander entgegengesetzte Merkmale handelt. Besonders wenn die Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge einen verminderten Aufwand an Pflanzenschutzmitteln mit sich bringt, kann bei einem verringerten theoretischen Ertragspotential aufgrund von Schadensvermeidung ein real höherer Ertrag erzielt werden. Auf jeden Fall ist die ökologische Qualität einer solchen Kultursorte erhöht. Aber auch die übrigen Qualitätsaspekte werden nach seiner Auffassung durch eine erhöhte Resistenz nicht beeinträchtigt. Er schreibt:

" Wenn man sich die Reaktionsabläufe ansieht (Abb. 1.1), mit denen die Pflanze einen Schädling abwehrt und der durch züchterische Massnahmen verbessert werden kann, so haben sicherlich viele Resistenzmechanismen keinen direkten Einfluss auf die Nahrungsqualität. Dies gilt vor allem für die enzymatisch stofflichen Reaktionen."

Es gibt in der klassischen Resistenzzüchtung jedoch einige Ausnahmen, bei denen eine erhöhte Resistenz gegen Krankheiten oder Schädlinge die Qualität der betreffenden Pflanzen vermindert hat.

So wiesen z.B. Kartoffeln, die gegen Kartoffelkäfer resistent waren, einen erhöhten Solaningehalt auf. Dies machte sie für die Käfer, aber zugleich auch für den Menschen giftig. Bei der Resistenz gegen Infektionen durch Pathogene fand sich ein züchterisch leicht verwendbares Merkmal: Verdickte Zellwände schützten die Pflanzen vor dem Eindringen und der raschen Ausbreitung einer Krankheit. Dabei erwies sich aber dieses Merkmal als negativ für die Qualität der daraus hergestellten Nahrungsmittel (WENZEL, 1993).

1.4 Gentechnologische Züchtungsmethoden und mögliche Einflüsse auf die Produktequalität

1.4.1 Direkte Einflüsse

Drei Ebenen, auf denen Veränderungen auftreten können

JONES und MARYANSKI (1991) beschreiben, welche Effekte bei der Einführung neuer Gene in Tiere oder Pflanzen, die der menschlichen Ernährung dienen, auftreten können. Sie betrachten dabei drei Ebenen (vgl. Tab. 1.1):

- das neue Gen selbst
- das direkte Gen-Produkt
- sekundäre Metabolite

Das neue Gen

Die Auswirkungen auf ein Lebensmittel, die ein neu eingeführtes Gen mit sich bringen kann, hängen von mehreren Faktoren ab: Einerseits vom Anteil, den das neue Gen in der gesamten mit der Nahrung aufgenommenen Biomasse ausmacht, andererseits von der Position, die das neue Gen im pflanzlichen Genom einnimmt, ausserdem können Interaktionen zwischen verschiedenen eingeführten Genen und zwischen dem fremden Gen und dem Empfänger-Genom auftreten und schliesslich spielt die Stabilität des inserierten Gens eine wichtige Rolle (nach JONES und MARYANSKI, 1991; ergänzt).

Tab. 1.1: Übersicht über mögliche Einflüsse fremder Gene auf die Produktequalität einer Kulturpflanze

Ebene	Möglicher Einfluss auf Produktequalität
<p>1. Neues Gen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Menge (Anteil in der Biomasse) - Positionseffekte - Interaktionen mit Wirtsgenom - Stabilität und Integration über Generationen 	<p>Menge und Art der zu verdauenden Nukleinsäuren</p> <p>z.B. wenn angrenzende Regionen des pflanzlichen Genoms Qualitätsblöcke sind</p> <p>wenn Interaktionen mit Genen, die für Qualitätsmerkmale von Bedeutung sind</p> <p>wenn durch Instabilität Qualitäts-Gene gestört werden</p>
<p>2. Gen-Produkt</p> <ul style="list-style-type: none"> - Regulatorische Elemente (Promotoren, Enhancer, usw.) - Pleiotrope Effekte (Phänotyp) - Beschaffenheit und Stabilität des Gen-Produkts 	<p>bei nicht optimaler Expressions-Intensität</p> <p>Beeinflussung qualitativer Eigenschaften über die Physiologie der Pflanze</p> <p>Stabilität des Genprodukts kann vom Ort der Genexpression abhängen</p>
<p>3. Sekundäre Metabolite</p> <ul style="list-style-type: none"> - meist grössere chemische Stabilität und erleichterte Absorption 	<p>wenn diese wertmindernde Komponenten im Produkt darstellen</p>

- Anteil des fremden Gens in der gesamten Biomasse

Der Biomassen-Anteil, den ein neu eingeführtes Gen ausmacht, ist sehr klein; auch dann, wenn es in mehreren Kopien vorliegt. In mehreren dikotyledonen Arten wurde nach der Transformation der betreffenden Pflanzen im Durchschnitt 3 Kopien des Genkonstruktes gefunden. In Extremfällen waren es jedoch bis zu 20-50 Kopien (DALE et al., 1993). Es wird davon ausgegangen, dass das Risiko bei solchen Konzentrationen unbedeutend ist (JONES und MARYANSKI, 1991). In mehreren Arbeiten wurde die Verdaulichkeit und der Nährwert von Nukleinsäuren (DNA und RNA) untersucht. GILLBERG (1977) testete den Effekt von verschiedenen Polysäuren, darunter auch RNA, auf die Verdaulichkeit von verschiedenen Protein-Isolaten aus Sojabohnen. Er verfütterte die verschiedenen Isolate und stellte fest, dass RNA in der Ration keinen Einfluss auf die Verdaulichkeit der Isolate hatte. PRONCZUK et al. (1971) untersuchten die Verdaulichkeit von DNA und RNA in Versuchen mit Futter-Hefe bei Ratten, in denen verschiedene Heferationen und damit verschiedene Mengen an Nukleinsäuren verabreicht wurden. Dabei stellten sie fest, dass RNA eine leicht bessere Verdaulichkeit hatte als DNA (91-93% gegenüber 78-81%), dass aber insgesamt die Verdaulichkeit recht hoch war (90-92,5%). Es wird angenommen, dass bei der Aufnahme von Nukleinsäuren in der menschlichen Ernährung die tägliche Menge von 2g pro Person nicht überschritten werden sollte. Deshalb wurde auch vermehrt versucht, in biotechnologisch erzeugten Nahrungsmitteln (wie Hefen oder Bier) einen möglichst niedrigen Gehalt an Nukleinsäuren zu erreichen, um deren Verdaulichkeit zu erhöhen (z.B. HEDENSKOG und MOGREN, 1973; KREMBEL et al., 1975). Diese Limitierung der Nukleinsäure-Aufnahme in der menschlichen Ernährung bezieht sich nur auf die aufgenommene Menge, jedoch nicht auf die Herkunft der Nukleinsäuren; d.h. es wird nicht unterschieden, ob die Nucleinsäuren aus einer Pflanze oder einem Virus stammen. Aus molekularbiologischer Sicht scheint dies sinnvoll, da die chemische Zusammensetzung der Nukleinsäuren in allen Lebewesen auf denselben Komponenten beruht. Die Einführung eines neuen Gens in das Genom einer Pflanze würde den gesamten Nukleinsäuren-Gehalt eines daraus gewonnenen Lebensmittels nicht im Grössenbereich der oben erwähnten Empfehlung beeinflussen. Man kann deshalb annehmen, dass das neue Gen selbst die Verdaulichkeit eines Nahrungsmittels nicht beeinflusst.

- Positionseffekte

Die Position eines neuen Gens im Genom des Empfänger-Organismus, kann seine Auswirkungen auf die toxikologischen Risiken und der Produktequalität entscheidend beeinflussen. Heute gibt es noch wenig Möglichkeiten die Position eines gentechnologisch neu eingeführten Gens zu beeinflussen oder vorherzusagen. Wobei seine Integration wahrscheinlich nicht auf eine zufällige Art und Weise geschieht, wie einige Zeit angenommen wurde (BOYCE THOMPSON WORK GROUP B, 1988; DALE et al., 1993; ERRAMPALLI et al., 1991). Dennoch ist es heute im Allgemeinen nicht möglich, im voraus zu wissen, welche Gensequenzen des pflanzlichen Genoms durch die Einführung eines Resistenzgens unterbrochen werden. Durch die zufällige Einführung eines fremden Gens ins pflanzliche Genom kann es zu einer veränderten Intensität der Expression der pflanzeneigenen Gene kommen, die direkt neben dem neuen Gen liegen (FALCO, 1989). Ausserdem könnte es in der benachbarten Chromosomen-Region durch die Einführung des neuen Gens zu Mutationen im pflanzeneigenen Genom kommen (FRIEDMANN, 1989). Es ist grundsätzlich möglich, dass es sich bei den so gestörten Gensequenzen um Genblöcke handelt, die wich-

tige Qualitätseigenschaften kodieren. Die Expression solcher Qualitätsgene könnte deshalb empfindlich gestört werden. Dies erhalte dann Bedeutung, wenn diese Qualitätseigenschaften nicht am Wachstumserfolg oder den definierten Produkteigenschaften erkennbar werden.

- Interaktionen mit anderen Genen

Eine weitere Möglichkeit, dass qualitätsmindernde Effekte auftreten, liegt darin, dass das transferierte Gen z.B. während der Meiose mit anderen Genkonstrukten oder mit dem Empfänger-genom selbst interagiert und es so zu Störungen des Phänotyps kommt. JONGEDIJK et al. (1992) untersuchten transgene Kartoffeln, die gegen das Mosaikvirus X resistent waren, bezüglich ihrer sortenspezifischen Merkmale im Feldversuch. Obwohl sie bei der Untersuchung des Karyotyps der in ihrem Phänotyp abweichenden Kartoffeln keine grösseren Chromosomenveränderungen feststellen konnten, schliessen die Autoren nicht aus, dass kleinere Veränderungen in der Sequenzanordnung zu diesen phänotypischen Abweichungen beigetragen haben.

- Stabilität und Integration über Generationen

Schliesslich könnte das eingeführte Gen die Stabilität des Empfänger-Genoms negativ beeinflussen. Es wäre möglich, dass durch gentechnologische Eingriffe die Mutationshäufigkeit erhöht wird, die z.B. im Zusammenspiel mit veränderten Umweltbedingungen wie eine intensivere UV-Strahlung noch verstärkt werden kann. Zu diesem Punkt sind uns bisher keine Beispiele bekannt. Um diese Effekte mit Sicherheit auszuschliessen, wären spezielle Mutationsversuche notwendig.

Das Ausmass der unerwünschten Wirkung eines transferierten Gens ist schliesslich abhängig von der Ploidiestufe der bearbeiteten Kulturart. Da viele Mutationen rezessiv sind, kommen sie nicht zum tragen. Für Kartoffeln erwarten BELKNAP et al. (1994), dass die Mutationen, die durch die Insertion von fremder tDNA auftreten können, von untergeordneter Bedeutung ist, weil sie grösstenteils rezessiv sind und in tetraploiden Sorten wahrscheinlich nicht exprimiert werden. DALE und McPARTLAN (1992) fügen als weiteres Argument an, dass in den meisten höheren Pflanzen ein grosser Anteil der DNA nicht aktiv kodiert d.h. dass keine Effekte zu erwarten sind, wenn das fremde Gen an einem solchen inaktiven Ort des Empfänger-genoms eingefügt wird.

Das primäre Gen-Produkt

Auch auf der Ebene des Gen-Produkts können verschiedene Faktoren eine Veränderung der Produktequalität bewirken.

- Die Bedeutung und Funktion von Promotoren und Enhancern:

Die Intensität der Expression von fremden Genen in transformierten Pflanzen kann beträchtlich variieren (HOBBS et al., 1990; BLUNDY et al., 1991). Dabei sind die Elemente,

die die Expression eines Gens regulieren, von wichtiger Bedeutung. Solche regulatorischen Elemente sind z.B. Promotoren und Enhancer. Bei einem Promotor handelt es sich um die Bindungsstelle für die RNA-Polymerase d.h. um den Ort, an dem die Transkription des neuen Gens initiiert wird. Enhancer sind DNA-Sequenzen von Promotoren, die deren Funktion und damit die Transkriptionsrate gewebe- und/oder wirtsspezifisch erhöhen können (WENZEL und AMANN, 1991). Solche regulatorischen Elemente bestimmen die Intensität, mit der ein neues Gen exprimiert wird.

Auf der Ebene der Intensität der Gen-Expression gibt es ein weites Spektrum an Möglichkeiten. Es kann sein, dass fremde Gene gar nicht exprimiert werden, dass es zu einer unbeabsichtigten Überexpression kommt, dass die Expression in der "richtigen" Intensität erfolgt oder dass es zu einer beabsichtigten Überexpression kommt (nach JONES und MARYANSKI, 1991). Diese Möglichkeiten sollen hier kurz besprochen werden.

Im Falle einer misslungenen Transformation wird das fremde Gen nicht exprimiert. Eine solche Pflanze scheidet bereits zu Beginn des Selektionsprozesses aus und hat keinen weiteren Einfluss auf den Bereich der Produktequalität.

Es ist auch möglich, dass es zu einer unbeabsichtigten Überexpression des fremden (Resistenz-)Gens in der transformierten Pflanze kommt. Dies kann zu einer unausgewogenen Energiebilanz in der Pflanze führen, die zuviel Energie in die Produktion des fremden Gen-Produkts investieren muss. Dadurch kann die Anfälligkeit für Krankheiten erhöht und der Ertrag vermindert werden. Je nach Art und Ort des Gen-Produkts kann auch das toxikologische Risiko für das Ertragsorgan ansteigen.

Wenn die Expression eines fremden Gens und damit die Konzentration des Gen-Produkts die "richtige" Grössenordnung erreicht, sollte die Wirkung des Gens und das Risiko einer Verschlechterung toxikologischer oder qualitativer Eigenschaften in einem optimalen Verhältnis zueinander stehen. Dabei ist natürlich die Definition dieses Optimums eine nicht unproblematische Frage.

Schliesslich gibt es noch den Fall der beabsichtigten Überexpression eines fremden Gens. Dieser tritt jedoch v.a. dann auf, wenn eine ökonomisch wertvolle Substanz in möglichst grossem Ausmass produziert werden soll. Interessant wäre z.B. eine Erhöhung der Kohlehydratproduktion in Zuckerrüben, so dass die industrielle Äthanolproduktion konkurrenzfähig würde oder eine Veränderung des Kohlehydratstoffwechsels, so dass statt Glucose und Saccharose Fructosepolymere in der Rübe gespeichert werden, die als Rohstoff für die Plastik-Herstellung dienen könnten (STEINRÜCKEN und DIECKMANN-HEIMBURG, 1993). Für Raps gibt es die Möglichkeit das Fettsäuremuster in einer gewünschten Art und Weise zu verändern, um das Öl der jeweiligen Nutzungsrichtung (z.B. Biodiesel oder Schmiermittel) anzupassen. Ausserdem gibt es im Raps Bestrebungen, pharmazeutisch nutzbare Substanzen (Enkephaline mit opin-artigen Eigenschaften) zu produzieren (MAX-PLANCK-INSTITUT, 1992). Eine beabsichtigte Überexpression wird auch bei Kartoffeln angestrebt, bei welchen gentechnologische Eingriffe die Produktion von menschlichem Serum-Albumin ermöglicht haben (FRALEY, 1992). Bei Weizen gibt es verschiedene Projekte, die eine Verbesserung der Proteinzusammensetzung der Körner zum Ziel haben (SHEWRY et al., 1994). Da es sich bei dieser absichtlichen Maximierung der Gen-Expression meistens um Experimente handelt, die eine direkte Veränderung der Produktequalität und nicht eine Erhöhung der Krankheits- und Schädlingsresistenz zum Ziel haben, stehen sie nicht im Mittelpunkt dieser Studie.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Gen-Expression mittels Promotoren und Enhancern zu steuern. Das Risiko, dass sich die Qualität oder die toxikologischen Eigenschaften eines Nahrungs- resp. Futtermittles verändern, kann davon abhängen, in welcher Menge

das neue Gen-Produkt darin enthalten ist. Promotoren und Enhancer, die für den Gentransfer benutzt werden, werden oft so ausgewählt, dass sie eine maximale Expression des Gens ermöglichen. Um das Risiko einer toxikologischen oder qualitativen Veränderung zu minimieren, sollte also nach Lösungen gesucht werden, die beide Aspekte berücksichtigt. Das bedeutet, dass eine Intensität der Gen-Expression angestrebt werden soll, die auf der einen Seite den gewünschten Effekt auslöst (z.B. Resistenz gegen Viren) und auf der anderen Seite die Menge an fremden Gen-Produkten möglichst niedrig hält (JONES und MARYANSKI, 1991). Einige Lösungsansätze sind bereits vorhanden. So wurde die Spezifität von Promotoren in Kartoffeln untersucht und festgestellt, dass die Expression sowohl vom Entwicklungsstadium der Pflanzen, als auch von Umwelteinflüssen abhängt. Schliesslich konnte auch gewebespezifische Expression in Blättern/Stengeln, Knollen und verletztem Gewebe nachgewiesen werden (SONNEWALD et al., 1992). Es ist bereits gelungen, solche spezifischen Expressionsmechanismen in transgenen Pflanzen zu nutzen.

Viele transgene Pflanzen, deren Phytohormonaktivität durch die Transformation verändert wurde, zeigten starke phänotypische Veränderungen, die die biologische Robustheit der Pflanzen oder Ertragseigenschaften negativ beeinflussten. Deshalb fanden solche transgenen Pflanzen lange Zeit keinen Eingang in die praktische Pflanzenzüchtung. Ein Beispiel einer solchen Transformation sind transgene tetraploide Kartoffeln, die das sogenannte *rolC*-Gen aus *Agrobacterium rhizogenes* enthielten. Dieses Gen bewirkt in den transformierten Kartoffeln einen reduzierten Glucose-Gehalt und eine erhöhte Resistenz gegen pilzliche und bakterielle Pathogene (FLADUNG und GIEFFERS, 1993). Der bei der Transformation ursprünglich verwendete 35S-Promotor führte jedoch zu reduziertem Ertrag und Fructosegehalt sowie zahlreichen, aber kleinen Knollen. FLADUNG et al. (1993) konnten durch die Verwendung des licht-spezifischen *rbcs1*-Promotors den Ertrag und den Fructosegehalt der Knollen wieder auf ein normales Niveau anheben. Der wesentliche Unterschied zwischen den beiden Promotoren war, dass die Kartoffeln mit dem licht-spezifischen Promotor das *rolC*-Gen nur in den oberirdischen Pflanzenteilen exprimierten und dessen starker Einfluss auf das physiologische Gleichgewicht der Pflanzen vermindert wurde. In ihren Untersuchungen stellten die Autoren ausserdem fest, dass das Ausmass der Ertrags- und Qualitätsverminderung direkt mit der Intensität der Gen-Expression zusammenhing.

JONGEDIJK et al. (1992) führten Versuche mit transgenen Kartoffeln durch, die das Hüllprotein des Mosaikvirus X exprimierten. Dabei überprüften sie die Veränderung morphologischer Eigenschaften und stellten fest, dass das Auftreten solcher Veränderungen nicht von der Intensität der Genexpression abhing.

FIREK et al. (1993) haben ausserdem bei der Transformation von Kartoffeln einen verletzungs-spezifischen Promotor aus *Asparagus officinalis* an ein Markergen gekoppelt und damit eine bedeutend niedrigere Expression dieses Gens in Blättern, Wurzeln, jungen Stengeln und Knollen erreicht; dieser Effekt ist sehr wünschenswert, da Markergene nur zu Beginn des Transformations- und Selektionsprozesses benötigt werden, um eine gelungene Transformation anzuzeigen hat.

Wenn bei den heranwachsenden Pflanzen im Feld ein Nachweis nötig wäre, müssten die Pflanzen lediglich verletzt werden, damit das Markergen wieder exprimiert wird. BELKNAP et al. (1994) stellten fest, dass beispielsweise das *GUS*-Reporter-gen einen wesentlichen Einfluss auf den Ertrag, die agronomischen und qualitativen Eigenschaften ausüben kann. Hierbei sei im weiteren auf die Studie von FRANK (1995) verwiesen, in der das Risiko von Markergenen besprochen wird.

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Expressions-Intensität eines fremden Gens nicht notwendigerweise die Qualitätseigenschaften transformierter Pflanzen beeinflussen muss. Dies hängt mit der Wirkungsweise des eingeführten Gens zusammen. Besonders stark ist der Einfluss von Genen, die den Phytohormonhaushalt und das physiologische Gleichgewicht der transformierten Pflanzen beeinflussen. In diesem Zusammenhang spricht man auch von pleiotropen Effekten eines Gens. Treten solche, meist negativen Effekte auf, besteht die Möglichkeit, die Expression mittels geeigneter Promotoren so zu steuern, dass die unerwünschten Auswirkungen reduziert werden.

- Die Möglichkeit pleiotroper Effekte:

Von pleiotropen Effekten spricht man, wenn ein Gen mehrere Merkmale beeinflusst. Ein pleiotropes Wirkungsmuster setzt sich nicht immer aus Merkmalen zusammen, zwischen denen ein innerer Zusammenhang besteht. Häufig ergibt sich dabei jedoch eine gemeinsame biochemische Basis. Die Ursachen der Pleiotropie bestehen teilweise darin, dass durch den betreffenden genetischen Block eine Substanz nicht gebildet werden kann, die für mehrere Stoffwechselwege notwendig ist. In anderen Fällen kann es zu einer Anhäufung von Stoffwechselprodukten kommen, die sich hemmend auf die Enzyme anderer Biosynthesen auswirken (GOTTSCHALK, 1989). Es ist deshalb denkbar, dass ein fremdes Gen-Produkt die äusserlich sichtbaren d.h. phänotypischen Eigenschaften einer transgenen Pflanze beeinflusst.

Unseres Wissens gibt es bis heute nur wenige belegte Beispiele solch pleiotroper Effekte in transgenen Pflanzen (RAYBOLD und GRAY, 1993). DALE und McPARTLAN (1992) berichten in diesem Zusammenhang von pleiotropen Effekten fremder Gene, die den Phänotyp transformierter Kartoffelpflanzen beeinflussen.

BELKNAP et al. (1994) inserierten in Kartoffeln ein Gen, welches das lytische Peptid *Cecropin B* kodiert. Die Pflanzen sollten damit gegen die bakterielle Weichfäule (*Erwinia carotovora*) und die bakterielle Ringfäule (*Corynebacterium sepedonicum*) resistent gemacht werden. Dabei stellten sie fest, dass nur sehr wenige Pflanzen überhaupt die Transformation überlebten, da das Gen-Produkt Cecropin auch für die Pflanzen toxisch ist.

JONES und MARYANSKI (1991) bemerken zu diesem Thema abschliessend, dass transgene Pflanzen, die solche unerwünschten pleiotropen Effekte aufweisen, höchst wahrscheinlich während der Evaluation ihrer agronomischen Eigenschaften bereits ausscheiden. Pflanzen mit unerwünschten phänotypischen Veränderungen würden gar nicht bis zur Ebene der Auswertung toxischer und qualitativer Eigenschaften der daraus hergestellten Nahrungsmittel gelangen.

- Beschaffenheit und Stabilität des Genprodukts

Das primäre Gen-Produkt einer transgenen Pflanze wird im allgemeinen ein Protein sein. Die meisten Proteine sind, mit wenigen Ausnahmen, nicht toxisch und werden normalerweise im Verdauungstrakt der Säuger abgebaut. Es können ausnahmsweise Verbindungen auftreten, die stabiler sind als normale Proteine und die eine immunologische Abwehrreaktion auslösen. Schliesslich kann es zu nicht-immunologischen Abwehrreaktionen kommen. All diese Möglichkeiten betreffen die toxikologischen Risiken und das allergene Potential einer transgenen Pflanze. Hier sei wiederum auf die Studie von FRANCK (1995) verwiesen.

Ein anderer Effekt, der berücksichtigt werden sollte, ist die Veränderung in der Stabilität fremder Proteine in transgenen Empfänger-Pflanzen. SONNEWALD et al. (1992) haben dabei drei Hauptfaktoren identifiziert, die die Stabilität dieser Gene beeinflussen können. Dazu gehören posttranslationale Veränderungen, die Zusammensetzung von Proteasen in verschiedenen Geweben der Empfänger-Pflanze und die subzelluläre Kompartimentierung. Die Autoren machten Versuche mit transgenen Kartoffel- und Tabakpflanzen, die ein spezielles Protein (Patatin) exprimierten. Sie konnten feststellen, dass die Einfügung fremder Aminosäuren in das Protein einen deutlichen Einfluss auf dessen Stabilität hatte; die Veränderung der Glykoformen des Patatins hatte hingegen keine Auswirkungen auf dessen Stabilität. Ausserdem zeigten die Experimente deutlich, dass die Struktur des fremden Proteins und die Zusammensetzung der Proteasen in den verschiedenen Kompartimenten sehr wichtig sind für eine erfolgreiche Expression fremder Proteine.

Diese Beobachtungen weisen jedoch nur auf mögliche Einflussfaktoren hin, welche die Protein-Stabilität verändern könnte; sie besagen jedoch nicht, dass solche Veränderungen im Falle transgener krankheits- oder schädlingsresistenter Pflanzen tatsächlich auftreten.

Sekundäre Metabolite

Sekundäre Metabolite, die durch die Einführung eines fremden Gens in einer Empfänger-Pflanze entstehen, sollten ebenso wie das Gen selbst und sein primäres Gen-Produkt wegen ihrer möglichen Effekte in Nahrungs- und Futtermitteln beachtet werden. Es wurde festgestellt, dass solch neue sekundäre Metabolite z.B. in transgenen herbizidresistenten Pflanzen eine grössere chemische Stabilität und eine besonders hohe Absorbierbarkeit im Verdauungstrakt aufweisen können (BOYCE THOMPSON WORK GROUP B, 1988). Vor allem wenn es sich beim neuen Gen-Produkt um ein Enzym handelt, das spezifische neue Metabolite produzieren soll, müssen die biologischen Effekte dieser Metabolite besonders sorgfältig geprüft werden. Das Hauptmerk der Untersuchungen wird jedoch dabei auf der Prüfung toxikologischer Risiken liegen, da eine eventuelle allgemeine Qualitätsverschlechterung eine transgene Pflanze bereits früher aus dem züchterischen Selektionsprozess ausscheiden lässt. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass für die meisten Nutzpflanzen, die bisher durch konventionelle Züchtung bearbeitet wurden, nie irgendwelche toxikologischen Untersuchungen gemacht worden sind. Stattdessen stützte man sich bei der Sicherheitsabschätzung solcher Pflanzen auf eine langjährige Erfahrung in der Geschichte der Nutzung der betreffenden Pflanze ab (JONES und MARYANSKI, 1991).

1.4.2 Indirekte Einflüsse

Mögliche Einflüsse der verwendeten Verfahrenstechnik auf die Produktequalität

Unabhängig von der Art des eingeführten Fremd-Gens kann es durch die Methoden der Bio- und Gentechnologie zu Veränderungen von Ertrags- und Qualitätseigenschaften kommen. Die hier genannten Möglichkeiten sind von unterschiedlicher Relevanz für die

momentane Praxis. Biotechnologische Methoden werden heute vermehrt auch in der klassischen Pflanzenzüchtung eingesetzt; dies bedeutet, dass ein Teil der hier beschriebenen Einflussfaktoren auch in der konventionellen Pflanzenzüchtung von Bedeutung sind.

Die Anwendung von Gewebekulturtechniken ist gekoppelt mit dem Auftreten von somaklonaler Variation. Prinzipiell tritt dieses Phänomen im Bereich der klassischen Pflanzenzüchtung und der Gentechnologie auf. Die Überführung von pflanzlichem Gewebe in eine Zellkultur führt häufig zu einer erhöhten Mutationsrate; vor allem dann, wenn solches Gewebe über einen längeren Zeitraum in einer *in vitro* Kultur wächst. Diese Mutationen werden somaklonale Variation genannt und unterscheiden sich prinzipiell nicht von Mutationen, die auf andere Art und Weise ausgelöst werden (BECKER, 1993).

DALE und McPARTLAN (1992) haben spezielle Feldversuche mit transgenen Kartoffeln gemacht, um festzustellen, ob die in vorhergehenden Experimenten festgestellten Veränderungen der phänotypischen Eigenschaften der getesteten Pflanzen auf dem Gentransfer an sich beruhen oder ob ihre Variabilität lediglich auf das Verfahren der Gewebekultur zurückzuführen sind. Sie verglichen dabei drei Verfahren miteinander: Zum einen regenerierten sie transgene und nicht-transgene Pflanzen aus Knollenscheiben und zum andern regenerierten sie Wildtyp-Pflanzen aus Stengelstecklingen, die aus Augenstecklingen gewonnen worden waren. Sie untersuchten fünf phänotypische Eigenschaften dieser drei Pflanzengruppen in Feldversuchen: Dazu gehörte die durchschnittliche Pflanzenhöhe, das durchschnittliche Knollengewicht pro Pflanze, die durchschnittliche Anzahl Knollen, die pro Pflanze gebildet wurden, das Durchschnittsgewicht der grossen Knollen pro Pflanze und die durchschnittliche Anzahl grosser Knollen pro Pflanze. Sie stellten dabei fest, dass die Wildtyp-Kartoffeln aus Stengelstecklingen in diesen Parametern die höchsten Werte aufwiesen und dass sich die nicht-transgenen und transgenen Pflanzen, die aus Gewebekulturen mit Kartoffelscheiben stammten ebenfalls unterschieden. Die transgenen Pflanzen wiesen dabei in den meisten der erfassten phänotypischen Kriterien die niedrigsten Werte auf. Ausserdem verglichen die Autoren auch die Varianzen zwischen den drei Pflanzengruppen. Dabei wiesen die transgenen Kartoffeln die grösste Variabilität auf. Sie folgerten aus den gefundenen Resultaten, dass die Pflanzen in ihren Versuchen somaklonale Variation zeigten, die eindeutig auf dem Verfahren der Gewebekultur beruhte und andererseits der Phänotyp der transgenen Pflanzen zusätzlich durch Effekte der eingeführten Gene beeinflusst wurde.

Ein weiterer Aspekt des technologischen Vorgehens liegt in der Verwendung unterschiedlicher Vektoren bei der Transformation von Kulturpflanzen.

Im Zusammenhang mit der Stabilität eingefügter Gene oder des Empfänger-Genoms könnte die Verwendung von transposonbasierten Vektoren eine Rolle spielen. Es handelt sich dabei um DNA-Vektoren, die mobile genetische Elemente zur Einklonierung von erwünschten Genen verwenden. Nach dem Gentransfer verhalten sich die Nutzgene wie ein Transposon; d.h. sie verhalten sich wie mobile genetische Elemente, die im Verlauf der Individualentwicklung eines Organismus ihren Ort im Genom wechseln können. Man nennt solche transponierbaren Elemente auch "jumping genes". Solche Elemente sind bisher in allen Organismen gefunden worden, die man molekulargenetisch näher untersucht hat. Allerdings wurden transposonbasierte Vektoren unseres Wissens noch nicht für Gentransfer in Kulturpflanzen benutzt. Da Transposons mehrfach transponieren können und beim Einklonieren von Sequenzen das Transpositionsverhalten (in Abhängigkeit vom Empfängerorganismus und dessen genetischen Hintergrund) verändert sein kann, können unerwartete Transpositionen im weiteren Generationenverlauf zu unkontrollierbaren Um-

strukturierungen des Genoms führen. Deshalb sind solche Vektoren nur für akademische Fragestellungen im Labormassstab eingesetzt worden (WENZEL, 1991). Sollten transposonbasierte Vektoren in Zukunft auch im Bereich der Nutzpflanzen eingesetzt werden, muss diese Gefahr der unkontrollierten Genom-Umstrukturierung besonders berücksichtigt werden. Dabei könnten die verschiedensten Eigenschaften einer transgenen Kulturpflanze negativ beeinflusst werden, u.a. auch ihre Qualitätseigenschaften.

Andere Beispiele indirekter Einflüsse

Es sind zudem indirekte Einflüsse auf die Produktequalität transgener Pflanzen denkbar, die weder mit dem fremden Gen, noch mit dessen primären und sekundären Produkten oder dem technologischen Verfahren etwas zu tun haben. Es sollen hier kurz einige Beispiele genannt werden.

Im Weizenanbau sind der Ertrag und Qualität negativ miteinander korreliert. Eine Ertragssteigerung ohne vermehrte Nährstoffzufuhr führt zu einem verminderten Proteingehalt, was wiederum die ernährungsphysiologische und vor allem die technologische Qualität beeinträchtigt. Wenn der Ertrag einer Sorte nun über gentechnologisch eingeführte Krankheits- und Schädlingsresistenzen gesteigert werden könnte, würde dies indirekt zu einer Verschlechterung ihrer Qualitätseigenschaften führen können.

Das Hauptkriterium für Qualität bei Zuckerrüben liegt in einem hohen Saccharosegehalt. Je länger die assimilierende Blattfläche im Sommer erhalten bleibt, desto länger können die Rüben assimilieren, was zu einem erhöhten Zuckerertrag führen wird. Die Photosyntheseaktivität der Blattfläche kann durch Befall mit Blattkrankheiten, v.a. mit *Cercospora*-Blattflecken, beeinträchtigt werden. Ein Zuckerrübensorte die mit gentechnologischen Mitteln gegen diese Pathogene resistent gemacht werden könnte, brächte gute Voraussetzungen mit, um einen höheren Zuckerertrag und damit eine bessere Qualität aufzuweisen als normal anfällige Sorten.

Die erwähnten Beispiele sollen lediglich die Komplexität der Zusammenhänge zwischen Resistenzeigenschaften, Ertrag und Qualität aufzeigen. Die oben erwähnten Resistenzen könnten ebensogut durch klassische Züchtungsverfahren eingekreuzt werden. Diese Art von indirekten Einflüssen ist somit nicht gentechnologie-spezifisch.

1.5 Zusammenfassende Bemerkungen zur Produktequalität

Qualität, ein vielschichtiger Begriff

Wie zu Beginn dieses Kapitels aufgezeigt, ist die Produktequalität ein vielschichtiger Begriff. Nicht nur ernährungsphysiologische, technologische und äussere Qualitätskriterien sind darin enthalten; besonders im Biolandbau und in der Integrierten Produktion kommt

der vierte Aspekt der ökologischen Qualität hinzu. Dieser Aspekt soll die umweltschonende Produktionsweise eines Anbausystems miteinbeziehen.

Grundsätzlich muss für jede Kulturart die Produktequalität spezifisch definiert werden. Selbst innerhalb einer Art können die Anforderungen an die Qualität stark variieren, je nachdem Nutzungsart vorliegt.

Klassische Pflanzenzüchtungsverfahren und ihr Einfluss auf die Produktequalität

Die Pflanzenzüchtung benutzt für die einzelnen Kulturarten unterschiedliche Züchtungsverfahren. Diese werden hauptsächlich vom biologischen Fortpflanzungsmodus der betreffenden Arten bestimmt. Für jede Kulturart stehen prinzipiell mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, meist dominiert jedoch das eine oder andere Verfahren.

Drei Hauptzuchtziele werden dabei innerhalb der Kulturarten angestrebt: Ertrag, Resistenz und Qualität. Diese Ziele stehen in wechselseitiger Beziehung zueinander und werden in Abhängigkeit von der Kulturart und der Nutzung mit unterschiedlichen Parametern beschrieben und definiert.

In der klassischen Pflanzenzüchtung werden unterschiedliche Genquellen genutzt. Diese Genquellen stehen dabei in mehr oder weniger naher Verwandtschaft zur bearbeiteten Kulturart. Je näher die beiden Kreuzungspartner miteinander verwandt sind, desto einfacher gestaltet sich die Züchtung einer neuen Kultursorte. Im Allgemeinen muss die Resistenzzüchtung auf genetisch weiter entfernte Formen zurückgreifen als dies bei der Züchtung auf Ertrag und Qualität geschieht.

Dabei besteht ein wichtiges Problem der klassischen Züchtung darin, dass bei Kreuzungen neben den erwünschten immer auch unerwünschte, oft unbekannt Gene hereingebracht werden. Dies gilt besonders dann, wenn züchterisch nicht oder wenig bearbeitete Formen eingekreuzt werden. Deshalb bringt gerade die Resistenzzüchtung einen erhöhten züchterischen Aufwand mit sich, da die unerwünschten Gene, die aus Wildtypen eingekreuzt werden, wieder über mehrere Rückkreuzungen und Selektionsschritte entfernt werden müssen.

Sind die gewünschten Resistenzeigenschaften einmal in eine neue Kultursorte eingebaut, stellt sich die Frage, ob die Resistenz der Pflanzen ihre Qualität beeinträchtigt. WENZEL (1993) geht davon aus, dass sich Resistenzeigenschaften und Qualitätsmerkmale generell nicht konkurrenzieren, sondern sich eher ergänzen. Dabei gibt es natürlich Ausnahmen, die sich jedoch auf wenige Fälle beschränken. Besonders unter Berücksichtigung des Aspekts der ökologischen Qualität wird eine Verbesserung der Resistenzeigenschaften auch zu einer verbesserten Qualität führen.

Für die klassische Pflanzenzüchtung lässt sich deshalb sagen, dass eine mögliche Verschlechterung der Qualität einer Kultursorte im Verlaufe der Resistenzzüchtung zwar auftreten kann, dass sie jedoch vor allem für die Züchter einen vermehrten Aufwand mit sich bringt. Eine Sorte mit deutlich beeinträchtigter Qualität wird keinen Eingang in die Praxis finden, weil sie von der verarbeitenden Industrie, den Saatgutkäufern oder den Konsumenten abgelehnt werden würde.

Gentechnologie und Produktequalität

- Was wurde bis heute untersucht?

Es gibt zur Zeit erst relativ wenige Untersuchungen, die sich explizit mit der Qualität transgener Pflanzen befassen. Die Kartoffel ist die einzige der in dieser Studie behandelten Kulturarten, für die Versuche vorliegen. Die Autoren, welche sich mit der Produktequalität transgener Kartoffeln befasst haben, erwarten Effekte auf drei Ebenen: Zum einen Effekte, die durch Mutationen und Interaktionen bei der Insertion des Genkonstruktes ergeben, zum andern Effekte, die durch Pleiotropie des fremden Gens bewirkt werden und schliesslich Effekte die somaklonale Variation hervorrufen und mit dem technologischen Verfahren der Gewebekultur zusammenhängen.

- Welche Punkte bedürfen in Zukunft weiterer Abklärungen?

Wie es sich mit den anderen Kulturarten verhält, ist bisher nicht klar. JONES und MARYANSKI (1991) haben ein allgemeines Schema entworfen, um theoretisch mögliche Effekte gentechnologischer Veränderungen in Kulturpflanzen und anderen Organismen einzuordnen. Bezüglich der Veränderung von Qualitätsmerkmalen sind für transgene Pflanzen mehrere Punkte von praktischer Bedeutung; andere Möglichkeiten sind zur Zeit rein hypothetisch und bedürfen näherer Abklärung.

Es lassen sich dabei mehrere Bereiche in einer transgenen Pflanze nennen, in denen ein Effekt auf die Produktequalität möglich wäre:

Erstens sind dies Auswirkungen, die mit dem fremden Gen selbst zusammenhängen. Mehrere Aspekte spielen auf dieser Ebene eine Rolle. Einerseits ist es theoretisch möglich, dass die Menge und die Art der eingeführten Nukleinsäuren sich auf die Verdaulichkeit von Futter- und Nahrungsmitteln auswirken; dabei wird eine einzelne transgene Kultursorte keine Auswirkungen haben. Wenn jedoch die Gentechnologie in viele Bereiche der Lebensmittelherstellung Eingang findet, könnten sich die einzelnen Effekte akkumulieren. Zwei andere Aspekte betreffen die Auswirkungen eines fremden Gens auf das Empfänger-Genom. Einerseits kann die Position des Genkonstruktes für die angrenzenden Genregionen von Bedeutung sein. Bis heute hat die gentechnologische Forschung noch keine praxistauglichen Methoden gefunden, mit denen die Insertion eines Gens gezielt gesteuert werden kann. Sobald dies jedoch möglich wäre, könnten fremde Gene in Bereiche des Empfänger-Genoms eingebaut werden, die nicht aktiv kodieren. Andererseits könnten fremde Gene auch mit dem Wirtsgenom oder anderen bereits transferierten Genen in Wechselwirkung treten; das bedeutet, dass die Expressionsintensität wirtseigener Gene so beeinflusst werden könnte, dass sie die Qualitätseigenschaften der transgenen Pflanzen beeinflussen. Schliesslich wäre es auch möglich, dass die Stabilität der transferierten und wirtseigenen Gene beeinträchtigt wird und somit die Integration über mehrere Generationen hinweg nicht gewährleistet ist.

Zweitens kann das primäre Genprodukt eines transferierten Gens die Qualitätseigenschaften beeinflussen. Solche Effekte können mit der Intensität der Genexpression zu-

sammenhängen, wenn das Genprodukt auf den Phytohormonhaushalt oder das physiologische Gleichgewicht einwirkt. Bei transgenen Kartoffeln sind sowohl Beispiele bekannt, in denen die Intensität der Genexpression keinen Einfluss hat, als auch Fälle, in denen ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Genexpression und den Ertrags- bzw. Qualitätseigenschaften besteht. Ist letzteres der Fall, wird die gentechnologische Forschung bestrebt sein, eine optimale Expressionsintensität zu erreichen, damit zwar die gewünschten Resistenzeigenschaften vorhanden sind, die Qualität jedoch nicht beeinträchtigt wird. Dabei wird die Verwendung spezifischer regulatorischer Elemente, wie Promotoren und Enhancer, eine wichtige Rolle spielen. Ausserdem könnte die Beschaffenheit und die Stabilität des Genprodukts Auswirkungen auf die Produktequalität haben. Diese Stabilität wird wiederum vom Ort der Genexpression in der transgenen Pflanze beeinflusst werden.

Als dritter Bereich möglicher Auswirkungen auf die Produktequalität transgener Kulturpflanzen muss die Ebene der sekundären Metabolite berücksichtigt werden. JONES und MARYANSKI (1991) erwarten jedoch, dass sich die Beschaffenheit und die Stabilität sekundärer Metabolite vorwiegend auf die toxikologischen Eigenschaften eines Lebensmittels auswirken. Dennoch ist es möglich, dass sekundäre Metabolite wertmindernde Komponenten darstellen und somit die ernährungsphysiologische Qualität einer Nahrungs- oder Futterpflanze beeinträchtigen.

Schliesslich hat man Veränderungen des Phänotyps transgener Pflanzen beobachtet, die durch die somaklonale Varianz verursacht wird. Diese Mutationen treten dort auf, wo die Vermehrung und Regeneration von Pflanzen über Gewebekulturen geschieht. Diese Effekte sind nicht gentechnologie-spezifisch sondern werden durch das technologische Verfahren verursacht. Es sollte immer berücksichtigt werden, dass bio- und gentechnische Methoden Mutationen verursachen könnten, die den Phänotyp transformierter Pflanzen und ihre Qualität indirekt beeinflussen.

Auch wenn Effekte in den oben erwähnten Bereichen möglich sind, ist es wichtig zu beachten, dass letztendlich gentechnisch veränderte Pflanzen wie bisan konventionelle Züchtungen der züchterischen Selektion bis hin zur Sortenankennung unterworfen sein werden. Daher werden solche Veränderungen nur dazu führen würden, dass die betreffende transgene Pflanze im Selektionsprozess ausscheiden. Es ist somit nicht zu erwarten, dass transgene Pflanzen mit einer verschlechterten Produktequalität bis zum Endverbraucher gelangen. Bei der konventionellen Resistenzzüchtung ohne Gentransfer wäre das Vorgehen analog; die negative Selektion qualitativ ungenügender Pflanzen ist an und für sich nichts neues.

Ausblick und Konsequenzen für die verschiedenen Landbausysteme

Ein wichtiger Konflikt, der durch die Herstellung transgener krankheits- und schädlingsresistenter Kulturpflanzen entstehen wird, liegt in der Frage, ob die dabei angestrebte Einsparung von Pestiziden als Steigerung der ökologischen Qualität angesehen wird oder nicht. Die Vertreter des Biolandbaus äussern sich dazu eindeutig negativ. Sie sehen in der Gentechnologie keine ökologische Lösung phytomedizinischer Probleme. Wenn die Integrierte Produktion in Zukunft transgene Kultursorten anbauen wird, wird sich die Kluft zwischen IP und Biolandbau vergrössern. Ob ökologisch gesinnte Konsumenten, die bisher IP-Produkte kauften und den Begriff "naturnahe Landwirtschaft" mit der Integrierten Produk-

tionsweise verbanden, transgene Pflanzen als naturnah und ökologisch sinnvoll ansehen, ist zur Zeit eine offene Frage.

Aus der Sicht der Konsumenten lässt sich sagen, dass die toxikologischen Risiken transgener Pflanzen in der Ernährung eine grössere Bedeutung haben werden als die übrigen Qualitätseigenschaften, v.a. wenn es sich um neue sekundäre Metabolite handelt (z.B. Endotoxine aus *Bacillus thuringiensis*; JONES und MARYANSKI, 1991). Im Allgemeinen werden transgene Pflanzen mit ungenügender Qualität früh im Selektionsprozess ausscheiden. Im Bereich des toxikologischen Risikos orientiert man sich an Grenzwerten, die in ihrer Aussagekraft eine gewisse zeitliche Limitierung aufweisen, da besonders chronische Toxizitäten auf der Ebene eines einzelnen Nahrungsmittels oder Inhaltsstoffes festgelegt werden; mögliche Interaktionen mit einer sich verändernden Umwelt oder anderen Nahrungsmitteln werden dabei nicht berücksichtigt. Diese Unsicherheiten sind jedoch kein gentechnologie-spezifisches Problem, sondern gelten für alle Nahrungsmittel. Ein wesentlicher Unterschied besteht allerdings darin, dass man bei vielen nicht-gentechnisch hergestellten Nahrungsmitteln auf eine langjährige Erfahrung in der Anwendung zurückgreifen kann, was im Falle transgener Organismen noch nicht möglich ist (JONES und MARYANSKI, 1991).

1.6 Literatur

ALTNER, G, 1992. Bioreaktoren - oder: Was darf der Mensch eigentlich als Teil der Schöpfung? *Ökologie & Landbau*, 84: S.17-21.

BALZER-GRAF, U., 1995. Vitalqualität von Nahrungsmitteln, *Ökologie & Landbau*, 23. Jg., 94 (2): S. 60.

BECKER, H., 1993. Pflanzenzüchtung. Ulmerverlag, 327S.

BELKNAP, W.R., CORSINI, D., PAVEK, J.J., SNYDER, G.W., ROCKHOLD, D.R., VAYDA, M.E., 1994. Field Performance of Transgenic Russet Burbank and Lemhi Russet Potatoes. *American Potato Journal*, 71: S.285-296.

BOYCE THOMPSON WORK GROUP B., 1988. Insect-resistant plants; In: *Genetically-Engineered Plants: Scientific Issues in Their Regulation for Animal Feed and Human Food Uses*, symposium held at Boyce Thompson Institute for Plant Research and Cornell University, Ithaca, New York, Oct. 19-21, 1987: S. 50.

BLUNDY, K.S., BLUNDY, M.A.C., CARTER, D., WILSON, F., PARK, W.D., BURELL, M.M., 1991. The expression of class I patatin gene fusion in transgenic potato varies with both gene and cultivar. *Plant Mol. Bio.*, 16: S.153-160.

CHANG, M.M., CHIANG, C.C., MARTIN, M.W., HADWIGER, L.A., 1993. Expression of a Pea Disease Resistance Response Gene in The Potato Cultivar Shepody. *American Potato Journal*, 70: S.635-647.

COLLET, G.F., MALNOË, R., FARINELLI, L., REUST, W., 1993. Pommes de terre transgéniques au champ, contrôle de la résistance contre les virus PVY de la pomme de terre Bintje transformée génétiquement, *Revue suisse Agric.*, 25 (6): S. 373-381.

DALE, P.J. and McPARTLAN, Helen C., 1992. Field Performance of Transgenic Potato Plants Compared with Controls Regenerated from Tuber Discs and Shoot Cuttings. *Theoretical and Applied Genetics*, 84: S. 585-591.

DALE, P.J., IRWIN, J.A., SCHEFFLER, J.A., 1993. The Experimental and Commercial Release of Transgenic Crop Plants, *Plant Breeding*, 11: S.1-22.

DORSEY-REDDING, C., HURBURGH, C.R. Jr., JOHNSON, L.A., FOX, S.R., 1991. Relationships among maize quality factors. *Cereal-Chemistry*, 68 (6): S.602-605.

ERRAMPALLI, D., PATTON, D., CASTLE, L., MICKELSON, L., HANSEN, K., SCHNALL, J., FELDMANN, K, MEINKE, D., 1991. Embryonic Lethals and T-DNA Insertional Mutagenesis in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 3 (2): S.149-157.

FALCO, S.C. 1989. Herbicide resistant crops; In: *Genetically-engineered Plants: Scientific Issues in Their Regulation for Animal Feed and Human Food Uses*, workshop at Boyce

Thompson Institute for Plant research and Cornell University, Ithaca, New York, May 1-3, 1989.

FEIL, B. und STAMP, P., 1993. Sustainable Agriculture and Product Quality: A Case Study for Selected Crops, Food Reviews International, 9 (3): S. 361-388.

FIREK, S., ÖZCAN, S., WARNER, S.A.J., DRAPER, J., 1993. A wound-induced promoter driving *npt-II* expression limited to dedifferentiated cells at wound sites is sufficient to allow selection of transgenic shoots, Plant Molecular Biology, 22: S. 129-142.

FLADUNG, M., GIEFFERS, W., 1993. Resistance Reactions of Leaves and Tubers of *rolC* Transgenic Tetraploid Potato to Bacterial and Fungal Pathogens. Correlation with Sugar, Starch and Chlorophyll Content. Physiol Mol. Plant Path, 42 (2): S.123-133.

FLADUNG, M., BALLVORA, A., SCHMÜLLING, T., 1993. Constitutive or Light-Regulated Expression of the *rolc* Gene in Transgenic Potato Plants Has Different Effects on Yield Attributes and Tuber Carbohydrate Composition, Plant Molecular Biology, 23: S.749-757.

FRALEY, R., 1992. Sustaining the food supply, Biotechnology, 7: S. 1265-1269.

FRIEDMANN, T., 1989. Progress toward human gene therapy, Science, 244: S. 1275.

FYFE, A., 1978. Die Signatur der Venus im Pflanzenreich. Verlag Freies Geistesleben, 90pp.

GILLBERG, L., 1977. A study of the nutritive value of soybean meal and soybean protein isolates, Nutrition Reports international, 16 (5): S.603-610.

GOTTSCHALK, W., 1989. Allgemeine Genetik. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, Thieme, Stuttgart, NewYork: S.149-151.

HAHN, F.V. von, 1962. Thesigraphie. In: MEIER-PLOEGER, A. und VOGTMANN, H., 1988. Lebensmittelqualität - ganzheitliche Methoden und Konzepte, Alternative Konzepte, 66, C.F. Müller, Karlsruhe.

HOBBS, S.L.A., KPODAR, P., DELONG, C.M.O., 1990. The effect of T-DNA copy number, position and methylation on reporter gene expression in tobacco transformants. Plant Mol. Biol., 15: S.851-864.

HOFFMANN, M., 1995. Lebensmittelqualität - elektrochemisch betrachtet. Ökologie & Landbau, 23. Jg., 94 (2): S.13-16.

HOFFMANN, W., MUDRA, A., PLARRE, W., 1985. Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Band 2: Spezieller Teil. 2. Auflage, Paul Parey: 424pp.

HEDENSKOG, G. und MOGREN, H., 1973. Some methods for processing of single-cell protein, Biotechnology and Bioengineering, 15 (1): S. 129-142.

JONES, D.D. und MARYANSKI, J.H., 1991. Safety Considerations in the Evaluation of Transgenic Plants for Human Food; In: LEVIN, M.A., STRAUSS, H.S., risk assessment in genetic engineering, 1991, McGraw-Hill, Inc., New York, Hamburg, London, Paris, Tokyo, Toronto, etc.: S. 64-82.

JONGEDIJK, E.J., SCHUTTER, A.A.J.M. de, STOLTE, T., ELZEN P.J.M. van den; CORNELISSEN, B.J.C., 1992. Increased Resistance to Potato Virus X and Preservation of Cultivar Properties in Transgenic Potato under Field Conditions. *Bio/Technology*, 10: S.422-429.

KREMBEL, J., CANER, F., DUBRUILLE, D., MONTREUIL, J., KRAROUBI, D., 1975. Nucleic acids and derivatives in various French beers, *Cahiers de Nutrition et de Dietetique*, 10 (4; supplement): S.67-68.

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR ZÜCHTUNGSFORSCHUNG, 1992. Pflanzenproduktion und Biotechnologie, Köln: S. 195-204.

MEIER-PLOEGER, Angelika, 1995. Das lebende Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile - Zur ganzheitlichen Erfassung der Lebensmittelqualität. *Ökologie & Landbau*; Heft 94 (2), 23. Jrg.: S.6-11.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL USA, 1989. Field Testing Genetically Modified Organisms: Framework for Decisions. National Academy Press, Washington D.C.

ORTELLI, S., 1994. Zusammenhang zwischen der Resistenz gegen Braunrost (*Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici*) und der Ertragsbildung bei Winterweizen (*Triticum aestivum* L.), Diss., Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich: 60pp.

OSSWALD, W., ELSTNER, E.F., 1988. Die Wirt-Parasit-Beziehungen: Bakterien und Pilze als Parasiten. In: HOCK, B., ELSTNER, E.F., 1988. Schadwirkungen auf Pflanzen, Lehrbuch der Pflanzentoxikologie, 2., überarb. Auflage, B.I. Wissenschaftsverlag, Mannheim, Wien, Zürich: S.241-267.

PREUSCHEN, G., 1992. Die Gentechnologie zerstört Lebenssysteme. *Ökologie & Landbau*, 84: S.21.

PRONCZUK, A., LUBCZYNSKI, S., BARTNIK, J., 1971. *Przemysl-Spozywczy*, 25 (11): S. 458-460.

RAYBOULD, A.F. und GRAY, A.J., 1993. Genetically modified crops and their wild relatives - a UK perspective. United Kingdom Department of the Environment Publication. In Press.

SCHELL, J., 1988 Analysis of gene expression in transgenic plants, In: DURAND, G., BOBICHON, L., FLORENT, J. (Eds), 8th International Biotechnology Symposium, Proceedings, vol. II, Société Française de Microbiologie, Paris.

SCHMID, J.E., 1993. Züchtung auf Qualität und Quantität. Blockkurs Pflanzenzüchtung III, Institut für Pflanzenwissenschaften, Gruppe Ackerbau und Pflanzenzüchtung, ETH Zürich.

SCHMID, J.E., Institut für Pflanzenwissenschaften, Gruppe Pflanzenzüchtung, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich.

SCHMIDT, G., 1995. Lebensmittelqualität - wie kann sie erfasst werden? *Ökologie & Landbau*, 23. Jg., 94 (2): S.11-13.

SCHÜLER, C., 1992. Verträgt sich Gentechnik mit ökologischem Landbau? *Ökologie & Landbau*, 84: S.38-39.

SONNEWLAD, U., FROMMER, W.-B., ROCHA-SOSA, M., STOCKHAUS, J., SANCHEZ-SERRANO, WILLMITZER, L, 1992. Gene Expression in Transgenic Plants: Promoters, Protein Stability; In: FOWLER, M.W., WARREN, G.S. (Eds.), 5th European Congress on Biotechnology, second supplement: S. 913-915.

SHEWRY, P.R., TATHAM, A.S., HALFORD, N.G., BARKER, J.H.A., HANNAPPEL, U., GALLOIS, P., THOMAS, M., KREIS, M., 1994. Opportunities for manipulating the seed protein composition of wheat and barley in order to improve quality, *Transgenic Research*, 3: S. 3-12.

SIEFERT, E., 1993. Anhörung über Freisetzungsexperimente. *Ökologie & Landbau*, 21. Jg., 87: S.49-50.

SONDHOF, K., 1993. Der achte Tag der Schöpfung. *Ökologie & Landbau*, 21. Jg., 87: S.50-52.

THOMPSON, K.F., HUGHES, W.G., 1986. Breeding and varieties. In: SCARISBRICK, D.H. und DANIELS, R.W. (eds.), *Oilseed Rape*, William Collins Sons & Co. Ltd., London: S.32-82.

ROSS, H., 1978. Genetics of resistance and breeding virus resistant plant cultivars. *Abstr. Fourth Int. Congr. Virology*, den Haag: S.6-7.

THEN, C., 1993. Kein Patent auf Leben! *Ökologie & Landbau*, 21. Jg., 87: S.47-49.

VEZ, A., 1994. Recherche agronomique et agriculture biologique. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.*, 26 (6): S.343.

VOGTMANN, H., 1988. Lebensmittelqualität - ein ganzheitliches Prinzip. In: MEIER-PLOEGER, A. und VOGTMANN, H. (Hrsg.), *Lebensmittelqualität - ganzheitliche Methoden und Konzepte*, Alternative Konzepte, 66, C.F. Müller, Karlsruhe: S.9-28.

WARREN, G.S., 1992. Cell Culture and Recombinant DNA Technology in Plant Pathology; In: FOWLER, M.W. und WARREN, F.S. (Eds.), *Plant Biotechnology: Comprehensive Biotechnology*; second supplement, Pergamon Press plc, Oxford, New York, Seoul, Tokyo.

WENZEL, G., 1993. Resistenzen und Nahrungsqualität. In: Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung, 1993, XXVIII. Vortragstagung, Qualitätsbeeinflussung pflanzlicher Nahrungsmittel durch herkömmliche Pflanzenzüchtung und Gentechnologie, 22./23. März, Trier: S.220-230.

WENZEL, W. und AMANN, M. J., 1991. Lexikon der Gentechnologie, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest.

WINIGER, F.A., Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Reckenholz (FAP), CH-8046 Zürich.

2. Pflanzenzüchtung: Auswirkungen der Gentechnologie auf Züchtungspraxis, genetische Ressourcen und Biodiversität der Kulturarten

2.1 Einleitung

Über die Auswirkungen der Gentechnologie auf die verschiedenen Bereiche der praktischen Pflanzenzüchtung sind bisher nur wenige empirische Untersuchungen gemacht worden. Dies liegt wohl daran, dass bis heute nur wenige Zuchtprogramme mit gentechnischen Methoden bestehen, aus denen grossflächige Anbauversuche mit gentechnologisch veränderten Kulturpflanzen durchgeführt wurden. In Europa gibt es noch keine transgene Kultursorten, die für den kommerziellen Anbau zugelassen sind - unseres Wissens werden bisher einzig in den USA die transgene Tomatensorte FLAVR SAVR und ab 1996 eine gegen Maiszünsler resistente Maissorte mit eingebautem B.t.-Gen kommerziell angebaut. Ausserdem gibt es in China grossflächige Anbauversuche mit transgenen Tabakpflanzen.

Wenn man die Auswirkungen der Gentechnologie auf die Pflanzenzüchtung abschätzen will, ist es notwendig über die schweizer Grenzen hinauszuschauen, zum einen, weil die Zentren genetischer Vielfalt der in dieser Studie betrachteten Kulturarten ausserhalb der Schweiz liegen, und zum andern, weil es in der Schweiz nicht für alle diese Kulturarten ein eigenes Zuchtprogramm gibt. So stehen nur für den Weizen- und Maisanbau schweizer Zuchtsorten zur Verfügung.

In diesem Kapitel soll zunächst der Begriff "Biodiversität" genauer erläutert und für unsere Betrachtung abgegrenzt werden. In einem zweiten Abschnitt soll untersucht werden, inwiefern man in der klassischen Pflanzenzüchtung von genetischer Vielfalt sprechen kann. Anschliessend diskutieren wir, welche Auswirkungen die Anwendung gentechnologischer Methoden auf die praktische Pflanzenzüchtung, die genutzten genetischen Ressourcen und die Biodiversität der Kulturarten haben kann. Dazu möchten wir kurz einige Szenarien aufzeigen, wie zukünftig die Pflanzenzüchtung im Umfeld der Gentechnologie aussehen könnte und welche Konsequenzen sich besonders für diejenigen Anbausysteme ergeben, welche gentechnologische Methoden ablehnen. Schliesslich wollen wir diskutieren, ob und unter welchen Voraussetzungen die Gentechnologie einen Beitrag dazu leisten kann, um die genetische Vielfalt zu vergrössern oder einzuengen.

2.2. Der Begriff "Biodiversität"

Mit dem Begriff "Biodiversität" oder biologische Vielfalt können drei verschiedene Ebenen gemeint sein (nach STICH und COUCHEPIN, 1994; GOTSCH, 1993):

1. *die genetische Vielfalt (Vielfalt der Genotypen):*

die Gesamtheit der genetischen Variationen von Populationen und Individuen, welche es den Pflanzen ermöglicht, sich durch neue genetische Kombinationen den Veränderungen der Umgebung anzupassen

2. *die Artenvielfalt (spezifische Vielfalt):*

die Anzahl, die Frequenz und das Vorkommen verschiedener Arten in einem bestimmten Gebiet oder Biotop

3. *die Vielfalt der Ökosysteme:*

die verschiedenen in einer bestimmten Region auftretenden Ökosysteme, d.h. die verschiedenen Wirkungsgefüge von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen-Gemeinschaften mit der unbelebten Natur

Aus dem Blickwinkel der Pflanzenzüchtung ist die genetische Vielfalt, besonders wichtig. Unsere Betrachtung beschränkt sich deshalb vorwiegend auf dieses Gebiet. Die genetische Vielfalt wird einerseits durch das Verschwinden von Agrar-Biozöten verringert. Andererseits misst GOTTSCH (1993) dem Einfluss der Anwendung des biologisch-technischen Fortschritts (besonders des Züchtungsfortschritts) wesentlich mehr Bedeutung bei, wenn es um die Einschränkung dieser Vielfalt bzw. um die gezielte Nutzung der genetischen Ressourcen geht. Darauf soll im folgenden Abschnitt näher eingegangen werden.

2.3 Klassische Züchtung und genetische Vielfalt

2.3.1 Ziele und prinzipielles Vorgehen in der klassischen Pflanzenzüchtung

Ziele der klassischen Pflanzenzüchtung

Pflanzenzüchtung, ob mit oder ohne gentechnologische Methoden, hat zum Ziel, Pflanzen genetisch so zu verändern, dass sie besser an die Bedürfnisse des Menschen angepasst sind (BECKER, 1993). Der Züchter beurteilt sein Zuchtmaterial anhand von Kriterien, die in seinen Augen diesem Ziel zuträglich sind oder eher davon wegführen. Eine solche Zielsetzung bringt eine wesentliche Einschränkung der genetischen Vielfalt mit sich. Was der Mensch als nutzlos betrachtet, wird verworfen. Dies trifft bei der Auslese während des direkten Züchtungsvorgangs in besonderem Masse zu; Selektion bedeutet "Einengung genetischer Vielfalt in eine bestimmte Richtung" (BECKER, 1993). Andererseits ist die Pflanzenzüchtung auch auf genetische Vielfalt angewiesen: Auf der Suche nach neuen nützlichen Genen, muss sie auf eine möglichst breite genetische Basis zurückgreifen können. Zu diesem Zweck wird ein Pflanzenzüchter auf Wild- und Landsorten zurückgreifen sowie durch Kreuzungen immer wieder neue genetische Variation erzeugen. Pflanzenzüchtung schränkt also einerseits die genetische Vielfalt ein, ist aber gleichzeitig an der Erhaltung der genetischen Vielfalt interessiert, die ihr als Genpool dient. BECKER (1993) illustriert dieses Wechselspiel von Einschränkung und Erzeugung von genetischer Variation mit einem anschaulichen Beispiel aus der Winterweizenzüchtung:

"In den 80er Jahren enthielten die meisten deutschen Sorten in ihrem Stammbaum die Sorten 'Carstacht' oder 'Capelle'. In Abb. 2.1 ist der Stammbaum der fünf Sorten mit den grössten Vermehrungsflächen 1985 angegeben, sie nahmen zusammen über 60% der Fläche ein. Alle diese Sorten hatten 'Capelle' als Elter oder Grosselter, drei von ihnen ausserdem noch

'Carstacht' als Elter oder Grosselter. Soweit ist dies ein typisches Beispiel für genetische Verarmung. Die französische Sorte 'Capelle' und die deutsche Sorte 'Carstacht' sind jedoch ihrerseits genetisch weit voneinander entfernt und gehen auf einen sehr breiten Hintergrund von insgesamt 15 Landrassen aus sechs Ländern zurück. Die alten europäischen Landrassen wurden also durch moderne Sorten verdrängt, sie leben in ihnen aber gewissermassen weiter."

FOWLER und MOONEY (1990) sind hingegen der Meinung, dass der Ersatz einer Landrasse durch eine moderne, genetisch uniforme Zuchtsorte dem endgültigen Verschwinden dieser Landrasse gleichkäme. Durch *in-* und *ex-situ* Erhaltung kann dieser Gefahr zumindest teilweise entgegengewirkt werden. Darunter versteht man einerseits die Erhaltung von genetischem Material im Herkunftsgebiet (*=in situ*) bzw. in den Zentren genetischer Vielfalt und andererseits die Aufbewahrung in Genbanken (*=ex situ*).

Abb. 2.1: Abstammung wichtiger Sorten des Winterweizens in Deutschland (Quelle: BECKER, 1993)

Pflanzenzüchtung benutzt unterschiedliche Gen-Quellen

Die oben erwähnten Landrassen dienten also als genetische Ressourcen für die Winterweizenzüchtung in Deutschland. Wir möchten an dieser Stelle kurz auf die unterschiedliche Qualität der genetischen Ressourcen eingehen. Die genetischen Ressourcen können in Gruppen eingeteilt werden, die in unterschiedlicher genetischer Nähe zur Kulturart stehen. Man unterscheidet dabei den primären, den sekundären und den tertiären Genpool (*deutsch*: "Formenkreis"). Zum primären Genpool gehört die Kulturart selbst und andere ohne Schwierigkeiten kreuzbare Arten. Zum sekundären Genpool gehören Arten, aus denen Gene nur mit Schwierigkeiten übertragbar sind, entweder weil Kreuzungen einen geringen Ansatz zeigen oder weil die Kreuzungsnachkommen eine geringe Fertilität haben. Zum tertiären Genpool gehören schliesslich verwandte Arten, die nur mit Hilfe aufwendiger Spezialverfahren, wie z.B. Embryokultur oder verschiedenen Bestäubungstechniken, gekreuzt werden können. In Zukunft kann der Züchter mittels gentechnischer Methoden auch einzelne, isolierte Gene in sein Zuchtmaterial einbauen. Die Erhaltung der genetischen Vielfalt wird sich somit von der Population über das Individuum bis hin zum isolierten Gen erstrecken.

Der primäre Genpool wird weiter unterteilt in angepasstes Zuchtmaterial, exotisches Material und in Wildarten. Unter exotischem Material versteht man einerseits klimatisch nicht angepasste Zuchtsorten aus anderen Ländern, andererseits leistungsmässig nicht angepasste alte Landrassen.

In der praktischen Pflanzenzüchtung wird zum grössten Teil Material aus dem primären Genpool genutzt. Dabei spielt die Nutzung des angepassten Zuchtmaterials die wichtigste Rolle. Wenn dringend benötigte Eigenschaften im primären Genpool nicht gefunden werden, greift man auf den sekundären Genpool zurück; dies ist vorwiegend bei der Suche nach Resistenzgenen der Fall. Der tertiäre Genpool wird selten genutzt, weil dazu spezielle Techniken verwendet werden müssen.

Je nach Kulturart haben die verschiedenen Genpools unterschiedliche Bedeutung: Da bei Mais der primäre Genpool eine sehr grosse genetische Vielfalt aufweist (mit den Gattungen *Zea* und *Teosinte*), wird neues Zuchtmaterial fast ausschliesslich aus diesem Pool bezogen. Im Raps ist die Variation im primären Genpool sehr begrenzt, was dazu führt, dass viele erwünschte Eigenschaften nur in anderen *Brassica*-Arten des sekundären und vorwiegend des tertiären Genpools gefunden werden können (BECKER, 1993).

Ein Pflanzenzüchter wird, wenn immer möglich, zuerst im primären Genpool nach den gewünschten Genen suchen, ehe er auf den sekundären und tertiären Genpool zurückgreift. Dies geschieht u.a. aus den oben erwähnten technischen Gründen; ein anderer sehr wichtiger Grund liegt darin, dass bei der Einkreuzung von züchterisch wenig bearbeitetem Material viele unerwünschte Gene miteingeschleppt werden, die dann wieder mittels aufwendiger Rückkreuzungen entfernt werden müssen (DALE et al., 1993). Beispiele solcher unerwünschter Eigenschaften sind ein erhöhter Gehalt an Glucosinolaten in *Brassica*-Arten (THOMPSON und HUGHES, 1986) und an Glykoalkaloiden in Kartoffeln (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1989).

Einengung der Vielfalt und genetische Verwundbarkeit

Der typische Züchter verwendet heute also fast ausschliesslich Material aus dem primären Genpool. Dieses Vorgehen wirkt sich jedoch negativ auf die genetische Vielfalt aus. Die Pflanzenzüchtung entfernt sich durch ihre Zuchtfortschritte immer mehr von ihrem eigenen Basismaterial und die Nutzung der nicht angepassten genetischen Ressourcen erfordert daher umfangreiche Vorarbeiten. Rezessive, agronomisch ungünstige Gene erschweren die Saatgutproduktion beispielsweise bei Mais. Ökonomisch akzeptiertes Saatgut von Einfachhybriden kann nur aus I-Linien mit hoher Eigenleistung erstellt werden. In diesem Zusammenhang wird oft von genetischer Verarmung oder genetischer Erosion gesprochen. Eine direkte Folge davon ist eine erhöhte genetische Verwundbarkeit (BECKER, 1993).

Ein wichtiges Beispiel für genetische Verwundbarkeit

FOWLER und MOONEY (1990) beschreiben eines der wichtigsten historischen Beispiele für solch eine erhöhte Verwundbarkeit: den Zusammenbruch der Kartoffelernten in Irland durch eine Kraut- und Knollenfäule-Epidemie (*Phytophthora infestans*) 1845/46. Die Entwicklung der Kartoffel in Europa beruhte auf sehr wenigen ursprünglichen Einfuhren. Erst in diesem Jahrhundert wurden in grossem Umfang Wild- und Kulturarten in Südamerika eingesammelt und mit älteren europäischen Sorten gekreuzt (BECKER, 1993). Die Kraut- und Knollenfäule-Epidemie hatte eine grosse Hungersnot zur Folge, die zwei Millionen Todesopfer forderte und eine Migrations-Welle von ebensovielen Iren nach Nordamerika auslöste. FOWLER und MOONEY schliessen, dass die Ursache dieser Katastrophe die fehlende Resistenz der angebauten, genetisch engen Sorten war. Diese Resistenz konnte später durch Kreuzungen mit Material aus den Zentren genetischer Vielfalt in die Kultursorten eingeführt werden, die dort über Jahrtausende aufgebaut worden war. Die Autoren

nennen die Irische Hungersnot eine höchst dramatische Warnung vor den Gefahren der genetischen Einförmigkeit zum einen und zum andern betrachten sie es als das deutlichste Beispiel dafür, wie wichtig und wertvoll es ist, die genetische Vielfalt zu erhalten.

Bedeutende Stationen in der Geschichte der Pflanzenzüchtung

Ein kurzer Blick in die Geschichte der klassischen Pflanzenzüchtung zeigt uns wichtige Schritte die zur Einengung der genetischen Vielfalt geführt haben: die Wiederentdeckung der Mendel'schen Gesetze um die Jahrhundertwende, die Grüne Revolution in den 50er und 60er Jahren und die Durchsetzung von Verfügungsrechten von Züchtern und deren gesetzliche Festlegung zu Beginn der 60er und 70er Jahre (GOTSCH, 1993; FOWLER und MOONEY, 1990).

Bis im 19. Jahrhundert wurde Pflanzenzüchtung von gut beobachtenden Landwirten betrieben; die dabei selektierten Kultursorten waren regional sehr unterschiedliche und genetisch inhomogene Landrassen. Mit der Entdeckung der mendel'schen Vererbungsregeln wurde der Berufsstand der professionellen Pflanzenzüchter ins Leben gerufen. Die Züchtungen waren öffentlich verfügbar und Pflanzenzüchtung gehörte zu den staatlich finanzierten Dienstleistungen (DUVICK, 1992). Die genetische Vielfalt wurde nun gezielter bearbeitet und durch Selektion eingeschränkt. Eine neue Mentalität entwickelte sich parallel zur professionellen Pflanzenzüchtung: Variation wurde als schlecht angesehen und Uniformität galt als gut. Atypische Pflanzen in einem Feld hatten einen Anstrich von Unmoral. Ein Saatgutgemisch auf dem Feld galt als Zeichen schlechter Bewirtschaftung (FOWLER und MOONEY, 1990). BECKER (1993) schreibt zu diesem Phänomen:

"Auch ist es interessant, dass man schon sehr früh versucht hat, möglichst einheitliche Klonsorten zu entwickeln. Dies muss etwas mit der europäischen Mentalität zu tun haben, da die Indianer in den Anden bis heute auf ihren Feldern ein buntes Gemisch aus Kartoffeln mit verschiedener Ploidiestufe, verschiedenen Farben und unterschiedlichsten Knollenformen anbauen. In Europa wurde dagegen diese natürliche Vielfalt schon früh in viele verschiedene Sorten aufgeteilt, die sich einzeln beschreiben und mit hübschen Namen versehen liessen."

Dies gilt in dieser Ausschliesslichkeit sicherlich für die Vorkriegszeit. Heute ist die Uniformität vor allem durch zwei Zwänge bedingt: 1. durch extrem hohe Qualitätsanforderungen und 2. durch technologische Erfordernisse wie gleiche Reifezeit z. B. bei Brotgetreide, Braugerste und Kartoffeln.

Dieser Wechsel von den inhomogenen Landrassen zu den genetisch einförmigeren Zuchtsorten blieb nicht ohne Folgen, was Krankheiten und Schädlinge angeht. Erlitten zuvor die genetisch variablen Landrassen jedes Jahr leichte Verluste, so kam es nun mit der Verdrängung des Misch-Anbaus und mit der Einführung der modernen Sorten zur epidemischen Ausbreitung einzelner Krankheiten und Schädlinge. FOWLER und MOONEY (1990) gehen davon aus, dass es den neuen Sorten oft an der breiten Resistenz mangelte, die die Landrassen besaßen. KELLER (1990) untersuchte verschiedene Getreidelandsorten, die in den 30er und 40er Jahren im Kanton Graubünden gesammelt worden waren, unter anderem auf ihre Resistenzeigenschaften und verglich diese mit modernen Zuchtsorten. Er stellte dabei fest, dass sich die Annahme nicht bestätigte, dass Landsorten eine hohe

natürliche Resistenz gegen Krankheiten aufweisen. Keine der Landsorten war resistenter als die untersuchten Zuchtsorten. Daneben stellte er fest, dass es sich bei der Resistenz der Landsorten um horizontale Resistenzeigenschaften handeln muss. In einigen Fällen ist es also auch möglich, dass zu grossen Teilen der grossflächige, intensive Anbau (dichten Bestände) die Schuld an solchen Epidemien trägt.

Anfangs 40er Jahre kam es in Bengalen zu einer Hungersnot, weil eine Epidemie der Braunflecken-Krankheit die Reisernte zu grossen Teilen zerstörte (BROWNING, 1972). Auch in den USA wurden die Folgen der genetischen Uniformität sichtbar: In den frühen 70er Jahren kam es zu einer schweren Epidemie einer Blattfleckenkrankheit im Mais. Die grossen Verluste zeigten deutlich, dass Inzuchtlinien besonders anfällig waren (FOWLER und MOONEY, 1990; WOLFE, 1992).

Diese Entwicklungen führten dahin, dass im Verlaufe der Zeit ein immer grösserer Pestizid-Einsatz notwendig wurde, um der phytomedizinischen Probleme Herr zu werden. So hat sich der Pestizid-Aufwand in den USA von 1945 bis 1975 verachtfacht. Scheinbar trotzdem haben sich dort die jährlichen Verluste durch Schadinsekten in den letzten vierzig Jahren verdoppelt. Dies lag unter anderem an dem Verlust an räumlicher Heterogenität von Kulturflächen, an der Eliminierung von Nützlingen und daran, dass Schädlingspopulationen vermehrt Resistenz gegen Pestizide entwickelten (FOWLER und MOONEY, 1990).

Mit der Herstellung von Hybridsaatgut im Mais und mit dem gesetzlichen Schutz der Verfügungsrechte (UPOV-Übereinkommen 1961, Plant Variety Protection Act 1970) wurde die Privatisierung der Pflanzenzüchtung gefördert. Damit wurde auch die Forschung, besonders im Bereich der Bio- und Gentechnologie, mehr und mehr von der Privatwirtschaft der Industrieländer getragen. Da private Forschung ausschliesslich gewinnorientiert arbeitet, wurden die Zuchtziele und das Spektrum der bearbeiteten Kulturarten und angebauter Sorten weiter eingeschränkt (GOTSCH, 1993). FOWLER und MOONEY (1990) schätzen z.B., dass von den Betarüben-Sorten, die zu Beginn dieses Jahrhunderts von privaten Saat-zuchtfirmen in den USA angeboten wurden, bis 1983 der grösste Teil (94,5%) nicht mehr verfügbar sind, weil diese durch modernere Sorten ersetzt wurden.

Die Grüne Revolution führte schliesslich zu einem intensiven weltweiten Austausch von genetischem Zuchtmaterial. So kam es dazu, dass genetisches Material von den Ursprungs- und Diversitätszentren der Kulturpflanzen in die Zentren der technologischen Bearbeitung gebracht und dort in Hochleistungssorten eingebaut wurde (GOTSCH, 1993). In den Zentren der genetischen Vielfalt wurden nun plötzlich uniforme moderne Zuchtsorten angebaut. In den 70er Jahren wurde in Mexiko Hybridmais aus US-Saat-zuchtfirmen angesät, in Tibet wurde Gerstensaatzgut einer skandinavischen Zuchtstation verwendet und in der Türkei wurde Weizen aus dem mexikanischen Weizenzuchtprogramm (CIMMYT) angebaut.

Besonders in den Zentren genetischer Vielfalt hatte die Einführung moderner Kultursorten grosse Verluste an alten Landsorten zur Folge. Beipielsweise sind in beinahe 20 afrikanischen Ländern die afrikanische Reissorten am verschwinden, die von den einheimischen Bauern unabhängig von asiatischem Reis angebaut wurden. Ende der 60er Jahre kamen internationale Hilfsorganisationen nach Obervolta, die einen Fluss stauten und Bewässerungs-Systeme bauten, um den Anbau der von ihnen neu eingeführten asiatischen Reissorten zu ermöglichen. Die Erträge der neuen Sorten übertrafen die der afrikanischen um das Zehnfache. Die Bauern begannen, asiatische Sorten anzubauen. Aber 1971 veränderte sich die Situation, weil afrikanische Krankheiten die asiatischen Sorten befielen. Die Erträge gingen auf das vorherige Niveau zurück. Da nun aber soviel Geld in Bewässerung, Saatgut, Düngemittel und Ausrüstung investiert worden war, konnte sich niemand so tiefe

Ertäge leisten. Zu diesem Zeitpunkt waren nur noch zehn Prozent des angebauten Reises afrikanische Sorten. Es war zu spät um die Verdrängung dieser Landsorten rückgängig zu machen (FOWLER und MOONEY, 1990). Es gibt zahlreiche ähnliche Beispiele solcher Verdrängungsmechanismen. Wenn auch solche Verluste an genetischer Vielfalt unerwünscht ist, bleibt ein grosser Bedarf an Nahrungsmitteln in Ländern wie Afrika und Asien bestehen; dies führt heute und in Zukunft immer wieder zu einem schwierig lösbaren Zielkonflikt zwischen der Erhaltung der genetischen Vielfalt und einer ausreichenden Versorgung mit Nahrungsmitteln.

2.3.2 Erhaltung der genetischen Vielfalt im Interesse der Pflanzenzüchtung

Die klassische Pflanzenzüchtung braucht die genetische Vielfalt

Da die Pflanzenzüchtung jedoch auch auf die genetische Vielfalt angewiesen ist, hat sich auch ein Bewusstsein dafür entwickelt, dass die genetischen Ressourcen erhalten und geschont werden müssen. Ein Ansatz zur Erhaltung dieser Diversität ist das Sammeln von genetischem Material und dessen Lagerung in Genbanken (*ex situ*-Konservierung). Der russische Biologe Vavilov hat hierzu einen wesentlichen Beitrag geleistet. Von 1916 an bereiste er während zwei Jahrzehnten zahlreiche Länder und sammelte eine Viertelmillion Varietäten verschiedener Kulturarten. Vavilov war es auch, der durch seine Beobachtungen den Begriff "Genzentrum" oder "Zentrum genetischer Vielfalt" prägte.

Da genetische Ressourcen, die in Genbanken aufbewahrt werden, nicht mehr der natürlichen Selektion im Umfeld einer sich verändernden Umwelt ausgesetzt sind, besteht die Gefahr, dass diese Wildarten und Landsorten bei einem Wiederaufbau nach zu langer Zeit nicht mehr überlebensfähig sind. Anlässlich der Umwelt- und Entwicklungskonferenz der Vereinten Nationen (UNCED), die vom 3.-14. Juni 1992 in Rio de Janeiro stattfand, wurde das Übereinkommen über die Biologische Vielfalt von 156 Ländern, darunter der Schweiz, unterzeichnet und trat Ende 1993 in Kraft. Das Übereinkommen sieht Bestimmungen zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung der biologischen Vielfalt vor. Dazu gehört unter anderem die Erhaltung der genetischen Ressourcen in ihren natürlichen Lebensräumen (*in situ*-Konservierung) (STICH und COUCHEPIN, 1994).

Politische und rechtliche Aspekte der Erhaltung der genetischen Ressourcen

Im Rahmen des Übereinkommens wurde auch auf den Beitrag hingewiesen, den die Bauern in den Zentren genetischer Vielfalt geleistet haben, um die genetischen Ressourcen zu erhalten. In der Botschaft zum Übereinkommen der Vereinten Nationen über die biologische Vielfalt vom Mai 1994 heisst es:

"In der Landwirtschaft ist eine ausreichende Variation an genetischen Ressourcen zur Zuchtverbesserung von Kulturpflanzen und Nutztieren unabdingbar. Die Entwicklung der Biotechnologie, die wichtige Beiträge im Gesundheitssektor, in der Nahrungsmittelproduk-

tion und im Umweltschutz leisten kann, hängt weitgehend von der Verfügbarkeit von Ressourcen der biologischen Vielfalt ab. <...>Bis zum heutigen Tag war der Zugang zu den Ressourcen der biologischen Vielfalt frei und unentgeltlich. Aber es beteiligen sich in den Entwicklungsländern verschiedene lokale Bevölkerungsgruppen massgebend am Erhalt und an der Verbesserung der biologischen Vielfalt. Dank ihrer Technologien konnten die industrialisierten Länder wiederholt aus den Ressourcen der biologischen Vielfalt Profit ziehen, ohne sich dabei an ihrer Erhaltung zu beteiligen oder diejenigen zu entschädigen, die diese bewahrt und zur Verfügung gestellt hatten."

Der *In situ*-Konservierung genetischer Ressourcen wird eine sehr wichtige Bedeutung beigemessen. Da die Zentren genetischer Vielfalt zu einem wesentlichen Anteil in Entwicklungsländern liegen, die die Kosten dafür nicht alleine tragen können, sollen nun durch internationale Zusammenarbeit die finanziellen Mittel aufgebracht werden, um die Ressourcen in diesen Zentren zu erhalten (STICH und COUCHEPIN, 1994). Es ist allerdings zu erwähnen, dass durch die Industrieländer nicht nur finanzielle Beiträge an Genbanken und Sammelexpeditionen bezahlt wurden, sondern mit namhaften Forschungsbeiträgen und know how zum heutigen Stand beitrugen.

2.4 Pflanzenzüchtung im Umfeld der Gentechnologie

2.4.1 Neue Möglichkeiten in der Pflanzenzüchtung durch Gentechnologie

Gentechnologie eröffnet für die Pflanzenzüchtung in verschiedener Hinsicht neue Möglichkeiten. Dies macht Bio- und Gentechnologie besonders attraktiv, rechtfertigt zugleich aber auch, dass diese neuen Technologien sehr sorgfältig auf ihre Risiken untersucht werden. Prinzipiell liegt in der Bio- und Gentechnologie unter anderem das Potential:

- die Pflanzenzüchtung zu beschleunigen,
- Gene in Pflanzen einzubringen, die bisher auf sexuellem Weg nicht einkreuzbar waren und
- Pflanzen gegen Krankheiten und Schädlinge resistent zu machen, gegen die bisher keine Bekämpfungsmöglichkeit und keine Resistenz bekannt war.

Die aufgezählten Möglichkeiten stellen keine vollständige Liste dar. Sie erscheinen uns aber im Hinblick auf Krankheits- und Schädlingsresistenzen besonders wichtig. An dieser Stelle sei ergänzungshalber erwähnt, dass ein wichtiges Ziel der biotechnologischen Forschung darin besteht, mittels Gentechnologie die Inhaltsstoffe von Kulturpflanzen, so zu verändern, dass sie als Rohstoffe für die industrielle Verarbeitung verwendet werden können, statt wie bisher als Nahrungsmittellieferanten zu dienen (STEINRÜCKEN und DIECKMANN-HEIMBURG, 1993). Dies hätte natürlich in der Schweiz beträchtliche Auswirkungen, weil der Anbau nachwachsender Rohstoffe subventioniert wird. Die drei oben erwähnten Möglichkeiten sollen nachfolgend kurz besprochen werden.

Die Pflanzenzüchtung wird beschleunigt

Ein wesentlicher Nachteil von klassischen Pflanzenzüchtungsverfahren ist das unkontrollierbare Miteinkreuzen unerwünschter fremder Gene aus einem züchterisch wenig bearbeiteten Kreuzungspartner. Wie bereits erwähnt, trifft dies besonders beim Einkreuzen von Resistenzgenen aus dem sekundären oder tertiären Genpool zu. Um die unerwünschten Eigenschaften wieder zu entfernen, müssen zahlreiche Rückkreuzungen gemacht werden, was sehr zeitaufwendig sein kann. Wieviele Rückkreuzungen durchgeführt werden und wieviel Zeit dies in Anspruch nimmt, hängt davon ab, wie weit die Eltern in ihrem Leistungsniveau voneinander entfernt sind (BECKER, 1993). Mittels gentechnologischer Methoden ist es prinzipiell möglich, ein erwünschtes Resistenzgen in einem Schritt ins Genom der Empfängerpflanze einzubauen, ohne dass andere Gene "mitgeschleppt" werden (DALE et al., 1993). Rückkreuzungen wären in diesem Fall nicht notwendig. Ausserdem schätzt SHARP (1986), dass durch den allgemeinen Einsatz von biotechnologischen Methoden der Zeitaufwand, um eine neue Sorte herzustellen, in annualen Kulturarten wie Weizen etwa halbiert werden könnte. Noch wenig erforscht sind allerdings Interaktionen des Fremdgens mit den vorhandenen Genen. Dies könnte zusätzliche Selektionszyklen bedingen, welche den zeitlichen Vorteil reduzieren.

Der Genpool wird erweitert

Im vorangehenden Unterkapitel haben wir von den drei Genpools gesprochen, in denen ein konventioneller Pflanzenzüchter sein Zuchtmaterial sucht. Durch die Gentechnologie werden diese natürlichen Grenzen der sexuellen Kombinationsmöglichkeiten aufgehoben und der verfügbare Genpool erweitert (Abb. 2.2). Der Begriff 'natürliche Grenzen' bedeutet jedoch nicht, dass die klassische Pflanzenzüchtung nur Kreuzungen durchführt, die in der Natur vorkommen können. Durch die Verwendung spezieller Techniken, wie sie z.B. bei weiten Kreuzungen angewendet werden, werden Chromosomensätze kombiniert, die sich in "freier Wildbahn" nicht mischen würden. Dennoch bleiben solche Kreuzungen im Rahmen einer gewissen mehr oder weniger nahen Verwandtschaft der beiden Kreuzungspartner, weil ganze Chromosomensätze, nicht nur einzelne Gene kombinierbar sein müssen. Gentechnologische Methoden haben es ermöglicht, dass Pflanzen gegen Krankheiten und Schädlinge resistent werden, indem Gene aus Viren, Bakterien, anderen systematischen Pflanzen-Klassen, Insekten und sogar aus Säugern in ihr Genom eingebaut wurden.

Hier seien kurz einige Beispiele von unterschiedlichen Genquellen in transgenen Kartoffeln genannt:

Es wurden Sorten entwickelt und im Feld getestet, die Resistenz gegen verschiedene Viren besitzen; einerseits geschah dies z.B. dadurch, dass das Hüllprotein-Gen der betreffenden Viren ins pflanzliche Genom eingebaut wurde,

und andererseits, indem Ratten-Gene übertragen wurden, die in der Immunabwehr der Säuger eine wichtige Rolle spielen (USDA, 1995; TRUVE et al., 1993).

Andere Sorten erlangten Resistenz gegen Kartoffelkäfer-Larven, indem Gensequenzen aus gewissen Spezies des Bakteriums *Bacillus thuringiensis* ins Kartoffel-Erbgut transferiert wurden, die die Pflanzen zur Bildung eines spezifischen Endotoxins anregt (USDA, 1995).

Mehrere Versuche haben zum Ziel die Pilzresistenz der Kartoffeln zu erhöhen, indem z.B. die Pflanzen zur Produktion von Chitinase, einem Chitin-auflösenden Enzym aus dem Bakterium *Serratia marcescens*, angeregt wurden oder indem man sogenannte DRR-Gene (disease resistance response genes) aus Erbsen transferierte (USDA, 1995; CHANG et al., 1993).

Ausserdem wurden Kartoffeln mit Genen aus der Seidenraupen-Art *Hyalophora cecropia* transformiert, die ihnen Resistenz gegen verschiedene bakterielle Krankheiten verliehen (USDA, 1995).

Lösungen für bisher ungelöste phytomedizinische Probleme

Schliesslich hofft man, dass es gelingt, Pflanzen mittels gentechnologischer Methoden gegen Krankheiten oder Schädlinge resistent zu machen, gegen die man bisher keine anderen befriedigenden Massnahmen oder konventionelle Resistenzen kennt.

Als Beispiel sei hier die Rhizomania (BNYV-Virus) der Zuckerrübe erwähnt. Da das Rhizomania-Virus über den Bodenpilz *Polymyxa betae* übertragen wird und aus einmal verseuchten Böden auch bei langen Anbaupausen nicht mehr verschwindet, gab es bis heute nur die Möglichkeit, konventionell gezüchtete tolerante Sorten anzubauen oder den Zuckerrübenanbau ganz aufzugeben. Direkte Bekämpfungsmöglichkeiten sind keine vorhanden (A. BERTSCHI, pers. Mitteilung). Durch den Transfer des Hüllprotein-Gens aus dem Virus in Zuckerrübenpflanzen ist es gelungen, Resistenz gegen Rhizomania zu erzeugen. Der Hauptvorteil der transgenen gegenüber den konventionell gezüchteten Sorten liegt darin, dass die transgenen Pflanzen eine grössere Ertragssicherheit aufweisen. Ohne Befallsdruck zeigten transgene Zuckerrüben ein ähnliches Ertragsniveau wie nicht-resistente Hochleistungssorten und sind diesen bei Befall natürlich überlegen. Demgegenüber bringen konventionell gezüchtete rhizomania-tolerante Sorten einen niedrigeren Ertrag als nicht-resistente Sorten, wenn der Befallsdruck geringer ausfällt als erwartet (KRAUS, 1994). Unseres Wissens fehlen jedoch Versuche, die feststellen, ob transgene Sorten den konventionell gezüchteten toleranten Sorten unter Befallsdruck im Ertrag überlegen sind.

Ein anderes Beispiel sind nematodenresistente Kartoffelsorten. Bisher gab es einige konventionelle Resistenzen gegen zwei Nematodenstämme (Ro1 und Ro4). Man hofft nun, mittels Gentechnologie resistente Sorten zu erhalten, die ein breiteres Resistenzspektrum und ein gutes Ertragsniveau besitzen (STRUİK, pers. Mitteilung).

Unseres Wissens ist es sehr selten der Fall, dass es für ein phytomedizinisches Problem überhaupt keine konventionelle Lösung gibt. Oft werden wirtschaftliche Faktoren eine bestimmende Rolle spielen, wenn es darum geht, ob man sich nicht-gentechnologische Alternativen leisten will oder nicht.

Es scheint uns wichtig darauf hinzuweisen, dass transgene Sorten mit (anfänglich) sehr hoher Krankheits- oder Schädlingsresistenz das Potential besitzen, konventionell gezüchte-

te Sorten zu verdrängen, wenn sie diesen bezüglich der Ertragssicherheit oder dem Ausmass der Resistenz überlegen sind.

Als Beispiel seien hier die Kartoffelsorten erwähnt, die durch klassische Resistenzzüchtung gegen PLRV (potato leaf roll virus) resistent gemacht wurden. Die Resistenz dieser Sorten stammt aus verschiedenen Wildarten, davon abgeleiteten Bastarden und Kreuzungsklonen; es sind diese *Solanum demissum*, *Solanum acaule* und Formen von *Solanum andigena*. Es gibt dabei zwei gut untersuchte Resistenztypen. Zum einen die Infektionsresistenz, die polygen vererbt wird (BAERECKE, 1958), und zum andern die systematische Überempfindlichkeit (oder Intoleranz), die durch ein Hauptgen bewirkt und von Polygenen modifiziert wird (BUTKIEWICZ, 1978; ZADINA, 1978). Dem gegenüber haben Forscher mit gentechnologischen Methoden resistente Kartoffelpflanzen erzeugt, die Genkonstrukte mit einem viralen Hüllprotein-Gen aus PLRV enthalten (USDA, 1995). Je nach Ausprägung der konventionellen Resistenzen und je nach Befallsdruck erkrankt dennoch ein Prozentsatz von 10 bis 30% (sogar bis zu 100%) der Pflanzen (BAERECKE, 1961). Verschiedene Autoren berichten aus Feldversuchen mit transgenen Kartoffeln, dass die erhöhte Resistenz gegen PLRV beinahe bis zur vollständigen Immunität gehen kann (JONGEDIJK et al., 1993; KAWCHUK et al., 1990; KAWCHUK et al., 1991).

Die Vererbung und züchterische Bearbeitung von polygenen Eigenschaften ist wesentlich komplexer als die Bearbeitung von monogenen Eigenschaften. Deshalb wäre die transgene PLRV-Resistenz viel einfacher züchterisch verwendbar als die polygenen klassischen Resistenzen. Diese Tatsache und der Vorteil der vollständigeren Wirkung der Resistenz macht eine solche transgene Resistenz für den Pflanzenzüchter besonders attraktiv. Eine Hauptgefahr für die genetische Vielfalt ist sicherlich, dass entsprechend leistungsfähige Sorten zu bevorzugten Kreuzungspartnern werden und zugleich die Integration vorhandener Resistenzgene vernachlässigt wird. Das Risiko, dass die konventionelle Resistenz durch die transgene Resistenz verdrängt wird, ist deshalb erhöht.

2.4.2 Szenarien für eine Pflanzenzüchtung im Umfeld von Bio- und Gentechnologie

Wie könnte die praktische Pflanzenzüchtung in Zukunft aussehen?

Nachfolgend sollen zwei verschiedene Pflanzenzüchtungs-Szenarien skizziert werden, in denen die Gentechnologie zukünftig eine wichtige Rolle spielen kann. Zunächst soll ein Modell betrachtet werden, in dem fremde Gene in moderne, züchterisch bereits bearbeitete Zuchtsorten transferiert werden. Anschliessend soll ein Szenario betrachtet werden, in dem der Gentransfer zu Beginn des ganzen Züchtungsprozesses stattfindet.

In einigen Kulturarten werden die fremden (Resistenz-)Gene direkt in bereits bearbeitete Zucht-sorten eingebaut. Ein für die Schweiz wichtiges Beispiel sind die transgenen virusresistenten Kartoffeln, die an der Forschungsanstalt Changins im Feldversuch angebaut werden. Das Ausgangsmaterial für die transgenen Pflanzen waren Kartoffeln der Sorte 'Bintje'; 'Bintje' ist eine Sorte, die bereits seit 1935 in der Schweiz angebaut wird (VSVVS,

1975). In diese wurde nun mittels gentechnologischer Methoden das Hüllprotein-Gen des Mosaikvirus' Y transferiert (COLLET et al., 1993).

Eine Kultursorte wurde also zuerst mit konventionellen Methoden züchterisch bearbeitet und anschliessend mit gentechnologischen Methoden weiter entwickelt. Die Ausgangssorte 'Bintje' steht den Landwirten auch ohne die fremden Gene zum Anbau zur Verfügung und könnte auch mittels konventioneller Pflanzenzüchtung weiterbearbeitet werden. Dies versucht man bei Bintje seit 50 Jahren. Leider blieben die Versuche ohne durchschlagenden Erfolg, da der Züchtungsweg zu kompliziert ist und Bintje zu viele erwünschte Eigenschaften enthält, die beibehalten werden sollen. Im Beispiel der Kartoffeln werden Biobauern eher andere, konventionell gezüchtete Sorten mit guten Resistenzeigenschaften anbauen.

Bei einigen Kulturpflanzen hat es sich herausgestellt, dass moderne Hochleistungssorten schlechter transformierbar sind als primitivere Formen, wie Landrassen oder Wildpflanzen, weil die einzelnen Pflanzenzellen der Hochleistungssorten eine verminderte Totipotenz aufweisen. Dies ist z.B. bei Weizen der Fall. Bei dieser Kulturart wurde so vorgegangen, dass man zunächst das gewünschte Gen in eine weniger moderne Sorte transferierte und anschliessend diese transgene Primitivsorte mit einer modernen Zuchtsorte kreuzte. Danach bediente man sich der klassischen Methode der Rückkreuzung, um die restlichen unerwünschten Gene aus dem Kreuzungsprodukt wieder zu entfernen (BLATTER, pers. Mitteilung). Dadurch wird natürlich der Zeitgewinn gegenüber der klassischen Züchtung relativiert, beschränkt sich jedoch auf die Anfangsphase solcher Programme.

Konsequenzen für den Biolandbau

In Zukunft könnte es dazu kommen, dass im Zuchtgarten eines konventionellen Züchters vermehrt auch transgene Sorten als Ausgangsmaterial stehen und es letztendlich im Genpool kein "transgen"-freies Material mehr geben wird. Damit wären die Landwirte des biologischen Landbaus gezwungen, eine eigene Züchtung zu beginnen, wenn sie weiterhin den Einsatz der Gentechnologie ablehnen. Bis heute besass der Biolandbau kaum eigene Zuchtprogramme. Ein solches neu einzurichten, würde grosse finanzielle Anstrengungen und verstärkte internationale Zusammenarbeit erfordern. Wenn die alternative Pflanzenzüchtung auf die heute verfügbaren Zuchtsorten aufbaut, jedoch nicht weiter vom Zuchtfortschritt der konventionellen Pflanzenzüchtung profitieren kann, weil diese gentechnologische Methoden anwendet, würde die alternative Pflanzenzüchtung vermutlich aus finanziellen Gründen innert kurzer Zeit nicht mehr mit dem allgemeinen Zuchtfortschritt mithalten können.

Es stellt sich deshalb die Frage, ob in einer solchen alternativen Pflanzenzüchtung genetisches Material aus dem primären Genpool als Kreuzungspartner zugelassen wäre, welches via Gentransfer fremde Gene enthielte, welche eventuell im Verlaufe dieses neuen Züchtungsprogramms wieder entfernt würden. So bliebe es trotzdem möglich, Zuchtfortschritte für den Biolandbau zu nutzen, die nicht mittels direkten gentechnologischer Methoden erzielt wurden. Eine alternative Pflanzenzüchtung könnte so auf gewisse Ausgangssorten aufbauen, die aus der konventionellen Pflanzenzüchtung (mit Gentechnologie) gewonnen werden. Die mit gentechnologischen Methoden erreichten Resistenzen würden gewissermassen durch konventionelle Resistenzgene ersetzt werden. Um Sorten mit guten Resistenzeigenschaften zu erzeugen, würde sich die alternative Pflanzenzüchtung der Re-

sistenzquellen bedienen, derer sich die konventionelle Pflanzenzüchtung bisher bedient hat: der Wildformen und der Landsorten aus dem sekundären und tertiären Genpool (Tab. 2.1).

Tab. 2.1: Vergleich der benutzten Genquellen in einer konventionellen Resistenzzüchtung mit Einsatz gentechnologischer Methoden und in einer alternativen Pflanzenzüchtung ohne Gentechnologie; die Tabelle zeigt, welches Ausgangsmaterial von den verschiedenen Zuchtprogrammen benutzt werden kann und welcher Art wahrscheinlich die erreichte Resistenz ist. Schattiert: Genquellen, die für Resistenzen voraussichtlich besonders wichtig sind.

Konventionelle Züchtung plus GENTECH		Alternative Züchtung ohne GENTECH	
Ausgangsmaterial	Art der Resistenz	Ausgangsmaterial	Art der Resistenz
primärer Genpool mit und ohne fremde Gene	mono- bis polygene, horizontale und vertikale Resistenz	primärer Genpool ohne (ev. mit) fremde Gene	mono- bis polygene, horizontale und vertikale Resistenz
sekundärer Genpool	v.a. multigene, horizontale und vertikale Resistenz	sekundärer Genpool	mono- bis polygene, horizontale und vertikale Resistenz
tertiärer Genpool	v.a. multigene, horizontale und vertikale Resistenz	tertiärer Genpool	mono- bis polygene, horizontale und vertikale Resistenz
isolierte Gene aus Viren, Bakterien, Pilzen, Pflanzen, Tieren	mono- bis oligogene, horizontale und vertikale Resistenz	-	-

Wer wird an der Erhaltung genetischer Vielfalt interessiert sein?

GOTSCH (1993) vertritt die Meinung, dass der Wert der genetischen Ressourcen durch die Anwendung der neuen Bio- und Gentechnologien ansteigen wird, weil dadurch die Möglichkeit der gezielten Erzeugung und Umwandlung organischer Ausgangsstoffe dramatisch erhöht werden. Die Tatsache, dass die biologische Vielfalt nicht nur für die Erzeugung krankheits- und schädlingsresistenter Kulturpflanzen, sondern auch für die Herstellung von medizinischen Substanzen und Industrieprodukten von Bedeutung ist, stützt diese Meinung. Ein gesteigerter Wert bedeutet natürlich auch ein gesteigertes Interesse an der Erhaltung genetischer Vielfalt. DUVICK (1992) gibt jedoch zu bedenken, dass die Tendenz zu einem abnehmenden öffentlichen Engagement bei explizit gewinnorientierter Privatforschung zu einer einseitigen Bevorteilung ökonomisch interessanter Kulturpflanzen und zur Verdrängung bedeutungsloserer Arten führt.

Wir haben in den Datenbanken des USDA (US Department of Agriculture; APHIS) die Einträge für die in dieser Studie untersuchten Kulturpflanzen bezüglich transgener Krankheits- und Schädlingsresistenzen analysiert und dabei speziell auf die Herkunft der übertragenen Gene geachtet. Bei den über 120 Feldversuchen, die 1989 bis 1995 vom USDA be-

willigt worden sind, fanden wir weniger als 15 Fälle, bei denen die fremden Gene überhaupt aus dem Reich der Pflanzen stammten.

Bei den betreffenden Empfänger-Pflanzen handelt es sich um Kartoffeln, Mais und Raps. In Kartoffeln wurden Erbsen-Gene übertragen, um ihre Resistenz gegen gewisse Pilzkrankheiten zu verbessern, in Maispflanzen wurden für eine erhöhte Insekten-Resistenz Lektin-Gene aus Weizen übertragen und schliesslich wurden in das Genom von Rapspflanzen Kartoffel-Gene eingebaut, die für einen Proteinase Inhibitor kodieren und eine bessere Resistenz gegen Insekten bewirken soll (USDA, 1995). Die betreffenden Empfänger-Pflanzen und die Gen-Spender stammten also nicht einmal aus denselben systematischen Familien, sondern höchstens aus derselben Klasse. Die Gene stammten ansonsten meist aus Organismen, die mit den Empfänger-Pflanzen nicht verwandt waren; sehr oft waren die Genspender Viren oder Bakterien. Man könnte also sagen, dass Gentechnologie zwar Gene aus allen Quellen benutzen könnte, jedoch kaum Gene aus dem primären, sekundären oder tertiären Genpool verwendet.

Es sei hier noch einmal an das weiter oben erwähnte Beispiel des PLR-Virus der Kartoffel erinnert. Das mit gentechnologischen Methoden transferierte Resistenzgen stammte aus dem Virus selbst. Die mittels klassischer Züchtung eingekreuzten Resistenzeigenschaften stammten hingegen aus verschiedenen verwandten Wildarten der Kartoffel.

Wäre die Gentechnologie ein von der übrigen Pflanzenzüchtung isolierter Vorgang, hätten Unternehmen, die in diesem Gebiet arbeiten, nur ein sehr geringes Interesse an der Erhaltung der genetischen Vielfalt, die in den drei Genpools einer Kulturart zu finden ist. Heute sind es meist die traditionellen Pflanzenzüchtungsfirmen, die in das Gebiet der Bio- und Gentechnologie einsteigen. Die Gentech-Abteilung ist dort gewissermassen ins Zuchtunternehmen integriert. In diesem Fall scheint uns das Risiko, dass die Anwendung der Gentechnologie das Interesse an der Erhaltung genetischer Vielfalt verringert, eher gering zu sein. Es ist jedoch denkbar, dass in einigen Jahren die Erzeugung transgener Pflanzen technisch wesentlich erleichtert und automatisiert wird. Wenn Gentechlabors von der übrigen Pflanzenzüchtung abgekoppelt werden, ist es möglich, dass die genetische Vielfalt der bearbeiteten Kulturart für ein solches Unternehmen an Bedeutung verliert. FOWLER und MOONEY (1990) haben fünf Gesetze zur Erhaltung genetischer Vielfalt aufgestellt. Eines der Gesetze lautet:

"Agricultural diversity will not be saved unless it is used.

The value of diversity is in its use. Only in use can diversity be appreciated enough to be saved. And only in use can it continue to evolve, thus retaining its value."

Die Autoren begründen dieses Gesetz mit der Betrachtung der historischen Entwicklung der genetischen Vielfalt während den letzten 150 Jahren. Vor allem wenn man an die Schwierigkeiten bei der Weizen-Transformation denkt, scheint dieses Risiko klein zu sein; dennoch muss es in Betracht gezogen werden, solange die genetische Vielfalt einer Kulturart im Bereich der Gentechnologie nicht stärker genutzt wird.

Bio- und Gentechnologie verstärken Konflikte um Verfügungsrechte

Der ansteigende Wert genetischer Ressourcen verlangt jedoch auch mit zunehmender Dringlichkeit nach einer Klärung der Verfügungsrechte an genetischen Ressourcen. GOTSCH (1993) schreibt dazu:

" Die Anwendung der neuen Bio- und Gentechnologien wird den Wert der genetischen Ressourcen durch die Möglichkeit der gezielten Erzeugung und Umwandlung organischer Ausgangsstoffe dramatisch erhöhen. Sie hat nicht nur zu einem Konflikt um die Verfügungsrechte an genetischen Ressourcen zwischen Industrie- und Entwicklungsländern geführt, sondern auch zu einer gegenseitigen Benachteiligung der Entwicklungsländer. Beispielsweise handelte China mit zwei US-amerikanischen Unternehmen Verträge zur kommerziellen Nutzung männlich-steriler Linien zur Herstellung von Hybridreis aus <...>. Sie waren damit nicht mehr öffentlich verfügbar. China schloss andere asiatische Länder vom kostenlosen Gebrauch dieser ~~Nahrungsmittel~~ ~~Technologien~~ ~~Marktaus~~ ~~Neuansatz~~ ab. Inzwischen wird von den Ressourcen-Standortländern ein zunehmender Optionswert genetischer Ressourcen wahrgenommen. Dabei handelt es sich um den wirtschaftlichen Wert, welcher einem Gut in Erwartung eines zukünftigen Nutzens beigemessen wird. Dies hat zum Beispiel Äthiopien dazu bewogen, die Verwendung von Kaffee-Genen ausserhalb des Landes stark einzuschränken und eine hervorragend unterhaltene eigene Genbank für Kaffee aufzubauen."

Insgesamt bleibt in unseren Ausführungen die Unsicherheit bestehen, ob durch die Gentechnologie a) grundsätzlich andere Eigenschaften oder Produkte erwartet werden, was zur Unabhängigkeit vom Genpool bis hin zum Syntetischen führen kann oder ob b) ein definiertes Produkt wie z.B. Kaffee in seinen Eigenschaften verbessert wird.

Da durch die Anwendung bio- und gentechnologischer Methoden ein neuer Markt erschlossen und damit der Wert der genetischen Ressourcen erhöht wird, werden von den Anwendern dieser neuen Technologien Änderungen der Verfügungsrechte angestrebt, die die Nutzung einer von ihnen hergestellten Sorte strenger regeln. Ziel von solchen Verfügungsrechten ist, der Saatgutindustrie zu helfen, Gewinne aus ihren teuren Entwicklungen zu sichern oder zumindest die kostenintensiven Investitionen zu decken (GOTSCH et al., 1991).

In der Schweiz wurden die Verfügungsrechte bisher durch das Sortenschutzrecht geregelt, das 1961 im UPOV-Übereinkommen festgelegt wurde. Diesem Übereinkommen sind bisher 20 Länder beigetreten, darunter die meisten westeuropäischen Länder, die USA und Japan; jedoch keine Entwicklungsländer. Das Sortenschutzrecht ist für erstere verbindlich und beinhaltet das exklusive Recht des Inhabers einer Sorte, Vermehrungssaatgut der geschützten Sorte gewerbsmässig zu erzeugen oder zu vertreiben. Der Sortenschutz gilt in der Regel 25 Jahre. In diesem Verfügungsrecht gibt es einige besonders wichtige Regelungen: das Landwirteprivileg und der Züchterevorbehalt.

Das Landwirteprivileg erlaubt es einem Landwirt, einen Teil seiner Ernte wieder als Saatgut zu verwenden oder dem Nachbarn mit Saatgut aus eigener Produktion ohne Gewinnabsicht auszuhelfen. In der Bundesrepublik Deutschland wurde 1992 im Durchschnitt etwas weniger als 50% des Saatgetreides aus der eigenen Ernte nachgebaut (GOTSCH, 1993; BECKER, 1993). Dieses Privileg der Landwirte bedeutet natürlich einen Gewinnverlust für die Züchter, die versuchen, dieses Vorrecht abzuschaffen und durch Flächenlizenzen zu ersetzen (BECKER, 1993). Seit der Revision der UPOV-Konvention 1991 ist das Landwirteprivileg auch grundsätzlich nicht mehr erlaubt, aber nationale Vorschriften können Ausnahmeregelungen zulassen (GOTSCH, 1993).

Der Züchterevorbehalt erlaubt es, dass eine Sorte ohne weitere Einschränkungen zu Forschungs- und Züchtungszwecken verwendet werden darf (GOTSCH, 1993).

Durch die Entwicklungen in der Gentechnologie kam der Wunsch nach einer Patentierbarkeit von Sorten auf. Das Patent stellt das weitreichendste Ausschliesslichkeitsrecht bezüglich des Schutzes geistigen Eigentums dar. Der Patentschutz stammt ursprünglich aus dem Gebiet der technischen Erfindungen und wurde erst in den 70er Jahren auf das der Lebewesen ausgedehnt. Die nationalen Gesetze sind im Bereich der Biotechnologie sehr unterschiedlich. In den USA können seit 1985 Sorten patentiert werden, was bis heute in keinem europäischen Land möglich ist (BECKER, 1993).

Alle Patentgesetze sehen eine Entrichtung von Lizenzgebühren bei der Verwendung von Genen oder Genkonstrukten vor, deren Gewinnung, Herstellung oder Übertragung patentrechtlich geschützt sind, wenn sie in neuen Sorten enthalten sind (GOTSCH et al., 1991). Der wesentliche Unterschied zwischen Sortenschutz und Patentrecht besteht also darin, dass eine patentierte Sorte nicht mehr ohne Zustimmung des Patentinhabers für Züchtungszwecke verwendet werden darf.

LUKES (1990) beschreibt die Möglichkeit von Patent- bzw. Lizenzpyramiden. Ein Züchter hätte diese zu entrichten, wenn er eine Sorte auf den Markt bringt, die ein oder mehrere patentrechtlich geschützte Merkmale enthält. Die Folge eines solchen Systems wäre wahrscheinlich eine Erhöhung der Saatgutpreise.

Die Durchsetzung der Patentrechte gegenüber anderen Züchtern und gegenüber Landwirten wäre aus verschiedenen Gründen schwierig und teuer (GOTSCH, 1993). Ein wichtiges Argument ist die geographisch sehr weiträumige Verteilung der zu schützenden Erfindungen, z.B. einer transgenen Weizen-Sorte. Besonders ein unkontrollierter Nachbau und die Kreuzung solcher Sorten in den Zentren genetischer Vielfalt könnten schwerwiegende Folgen haben, indem ein fremdes Gen, das den Pflanzen auch im natürlichen Lebensraum einen Selektionsvorteil (z.B. Krankheits- und Schädlingsresistenz) verschafft, sich in den Populationen der Genpools der betreffenden Kulturart ausbreiten könnte, (sofern die betreffende Sorte fertile Nachkommen produziert). Dies hätte natürlich grosse Rückwirkungen für Pflanzenzüchter, die auf das genetische Material in diesen Zentren zurückgreifen wollen. Besonders im Rahmen eines alternativen Zuchtprogramms wäre dies sehr problematisch, da nicht mehr ausgeschlossen werden könnte, dass ein fremdes Gen im Zuchtmaterial vorliegt.

Ausserdem wäre die Durchsetzung des Patentschutzes für kleine Züchtungsfirmen zu teuer und die Anstrengung eines Patentprozesses oder die Abwehr von Verletzungsklagen finanziell nicht tragbar (COOK, 1989). So würden sich auf dem Saatgutmarkt langsam oligo- und sogar monopolistische Strukturen entwickeln, weil nur noch multinationale Konzerne konkurrenzfähig wären (GOTSCH, 1993).

BECKER (1993) sieht darin eine wesentliche Gefährdung der genetischen Vielfalt: "Der Sortenschutz (*Anm.*: gegenüber dem Patentrecht) wird oft als ein Instrument angesehen, das eine grosse Zahl von Zuchtbetrieben und damit automatisch eine grosse genetische Vielfalt garantiert."

GOTSCH (1993) ist der Auffassung, dass das Ausmass der Auswirkungen des Patentschutzes davon abhängt, wie wirkungsvoll diese Verfügungsrechte durchgesetzt werden können. Wenn ein revidiertes Patentrecht hohe Ausschlusskosten, jedoch keine Gewinnsicherung für Privatunternehmungen aufweist, werden die Marktchancen der neuen Bio- und Gentechnologien verringert und die vorhandenen Arten und Sorten weniger konkurrenziert.

Mittlere und kleinere Unternehmungen könnten jedoch durch ihren Fortbestand die regionale Erhaltung genetischer Vielfalt gewährleisten. Diese Unternehmen könnten dank erhöhter Flexibilität und Beschränkung auf regionale Märkte eventuell gerade mittels Gentechnologie überleben.

2.4.3 Könnte die Gentechnologie einen Beitrag zur Erhaltung und Schonung der genetischen Vielfalt leisten?

Die genetischen Ressourcen der ökonomisch interessanten Kulturarten steigen in ihrem Wert

DUVICK (1992) erwartet durch die verstärkte Beteiligung der gewinnorientierten Privatforschung in der Pflanzenzüchtung eine einseitige Bevorteilung ökonomisch interessanter Kulturpflanzen. Das so gesteigerte Interesse erhöht den finanziellen Wert der genetischen Ressourcen dieser wirtschaftlich bedeutenden Kulturarten. Deshalb ist es möglich, dass die zunehmende Wichtigkeit einzelner Kulturarten dazu führt, dass deren genetische Ressourcen besonders intensiv konserviert werden; während andere weniger interessante Arten noch viel rascher von der genetischen Erosion betroffen sind.

FOWLER und MOONEY (1990) sind jedoch der Meinung, dass es durch die Verlagerung der Saatgutproduktion in Richtung der multinationalen Konzerne auch innerhalb der Hauptkulturarten zu einer Verarmung der genetischen Ressourcen kommt, weil diese vermehrt von den grossen Konzernen kontrolliert und selektiert werden. Dies wird dadurch bedingt, dass ihre Selektionskriterien sehr stark an den marktwirtschaftlichen Entwicklungen und am technologischen Fortschritt orientiert werden. Schon heute bestehende Dominanzen einzelner Sorten zeigen deutlich, dass noch ganz andere Faktoren zur Beschränkung des aktuellen Sortenspektrums führen können.

Die Möglichkeit die genetische Vielfalt von Kulturarten schonend zu nutzen

Obwohl dies zur Zeit nicht gemacht wird, würde die Gentechnologie die Möglichkeit bieten, die noch nicht genutzten Gene der verschiedenen Genpools einer Kulturart schonender zu nutzen als dies heute der Fall ist. Wenn z.B. in der klassischen Züchtung auf der Suche nach einem Braunrost-Resistenzgen im Weizen das gesamte Genom einer Wildform mit in eine Kultursorte eingekreuzt wird, ist es möglich, dass nützliche Gene oder Allele während den folgenden Rückkreuzungs- und Selektionsschritten mit in die neue Zuchtsorte genommen werden, die gar nicht direkt Zielgegenstand des betreffenden Zuchtprogramms sind. Diese Gene resp. Allele werden beim nachfolgenden Anbau der Sorte bereits einen Selektionsdruck auf die betreffende Schädlings- oder Pathogen-Population ausüben. So könnten jene bereits Virulenz gegen dieses Resistenzgen oder -allel entwickeln, bevor es wirklich benötigt würde. Gentechnologie würde es nun ermöglichen ganz gezielt nur das Gen oder Allel aus einer Wildpflanze zu isolieren und in eine neue Sorte einzubauen, das tatsächlich gebraucht wird. Alle andern Gene oder Allele dieser Wildpflanze würden dem Druck der Krankheits- und Schädlingspopulationen noch nicht ausgesetzt.

Schonung von Resistenzgenen durch den Anbau von Multilinien

Es gibt verschiedene Strategien, mit denen man vertikale Resistenzen stabilisieren will. Der Nachteil von vertikalen Resistenzen liegt darin, dass sie nur gegen einzelne Rassen einer Pathogen-Population wirken. So werden diese Resistenzen relativ rasch durchbrochen, wenn sie einen hohen Selektionsdruck (z.B. durch grossflächigen Anbau derselben Sorte über mehrere Jahre) auf die Krankheits- oder Schädlings-Populationen ausüben. Strategien, die rasche Resistenz-Einbrüche verhindern, würden dazu beitragen, dass die in den genetischen Ressourcen vorhandenen Resistenzgene geschont würden.

Eine dieser Strategien ist der Anbau von Multiliniien (near isogenic lines). Dabei wird eine Mischung von Genotypen angebaut, von denen beispielsweise jeder ein unterschiedliches Resistenzgen gegen eine spezifische Rasse besitzt. So wird erstens der Anfangsbefall reduziert, indem nicht-virulente Sporen aus der Population eliminiert werden, und zweitens wird die apparente Infektionsrate vermindert, weil resistente Komponenten der Multiliniien Inokulum von anfälligen Linien eliminieren. Solche Multiliniien haben den Vorteil, dass mutiple Allele voll ausgeschöpft werden können (FRIED, 1982).

Diese Strategie hat bis heute noch keinen wichtigen Platz in der Landwirtschaft eingenommen, unter anderm weil die Entwicklung der Multiliniien sehr arbeits- und zeitaufwendig ist (FRIED, 1982). Die Gentechnologie könnte es ermöglichen, die verschiedenen Allele einfacher in die einzelnen Linien einzubringen und der Strategie der Multiliniien den Eingang in die Praxis zu erleichtern.

2.5 Zusammenfassende Bemerkungen

Mögliche Auswirkungen der Gentechnologie auf die Züchtungspraxis

Die Anwendung gentechnologischer Methoden wird wahrscheinlich einen starken Einfluss auf die Züchtungspraxis haben. Die Pflanzenzüchtung wird durch Vereinfachung und Rationalisierung der eingesetzten Techniken, Anwendung biotechnologischer Methoden und Zeiteinsparung durch Gentransfer beschleunigt werden. Gentechnologie wird den Pool verfügbarer Gene erweitern. Es wird möglich sein, phytomedizinische Probleme auf gentechnischem Wege zu lösen, für die es bisher keine Bekämpfungsmöglichkeiten gab.

Für den Biolandbau sind tiefgreifende Folgen zu erwarten: Da die Nutzung transgener Pflanzen für die biologischen Landbaurichtungen (System C) zur Zeit nicht in Frage kommt, wird es wahrscheinlich nötig sein, dass der organische Landbau eigene Zuchtprogramme einrichtet. Bisher gab es nur vereinzelte biologische Zuchtprogramme im Gemüse- und Feldbau (ELERS, 1993). Dies wird einen grossen finanziellen Aufwand mit sich bringen und eine verstärkte internationale Zusammenarbeit unabdingbar machen weil der Flächenbedarf für die Saatgutproduktion eines einzigen Landes zu klein wäre, um rentabel zu sein (ELERS, 1993). JANTSCH (1995) ist beispielsweise wie viele Vertreter des Biolandbaus der Meinung, dass der biologische Landbau möglichst rasch mit einer eigenen Getreidezüchtung beginnen soll. In Deutschland wurde vor kurzem vom Verein für gentechnikfrei erzeugte Lebensmittel ein Konzept vorgestellt, mit dem die Erzeugung gentechnikfreier Lebensmittel sichergestellt werden soll. Dieses Konzept sieht vor, dass ein Betrieb, der die "Naturgen"-Richtlinien einhält und sich dem Kontrollverfahren des Vereins unterzogen hat, die von ihm erzeugten Lebensmittel mit einer "Naturgen-Kollektivmarke" kennzeichnen darf. Die Nutzung dieser Marke ist an Lizenzgebühren gebunden; ein Teil der Lizeineinnahmen soll gezielt zur Förderung einer gentechnikfreien Züchtung von Nutzpflanzen, Nutztieren und Mikroorganismen eingesetzt werden (VGL, 1995).

Schützt oder gefährdet Gentechnologie die Biodiversität?

Der Verlust genetischer Vielfalt ist nicht prinzipiell ein gentechnologie-spezifisches Problem. Genetische Erosion ist viel älter als bio- und gentechnologische Methoden. Durch die Geschichte der letzten 150 Jahre hindurch war die Pflanzenzüchtung von einem Verlust an Biodiversität begleitet.

Gentechnologie besitzt sowohl das Potential, die genetische Vielfalt zu erhalten und zu schonen als auch, sie zu gefährden und einzuengen. Es wird von der zukünftigen Entwicklung marktwirtschaftlicher und rechtspolitischer Faktoren abhängen, welches Potential zum tragen kommt. Die gegenwärtigen Tendenzen weisen jedoch eher auf eine stärkere Einengung der Arten- und Sortenvielfalt hin. Da sich die Saatgutproduktion in Richtung multinationaler Unternehmen verlagert und die öffentlichen Forschungsaufwendungen auch in Europa stagnieren oder abnehmen, ist damit zu rechnen, dass grosse Saatgutkonzerne nur wenige ökonomisch interessante Kulturpflanzen einseitig bevorzugen und dass dadurch weniger bedeutende Arten verdrängt werden (DUVICK, 1992). Da private Saatgutfirmen relativ enge ausschliesslich gewinnorientierte Selektionskriterien anwenden, besteht auch das Risiko, dass die genetische Vielfalt innerhalb der betreffenden Kulturarten abnimmt. BECKER (1993) sieht in der Erhaltung zahlreicher kleinerer Zuchtunternehmen ein wirksames Mittel, um die genetische Vielfalt der Kulturarten zu erhalten.

Durch die Bearbeitung neuer Zuchtziele z.B. nachwachsender Rohstoffe könnte die genetische Vielfalt erweitert werden. Transgene Resistenzeigenschaften beruhen zur Zeit meist noch auf einem bis wenigen Genen. Dies vereinfacht die züchterische Bearbeitung. In vielen Fällen werden transgene Resistenzen den konventionellen Resistenzen in ihrer Wirkung kurzfristig überlegen sein. Diese beiden Punkte weisen darauf hin, dass transgene Sorten, die konventionellen, Sorten mit auf ganz anderen Genen beruhenden Resistenzeigenschaften verdrängen könnten. GOTSCH (1993) nimmt an, dass das Ausmass der Konkurrenzierung vorhandener Arten und Sorten durch transgene Sorten davon abhängt, inwiefern der Patentschutz eingeführt werden wird und durchgesetzt werden kann. Eine mangelhafte Durchsetzbarkeit der Verfügungsrechte wird das Angebot transgener Sorten durch private Saatgutfirmen einschränken, weil die Gewinnchancen zu unsicher wären.

Gentechnologische Methoden könnten auch einen Beitrag zur Erhaltung genetischer Vielfalt leisten. Wenn die Gene aus dem primären, sekundären oder tertiären Genpool mittels bio- und gentechnologischer Methoden gezielter und zeitlich gestaffelt genutzt würden, könnten die genetischen Ressourcen geschont werden. Eine Forschungsschwerpunkt innerhalb der Gentechnologie in dieser Richtung wäre sehr zu begrüssen.

STALLMANN (1988) schlägt eine Regelung des Lizenzsystems im Rahmen der Patentrechtsrevision vor, die den Aspekt der langen Wirkungserhaltung von Genen berücksichtigt. Er schlägt vor, dass ein Züchter für eine verwendete Eigenschaft mit zunehmender Lizenzdauer einen höheren Anteil an den Einnahmen erhält. Dies würde die Vermarktung langlebigerer Eigenschaften fördern und die Lebensdauer von Neuentwicklungen erhöhen.

2.6 Literatur

- BAERECKE, M.-L., 1958. Blattrollresistenzzüchtung. In: Hoffmann, Mudra, Plarre, 1985. Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Band 2, 2. Aufl., Paul Parey, Berlin und Hamburg: S.229.
- BAERECKE, M.-L., 1961. Erfahrungen mit einjährigen Kartoffelanbauversuchen unter starken Blattroll-Infektionsbedingungen. Z. Pflanzenzüchtung, 45; S. 225-253.
- BECKER, H., 1993. Pflanzenzüchtung. Ulmer, 327S..
- BERTSCHI, A., Zuckerrübenfachstelle, LS Strickhof, CH-8315 Eschikon-Lindau.
- BLATTER, R., Institut für Pflanzenwissenschaften, Gruppe Phytopathologie, ETH Zürich.
- BROWNING, J.A., 1972. Corn, Wheat, Rice, Man: Endangered Species. Journal of Environmental Quality, 1 (3): S.209.
- BUTKIEWICZ, H., 1978. Intolerance to potato leafroll virus (PLRV) occurring in potato plants. In: Hoffmann, Mudra, Plarre, 1985. Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Band 2, 2. Aufl., Paul Parey, Berlin und Hamburg: S.229.
- CHANG, M.M., CHIANG, C.C., MARTIN, M.W., HADWIGER, L.A., 1993., Expression of a pea disease resistance response gene in the potato cultivar Shepody. Amer. Pot. Journal, 70 (9): S. 635-647.
- COLLET, G.F., MALNOË, P., FARINELLI, L., REUST, W., 1993. Pommes de terre transgéniques au champ. Revue suisse d'Agriculture, 25 (6): S.373-381.
- COOK, A.B., 1989. Patents as non tariff trade barriers. Trends in Biotechnology, 7: S. 258-263.
- DALE, P.J., IRWIN, J.A., SCHEFFLER, J.A., 1993. The Experimental and Commercial Release of Transgenic Crop Plants. Plant Breeding 111: S.1-22.
- DUVICK, D.N., 1992. Plant Breeding In The 21st Century. Choices, 7 (4): S.26-29.
- ELERS, B., 1993. Züchtung für Alternativen Landbau - Sinn oder Unsinn. Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel), XXVIII Vortragstagung "Qualitätsbeeinflussung pflanzlicher Nahrungsmittel durch herkömmliche Pflanzenzüchtung und Gentechnologie", 22. / 23. März 1993, Trier: S. 244-250.
- FOWLER, C. und MOONEY, P., 1990. The Threatened Gene; Food, Politics, and the Loss of Genetic Diversity. Lutterworth Press, Cambridge: 279p.
- FRIED, P., 1982. Stabilisierung der Vertikalen Resistenz. Vortrag, In: DEFAGO, G., 1993. Génétique et utilisation de la résistance des plantes aux agents pathogènes, Vorlesungsskript, Phytomedizin/Pathologie, ETH Zürich: S. 30-31.

GOTSCH, N., RIEDER., P., 1991. Aspekte der Änderung von Eigentumsrechten an landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. *Agrarwirtschaft*, 40 (6): S. 179-185.

GOTSCH, N., 1993. Auswirkungen neuer Bio- und Gentechnologien bei Nutzpflanzen auf die Biodiversität. Vortrag in der Reihe "Biodiversität - Herausforderung für die Landwirtschaft", Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zentrum, 8092 Zürich.

JANTSCH, P., 1995. Braucht der Ökolanbau eine eigene Getreidezüchtung? *Ökologie & Landbau*, 95 (3), 23. Jrg.: S.67-68.

JONGEDIJK, E., HUISMAN, M.J., CORNELISSEN B.J.C., 1993. Agronomic performance and field resistance of genetically modified, virus-resistant potato plants. *Seminars in Virology*, 4(6): S. 407-416.

KAWCHUK, L.M., MARTIN, R.R., McPHERSON, J., 1990. Resistance in transgenic potato expressing the potato leafroll virus coat protein gene. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 3 (5): S. 301-307.

KAWCHUK, L.M., MARTIN, R.R., McPHERSON, J., 1991. Sense and antisense RNA-mediated resistance to potato leafroll virus in Russet Burbank potato plants. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 4 (3): S. 247-253.

KRAUS, J., 1994. Freisetzung virusresistenter gentechnisch veränderter Zuckerrüben unter besonderer Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Fragen. Aktueller Stand der gentechnischen Sicherheitsforschung in Bayern, Bayr. Landesamt für Umweltschutz.

LUKES, R., 1990. Rechtsetzung als wirtschaftlicher Faktor - die Folgen einer Dominanz des Patentrechtes über das Sortenschutzrecht. In: ALBRECHT, S. (Hrsg.), *Die Zukunft der Nutzpflanzen: Biotechnologie in Landwirtschaft und Pflanzenzüchtung*, Frankfurt-Main, New York, Campus: S. 83-95.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL USA, 1989. *Field Testing Genetically Modified Organisms: Framework for Decisions*. National Academy Press, Washington DC.

SHARP, W.R., 1986. Opportunities for Biotechnology in the Development of New Edible Vegetable Oil Products. *J. of the American Oil Chemistry Society*, 63 (5): S. 598.

STALLMANN, J.I., 1988. Plant Patents and the Role of the Public Sector in Plant Breeding. Poster paper presented at the XX International Conference of Agricultural Economists. In: GOTSCH, N., 1993. *Auswirkungen neuer Bio- und Gentechnologien bei Nutzpflanzen auf die Biodiversität*. Vortrag in der Reihe "Biodiversität - Herausforderung für die Landwirtschaft", Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zentrum, 8092 Zürich.

STEINRÜCKEN, G., DIECKMANN-HEIMBURG, A., 1993. Gentechnologie als Element zukünftiger Zuckerrübenzüchtung. *Zuckerrübe*, 42 Jg. (6): S. 376-378.

STICH, O. und COUCHEPIN, A., 1994. Botschaft zum Uebereinkommen der Vereinten Nationen über die Biologische Vielfalt. 94.040: 59S.

STRUIK, P.C., Wageningen Agriculture University, Department of Agronomy, Haarweg 333, P.O. Box 341, NL-6700 Wageningen

THOMPSON, K.F. und HUGHES, W.G., 1986. Breeding and varieties. In: DALE, P.J., IRWIN, J.A., SCHEFFLER, J.A., 1993. The Experimental and Commercial Release of Transgenic Crop Plants. *Plant Breeding* 111: S.1-22.

TRUVE, E., AASPOLLU, A., HONKANEN, J., PUSKA, R., MEHTO, M., HASSI, A., TEERI, T.H., KELVE, M., SEPPÄNEN, P., SAARMA, M, 1993. Transgenic Potato Plants Expressing Mammalian 2'-5' Oligoadenylate Synthetase are Protected From Potato Virus X Infection Under Field Conditions. *Bio/Technology*, 11: S.1048-1052.

USDA, 1995. Release Permits under 7 CFR Part 340. Biotechnology Permits, USDA, APHIS, BBEP, Riverdale, MD 20737: *Internet*.

VGL (Verein für gentechnikfrei erzeugte Lebensmittel e.V.), 1995. Gentechnikfreie Lebensmittel. *Ökologie & Landbau*, 95 (3), 23. Jrg.: S.50.

VSVVS, 1975. 50 Jahre Vereinigung schweiz. Versuchs- und Vermittlungsstellen für Saatkartoffeln (VSVVS). Jubiläumsbericht.

WOLFE, M.S., 1992. Übungen in Phytopathologie, Institut für Pflanzenwissenschaften, Bereich Phytomedizin / Pathologie, ETH Zürich.

ZADINA, J., 1978. Extreme Intoleranz gegen Blattrollvirus, Tests für ihre Ermittlung und Möglichkeiten ihrer Ausnützung in der Kartoffelzüchtung. In: Hoffmann, Mudra, Plarre, 1985. *Lehrbuch der Züchtung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen*. Band 2, 2. Aufl., Paul Parey, Berlin und Hamburg: S.229.

3. Auswirkungen der Gentechnologie auf die landwirtschaftliche Anbaupraxis

3.1 Einleitung

In diesem Kapitel soll der Frage nachgegangen werden, ob die Einführung gentechnologisch veränderter Kultursorten Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Anbaupraxis haben wird. Dabei sollen drei Hauptschwerpunkte betrachtet werden:

- die Gestaltung der Fruchtfolge
- eine mögliche Ausdehnung von Anbauflächen
- Veränderungen im Bereich der Pflanzenschutzmassnahmen

Wie bereits in den vorhergehenden Kapiteln erwähnt sind bis heute weltweit noch kaum transgene krankheits- oder schädlingsresistente Kultursorten zum kommerziellen Anbau zugelassen. Deshalb bewegen wir uns in diesem Kapitel ausnahmslos im Bereiche von Modellannahmen. Auch wenn wir uns bemüht haben, v.a. wahrscheinliche Szenarien zu berücksichtigen, sind die Zusammenhänge in der landwirtschaftlichen Anbaupraxis zu komplex, um mit Sicherheit zukünftige Entwicklungen sicher vorausagen zu können.

Um die Wahrscheinlichkeit von Annahmen zu erhöhen und hierauf anschliessend unsere Diskussion aufzubauen, haben wir in der Literatur nachgeforscht, welche Entwicklungen sich auf dem Gebiet der Gentechnologie für die fünf in dieser Studie berücksichtigten Kulturen abzeichnen. Dazu bedienten wir uns verschiedenster Methoden, die von CD-Rom-Literaturrecherchen über die Datensuche im Internet-System bis zu persönlichen Gesprächen mit Fachleuten reichte. Wir versuchten, die gefundenen Informationen in die phytomedizinische Situation der Schweiz und die aktuelle Anbaupraxis einzupassen. Dabei mussten wir reduktionistisch vorgehen und nahmen an, dass alle erwähnten transgenen Resistenzen erfolgreich Eingang in die Praxis finden würden. Wir bemühen uns, im Text jeweils zu erläutern, inwiefern diese gentechnologischen Ansätze bereits realisiert wurden: In vielen Fällen standen die transgenen Pflanzen bereits in Feldtests versuchsweise im Anbau, in anderen Fällen sind die neuen Genkonstrukte erst in vitro getestet worden.

3.2. Die phytomedizinischen Situation in der Schweiz, die aktuelle Anbaupraxis und mögliche Auswirkungen transgener Resistenzen in den einzelnen Kulturen

3.2.1 Rapsanbau und Fruchtfolge

Seit den 70er Jahren hat der Rapsanbau eine starke Ausdehnung erfahren, nachdem zuerst erucasäure- und später glucosinolatarme Sorten auf den Markt kamen. Da die neuen Sorten einen neuen Absatzmarkt erschlossen, war eine solche Ausweitung der Anbaufläche überhaupt möglich. Die Intensivierung des Rapsanbaus, der heute eine Fläche von 16'000 Hektaren bedeckt, hatte jedoch aus phytomedizinischer Sicht negative Folgen. Die Probleme mit Schädlingen und Krankheiten sind immer wichtiger geworden (FRIED, 1993).

Insbesondere hat der vermehrte Anbau zu einer Zunahme der Rapsstengelrüssler-Populationen geführt. Früher wurde Raps oft als zweijährige Kultur angebaut. Aus phytosanitären Gründen ist diese Anbauintensität seit den 50er Jahren in der Schweiz verboten (BROUWER, 1976).

Raps ist ein idealer Fruchtfolgepartner, da er mit andern Kulturen nur wenige Krankheiten und Schädlinge gemeinsam hat. Jedoch ist er mit der Zuckerrübe schlecht verträglich, weil beide Wirtspflanzen der Rübenzystennematoden (*Heterodera schachtii*) sind. Deshalb wird eine Anbaupause von drei Jahren empfohlen. In einer achtjährigen Fruchtfolge sollten deshalb nur je einmal Zuckerrüben und Raps angesät werden. Ebenfalls ist darauf zu achten, dass in Fruchtfolgen mit Zuckerrüben für den Zwischenfutterbau nur nematodenresistente Sorten von Kreuzblütlern angebaut werden (HÄNI et al., 1988). Die Bedeutung solcher vorbeugenden Massnahmen hat in den letzten Jahren zugenommen, seitdem vermehrt Anbausysteme gewählt werden, die eine möglichst kontinuierliche Begrünung der Bodenoberfläche anstreben ("System Immergrün").

Weitere für die Fruchtfolge limitierende Faktoren sind v.a. Pathogene wie Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*), Rapskrebs (*Sclerotinia sclerotiorum*) und Wurzelhals- und Stengelfäule (*Phoma lingam*) (HÄNI et al., 1988).

Wichtige phytomedizinische Probleme und ihre Bekämpfung in der Schweiz

FRIED (1993) hat die wichtigsten phytomedizinischen Probleme im schweizerischen Rapsanbau aufgeführt. Es sind:

Krankheiten:

- Rapskrebs (*Sclerotinia sclerotiorum*)
- Stengelfäule (*Phoma lingam*)
- Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*)
- Rapsschwärze (*Alternaria spp.*)
- Blattfleckkrankheit (*Pyrenopeziza brassicae*)

Schädlinge:

- Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*)
- Rapsstengelrüssler (*Ceutorhynchus napi*)
- Rapserdflor (*Psylliodes chrysophala*)
- Schnecken

Rapskrebs ist eine der Krankheiten, die in den letzten Jahren in der Schweiz an Bedeutung zugenommen hat (P.A. VULLIQUOD, pers. Mitteilung). Zu den Wirtspflanzen dieses Pathogens gehören neben Raps auch Sonnenblumen und Unkräuter, die dickwurzlig und markstengelig sind. Rapskrebs kann indirekt durch einen dreijährigen Anbauunterbruch, Unkrautbekämpfung in den Zwischenjahren sowie Erhaltung eines tätigen Bodens bekämpft werden. Ausserdem hemmen widerstandsfähige Sorten und eine zurückhaltende N-Düngung die Befallsentwicklung. Zu den Wirtspflanzen gehören u.a. Kartoffeln. Direkte Fungizidbehandlungen waren, zumindest bis vor kurzem, nur für Versuche bewilligt (FRIED, 1993), werden aber z.T. illegal durch geführt.

Stengelfäule gehört in der Schweiz zusammen mit dem Rapskrebs zu den wichtigsten Krankheiten. Auch dieses Pathogen hat in seiner Bedeutung in den letzten Jahren zugenommen (P.A. VULLIOUD, pers. Mitteilung). Stengelfäule wird durch einen Anbauunterbruch von drei bis vier Jahren zwischen allen Wirtspflanzen (Raps, Rüben und andere Kreuzblütlern), rechtzeitiges und sauberes Unterpflügen der Ernterückstände und Beseitigung des Ausfallrapses bekämpft (v.a. Frühbefall). Die Infektion der Pflanzen geschieht v.a. über Wunden, weshalb der Bekämpfung von Erdfloh und Stengelschädlingen eine wichtige Bedeutung zukommt. Der Anbau resistenter Sorten kann den Befall ebenfalls indirekt hemmen. Als einzige direkte Bekämpfungsmassnahme bietet sich die Saatgutbeizung an (HÄNI et al., 1992; FRIED, 1993).

Kohlhernie kann praktisch nur indirekt durch Kulturmassnahmen bekämpft werden. Auch hier ist ein Anbauunterbruch von drei bis vier Jahren zwischen anfälligen Haupt- und Zwischenfrüchten angezeigt. Auf gefährdeten sauren und feuchten Böden sollte der Unterbruch sogar sechs bis sieben Jahre betragen. Für diese Krankheit ist die Standortwahl von wichtiger Bedeutung; anmoorige Böden sind zu meiden. Massnahmen, die die Bodenfeuchtigkeit verringern und den pH-Wert anheben (Ausbringung von Kalkstickstoff), können dabei einen positiven Beitrag leisten. Hofdüngereinsatz und die Bekämpfung kreuzblütiger Unkräuter in den Zwischenjahren beschleunigen die Bodenentseuchung (HÄNI et al., 1988; FRIED, 1993).

Rapsschwärze hat nur eine Bedeutung in niederschlagsreichen, warmen Wetterperioden zwischen Blüte und Reife. Indirekt wird diese Krankheit durch Sortenwahl und Unterpflügen von Ernteresten bekämpft. Als direkte Massnahme kann das Saatgut mit einem Kontaktfungizid gebeizt werden (HÄNI et al., 1988; FRIED, 1993).

Gegen die **Blattfleckenkrankheit** (=Cylindrosporiose) sind noch keine Bekämpfungsmassnahmen erarbeitet worden. Hygienische Massnahmen und Sortenwahl scheinen eine Rolle zu spielen (HÄNI et al., 1988; FRIED, 1993).

Verluste durch Insekten sind und waren im schweizerischen Rapsanbau von wichtiger Bedeutung. In Anbauversuchen der eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalt in Changins, wurde festgestellt, dass Insektizidspritzungen den Ertrag durchschnittlich um 13,5% anhoben, wohingegen die durch Fungizidspritzungen bewirkte Ertragssteigerung nur bei durchschnittlich 8% lag (P.A. VULLIOUD, pers. Mitteilung).

Der **Rapsglanzkäfer** zählt zu den bedeutendsten Schädlingen im Rapsanbau. In Extremfällen kann es zu Ausfällen von bis zu 50% kommen. Indirekt können Ertragseinbussen durch den Anbau frühblühender Sorten vermieden werden. Dabei ist jedoch die Gefahr erhöht, dass durch Spätfröste Schäden entstehen. Auch die Einsaat von 2% Rüben als Fangpflanzen hat bei weniger schwerem Befall zu guten Erfolgen geführt. Die direkte Bekämpfung durch den Einsatz chemischer Insektizide (breitwirksame Pyrethroide) bringt ökologische Probleme mit sich: Viele Mittel sind toxisch für Bienen und zeigen unerwünschte Nebenwirkungen auf Antagonisten (HÄNI et al., 1992; BÜCHI, 1990).

Auch der **Rapsstengelrüssler** ist ein wichtiger Schädling. In den Hauptanbaugebieten kommt es häufig zum Befall der Rapsfelder. Vorbeugende Kulturmassnahmen sind Sortenwahl und frühe Stickstoffdüngung im Frühjahr. Auch hier wirken bei der Saat beigemischte Rüben (5-10%) am Feldrand als Ablenk- bzw. Fangpflanzen. Meistens wird im konventionellen und IP-Landbau die direkte Bekämpfung mittels Insektizidspritzung nach überschreiten der Bekämpfungsschwelle (breitwirksame Pyrethroide) durchgeführt (HÄNI et al., 1992; FRIED, 1993).

Der **Rapserdflor** gehört zu den Frühschädlingen. Der Minierfrass der Larven in den Blattstielen kann zu starken Auswinterungsschäden führen, wenn Wasser in die Frassgänge

eindringt und dort gefriert. Durch eine rechtzeitige Saat können indirekt Ertragsverluste vermieden werden. Schlupfwespen- und Nematoden-Arten gehören zu den natürlichen Feinden des Erdflohs. Einen direkten Schutz bietet die Saatgutbeizung gegen Befall der Jungpflanzen. Hier sind allerdings bereits vermehrt Probleme mit Resistenzentwicklung aufgetaucht. Insektizidspritzung werden bei Befall bereits im Herbst durchgeführt (HÄNI et al., 1988; FRIED, 1993).

Gentechnologie: Abschätzung ihres Einflusses auf FF und Anbautechnik

- Mögliche Auswirkungen auf die Gestaltung der Fruchtfolge

Aus agronomischer Sicht sind Krankheiten für die Fruchtfolgegestaltung im Rapsanbau von grösserer Bedeutung als die Schädlinge (P.A. VULLIOUD, pers. Mitteilung). Die Fruchtfolgerestriktionen im Rapsanbau gründen auf Krankheiten, gegen die bis anhin keine transgenen Resistenzen bekannt sind. Deshalb ist es derzeit unwahrscheinlich, dass der Rapsanteil in der Fruchtfolge durch die Einführung von anderweitig transgenen Sorten ansteigen wird.

Bei allfälliger künftiger entwicklung transgener Resistenzen ist jedoch zu bedenken, dass alle Fruchtfolgekrankheiten des Rapses entweder einen weiten Wirtspflanzenkreis haben oder in unregelmässigen räumlichen und zeitlichen Abständen auftreten. Daher sind transgene Resistenzen nur dann akzeptabel, wenn sie keine Ertragseinbussen mit sich bringen. Das Risiko eines unnötig niedrigen Ertrags ist sonst zu gross, falls die betreffende Krankheit nicht mit Sicherheit auftritt.

- Mögliche Auswirkungen auf die Anbaufläche

Wir erwarten momentan keine Ausdehnung der Anbaufläche, weil diese in der Schweiz durch ökonomische und politische Faktoren bestimmt wird. Eher wären absehbare künftige Veränderungen durch neue transgene Produktqualitäten bestimmt. Ohne schnellen Aufbau von Virulenzen bei Krankheitsepidemien könnte sogar eine Reduktion der Anbaufläche resultieren.

- Mögliche Auswirkungen auf Pflanzenschutz und Anbaupraxis

Gentechnologische Forschung wird zur Zeit auf dem Gebiet der Resistenz gegen *Rhizoctonia solani* (BROGLIE und BROGLIE, 1994; BENHAMOU et al., 1993) und der allgemeinen Insekten-Resistenz v.a. mittels B.t.-Toxin-Genen betrieben (z.B. USDA, 1993). Konsequenzen für die Anbaupraxis sind nur durch die Entwicklung von Insektenresistenzen zu erwarten, da *Rhizoctonia solani* in der Schweiz aus phytomedizinischer Sicht keine Bedeutung hat (P.A. VULLIOUD, pers. Mitteilung).

Die Insektenresistenz wird zu einer Ertragssteigerung führen, sofern die übrigen Eigenschaften einer transgenen Sorte gleich sind, wie die einer konventionellen Zuchtsorte.

Da mittels Gentechnologie sehr genaue Veränderungen des Genoms vorgenommen werden können, ist eine solche Ertragssteigerung durchaus möglich (WARREN, 1992).

Durch den Anbau einer transgenen insektenresistenten Rapsorte, kann beim Saatgut die Beizung gegen den Rapserrdfloh eingespart werden. Ausserdem würden ein bis zwei Spritzungen gegen Rapsglanzkäfer und Rapsstengelrüssler wegfallen (P.A. VULLIQUOD, pers. Mitteilung). HOFER (1995) rechnet dabei mit einer Kostenreduktion von 75.- Franken pro Hektare.

Bezüglich der Sortenwahl durch die Landwirte sind im System B Veränderungen zu erwarten, da die Reduktion der Spritzmittelmenge einerseits als ökonomischer Vorteil angesehen werden kann und andererseits weil eine solche Pestizidreduktion als erklärtes ökologisches Ziel gilt. Der Schluss liegt nahe, dass Landwirte, die nach den Prinzipien des Systems B wirtschaften, praktisch ausschliesslich solche transgenen Sorten anbauen werden, sofern es keine restriktiven Auflagen zur Verzögerung der Virulenzentwicklung auf seiten der Schädlinge gibt.

Dadurch dass die Applikation von breit wirksamen, teilweise bienentoxischen Insektiziden wegfallen, werden Bienen und andere Nützlinge geschont. Dieser Aspekt ist aus entomologischer Sicht als ökologischer Vorteil des Systems B gegenüber dem System A zu beurteilen. Zugleich ist es jedoch möglich, dass die Schädlinge nach einiger Zeit gegen das betreffende B.t.-Toxin resistent werden, wie dies bereits bei der Spritzung von B.t.-Präparaten der Fall war. Ob diese Virulenzentwicklung im Falle transgener Pflanzen weniger rasch verläuft, bleibt zukünftig abzuklären und wird von einem Sortenangebot mit unterschiedlichen B.t.-Resistenzen bestimmt sein..

Rückblickend ist festzustellen, dass Strategien zur indirekten Bekämpfung einzelner Schädlinge im Raps, wahrscheinlich nie entwickelt worden wären, wenn zuvor bereits resistente Sorten zur Verfügung gestanden wären. Die einfache und relativ billige Massnahme, 2% Rübsen in das Rapssaatgut zu mischen, hätte bis heute keine so grosse Verbreitung gefunden. Wenn prophylaktische Massnahmen weiterhin ein Ziel unserer Pflanzenschutzstrategien bleiben sollen, muss die Entwicklung solcher indirekten Bekämpfungsmethoden weiterhin gefördert werden. Es gilt deshalb vorzubeugen, dass transgene Sorten solche Massnahmen nicht vorschnell verdrängen.

3.3.2 Maisanbau und Fruchtfolge

Mais ist ein wertvolles Fruchtfolgeglied in getreidebetonten Fruchtfolgen. Er stellt eine ökologische Bereicherung dar, speziell im Hinblick auf die Fruchtwechselkrankheiten bei Getreide oder Raps. Die Unkrautbekämpfung wird wesentlich erleichtert, da Zeitpunkt und Dauer der Bodenbedeckung durch den Mais völlig verschieden ist im Vergleich zu Getreide. Zudem werden völlig andere Herbizide verwendet. Mais kann ausserdem auch als Refugium verschiedener Nützlinge betrachtet werden, das durch die lange Vegetationsperiode und die hohe Grünmasse entsteht, die sich vom Sommer bis spät in den Herbst ungestört durch häufige Schitte und breitflächig ausgebrachte Fungizide und Insektizide entwickelt.

Mais gilt als selbstverträgliche Kultur, die nur geringe FF-Ansprüche stellt. In Deutschland, Dänemark und im Elsass wurde Mais zum Teil 5, 10 und 15 Jahre lang auf 2/3 bis 4/5 der Ackerfläche angebaut (BROUWER, 1972). Auch in der Schweiz werden teilweise ebenso hohe Fruchtfolge-Anteile erreicht, besonders seit der Einführung von Frässaaten. Mais bringt hohe Erträge und im Anbau sind alle Arbeiten mechanisierbar, deshalb hat der Maisanbau auch in der Schweiz eine starke Ausdehnung erfahren und wird in einigen Gebieten als Monokultur oder in sehr engen Fruchtfolgen angebaut (FRIED, 1993). Dadurch ist es teilweise zu Problemen mit Bodenerosion, zur Entwicklung von resistenten Unkräutern, Nitrat-Verlusten und Herbizidinfiltation ins Grundwasser gekommen (AMMON, 1990). Ausserdem kann ein zu häufiger Anbau entscheidende Nachteile für den sonst guten Vorfruchtwert des Maises für Getreide mit sich bringen, weil Krankheitserreger (*Fusarium*-Arten) gefördert werden, die auch das Getreide befallen. Unter anderem deshalb wird empfohlen, einen Maisanteil von 20-30% in der Fruchtfolge nicht zu überschreiten (HÄNI et al., 1992). MAILLARD (1991) empfiehlt unter Berücksichtigung der in der Praxis üblichen Anbauintensität einen maximalen Anteil von 50% Mais in der Fruchtfolge. In Deutschland sind der Maiszünsler und der Beulenbrand für die Fruchtfolge von wichtigster Bedeutung; wegen diesen beiden Schadorganismen wird empfohlen, Mais höchstens alle drei Jahre anzubauen (BROUWER, 1972).

Allgemein sind in den letzten Jahren vermehrt Probleme mit triazin-resistenten Unkräutern aufgetreten. Insbesondere handelt es sich dabei um *Convolvulus spp.*, *Polygonum amphibium*, *Equisetum arvense*, von denen alle drei Resistenz durch Positionselektivität besitzen, ausserdem um Hirsearten, welche vermehrt zur Detoxifikation fähig sind, und schliesslich um spezifische Biotypen und Rassen aus verschiedenen Unkrautarten, die eine absolute chloroplastische Triazinresistenz besitzen.

Wichtige phytomedizinische Probleme und ihre Bekämpfung in der Schweiz:

FRIED (1993) hat für Mais die bedeutendsten Krankheiten und Schädlinge in der Schweiz zusammengestellt. Es sind:

Krankheiten:

- Stengelfäule (versch. *Fusarium*-Arten)
- Beulenbrand (*Ustilago maydis*)

Schädlinge:

- Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*)
- Drahtwürmer (*Agriotes*-Arten)

Mais wird von zahlreichen Krankheitserregern befallen, die aber nur selten hohe Ertragsverluste verursachen. Die bedeutendsten Pathogene sind Stengelfäule und

Beulenbrand. Um diese beiden Krankheitserreger indirekt zu bekämpfen wird Resistenzzüchtung betrieben. Direkte Massnahmen gibt es zur Zeit nicht.

Maiszünsler gehören in der Schweiz zu den bedeutendsten Schädlingen. Sie werden indirekt durch sauberes Unterpflügen des Strohs und geeignete Erntetechnik bekämpft. Für die direkte Bekämpfung werden nur in wenigen Fällen Insektizide angewendet. Die zur Zeit wichtigste direkte Bekämpfungsart ist der Einsatz von *Trichogramma*-Schlupfwespen; die Wirksamkeit dieser biologischen Methode ist besser als die der chemischen Verfahren. Eine geringere Bedeutung haben die Bekämpfungsverfahren mit Spritzung eines biologischen B.t.-Präparates (*Bacillus thuringiensis*) und der Einsatz von Pheromonen (HÄNI et al., 1992; FRIED, 1993). Im Ausland wird ein Kontaktinsektizid mit langer Dauerwirkung gespritzt; dieses ist in der Schweiz nicht bewilligt, weil *Trichogramma*-Schlupfwespen und andere Nützlinge, die die Blattlauspopulation unter einem schädlichen Niveau halten, mitvernichtet werden (AMMON, 1986).

Drahtwürmer treten besonder stark in den ersten zwei Jahren nach Wiesenumbruch auf. Deshalb wird empfohlen, in diesem Zeitraum keinen Mais anzubauen. Bei stark gefährdeten Parzellen wird das Ausbringen eines Insektizidgranulates zur Saat empfohlen (Prophylaxe). Bisher sind keine praxisreifen Alternativen zur chemischen Bekämpfung vorhanden; es gibt jedoch Pläne für die Entwicklung eines biologischen Verfahrens unter Einsatz des Pilzes *Metarhizium anisopliae* (HÄNI et al., 1988; FRIED, 1993).

Gentechnologie: Abschätzung ihres Einflusses auf Fruchtfolge und Anbautechniken

Zur Zeit wird in der gentechnologischen Forschung an Resistenzen gegen mehrere Insektenfamilien (z.B. Coleopteren, Lepidopteren) gearbeitet (KOZIEL et al., 1993; USDA, 1995). Kürzlich wurde in den USA eine transgene Maissorte mit einem B.t.-Toxin-Gen für den kommerziellen Anbau zugelassen. Diese transgene Hybridesorte besitzt Resistenz gegen Maiszünsler (BaZ, 1995). Das USDA (APHIS) berichtet ausserdem von einem hängigen Verfahren für die Freisetzung von transgenem Mais, der Resistenz gegen Pilze besitzt (USDA, 1995). Um welche Pilzarten und -rassen es sich dabei handelt, ist uns bis jetzt jedoch nicht bekannt. Nachfolgend werden einige zu erwartende Auswirkungen diskutiert, die solche transgenen Resistenzen mit sich bringen können:

- Mögliche Auswirkungen auf die Fruchtfolgegestaltung

Eine Erhöhung des Fruchtfolgeanteils von Mais ist in der Schweiz grundsätzlich unwahrscheinlich, da Mais regional bereits sehr intensiv angebaut wird (H.-U. AMMON, pers. Mitteilung).

Die Erhöhung des Maisanteils wird ausserdem limitiert, solange Mais und Getreide keine Resistenzen gegen *Fusarium*-Arten besitzen. Falls es sich bei der erwähnten Pilzresistenz um Resistenz gegen *Fusarium*-Arten handelt, und die Resistenz vollständig ist, kann mit wichtigen Konsequenzen für die Fruchtfolge gerechnet werden. Indirekte Auswirkungen auf den Getreideanteil sind zu erwarten. Im System B könnte ein hoher Maisanteil die Regel werden; in diesem Fall würde dem Anbausystem "Maiswiese" eine noch grössere Bedeutung zukommen, damit die negativen Auswirkungen wie Bodenerosion und Nitratauswaschung eingeschränkt bleiben.

Auch die Stellung des Maises innerhalb der Fruchtfolge könnte sich künftig ändern, falls ein Anbau nach Wiesenumbruch bei entsprechender Insektenresistenz gegen Drahtwürmer möglich wird.

- Mögliche Auswirkungen auf die Anbaufläche

Die Anbaufläche von Körner- und Silomais zusammen liegt etwa bei 65'000 Hektaren. Die Ausdehnung dieser Fläche wird prinzipiell von der Nachfrage bestimmt. Solange Mais nicht anderswertig, z.B. für die Produktion industrieller Rohstoffe, verwendet wird, ist deshalb nicht mit allzugrossen Veränderungen zu rechnen. Der Anbau wird ausserdem weniger durch phytomedizinische als durch klimatische Faktoren limitiert und wurde daher bisher durch den allgemeinen Züchtungsfortschritt in Richtung gut angepasster, leistungsfähiger Sorten bestimmt.

- Mögliche Auswirkungen auf den Pflanzenschutz und die Anbaupraxis

Durch die Resistenzen gegen Maiszünsler und Drahtwürmer wird es im System B wahrscheinlich zu einer Steigerung der Ertragsicherheit und ev. des Ertrags kommen.

Die prophylaktische Anwendung von Insektizidgranulaten gegen Drahtwürmer zur Saat würde im System B wegfallen. Dies ist gegenüber dem System A vor allem ein ökologischer Vorteil, nicht jedoch gegenüber dem System C, welches grundsätzlich auf den Einsatz chemischer Pestizide verzichtet. Kostenmässig würde die Einsparung von Insektiziden nicht viel bringen, da der gesamte finanzielle Aufwand für Pestizide nicht gross ist und bei etwa 23.- Franken pro Hektare liegen würde (HOFER, 1995)

Für das System B ist eine Verdrängung der biologischen Bekämpfungsmethode mittels *Trichogramma*-Schlupfwespen durch transgene Sorten zu erwarten, da die transgene Resistenz für den Landwirt eine bedeutende Arbeitseinsparung bringen wird im Vergleich zur biologischen Methode. Es stellt sich die Frage, ob eine solche Verdrängung erwünscht ist. Zum einen ist die Zielsetzung im Anbausystem B auf die Reduzierung der Spritzmittelmenge ausgerichtet. Sofern es sich jedoch um transgene Resistenz gegen Maiszünsler handelt, werden durch den Anbau solch neuer Sorten momentan keine Pestizide eingespart, sondern eine biologische Schädlingsbekämpfungsmethode konkurrenziert ev. teilweise ergänzt. Dies mag von Bedeutung sein, falls sinkende Erzeugerpreise den *Trichogramma*-Einsatz relativ verteuern. Zum zweiten war die Einführung und Verbreitung dieser biologischen Methode jedoch von beispielhafter Bedeutung und hatte Modellcharakter. Weil, wie oben für Raps erwähnt, B.t.-Resistenzen nicht sehr dauerhaft sind, würden zwischenzeitlich wichtige Erfahrungen und Infrastrukturen verlorengehen.

Es stellt sich insgesamt die Frage, ob die Entwicklung indirekter oder nicht-chemischer Bekämpfungsmethoden stattgefunden hätte, wenn bereits transgene insektenresistente Sorten zur Verfügung gestanden wären und inwieweit die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet solcher Methoden durch transgene Pflanzen damit verdrängt wird.

3.3.3 Zuckerrübenanbau und Fruchtfolge

Der Zuckerrübenanbau in der Schweiz wird durch viele Einflussfaktoren eingeschränkt. Die Anbaufläche wird von den Zuckerfabriken festgelegt und durch Anbauverträge den einzelnen Landwirten zugeteilt. Der Anbau von Zuckerrüben ist nur in Höhenlagen bis 600 (-700) m.ü.M. möglich. Ausserdem sind niederschlagsreiche Gebiete (> 1200mm NS) und Gebiete mit kürzerer Vegetationsdauer als 180-200 Tagen nicht für den Anbau geeignet. Die Zuckerrübe stellt recht hohe Ansprüche an den Boden, welcher tiefgründig und wasserdurchlässig sein sollte (HÄNI, 1986).

Neben diesen abiotischen Faktoren gibt es mehrere biotische Einflussgrössen, die den Anbau der Zuckerrübe einschränken. Ausser den phytosanitären sind auch die ökologischen Probleme nicht zu vernachlässigen, die beim Anbau von Zuckerrüben auftreten können. Zuckerrübenanbau bringt ein erhöhtes Risiko für Bodenerosion, Nährstoffauswaschung und Oberflächenabfluss mit sich, da der Boden erst ab Mitte Juni bedeckt ist. Der routinemässige, prophylaktische Granulateinsatz gegen den Rübenerdfloh beeinträchtigte massiv die Bodenlebewesen. Allerdings ist jetzt ein systemisches, ökologisch unbedenklicheres Beizmittel in die Praxis eingeführt worden, das jedocheine sehr lange Wirkungsdauer besitzt. Da generell Voraufbauherbizide verwendet werden, gibt es oft zu wenig Ablenkfutter für Schädlinge. Vielerorts wurden und werden die Feldränder totgespritzt und so ein wertvolles Nützlingsreservoir eliminiert. Schliesslich entsteht bei der Ernte ein erheblicher Bodenverlust, weil durchschnittlich etwa acht Gewichtsprozent Erde (entspricht etwa 5 t pro ha) mitgeerntet und abtransportiert wird. Eine Rückführung dieser Erde ist bisher aus phytomedizinischen Gründen nicht möglich (HÄNI, 1986).

Die Stellung der Zuckerrübe in der Fruchtfolge wird heute durch anbautechnische und phytomedizinische Probleme bestimmt und limitiert. Mais (insbes. Körnermais) sollte nicht als Vorfrucht angebaut werden, weil die Gefahr von Bodenverdichtungen, Herbizidnachwirkung und Beinigkeit der Rüben gross ist. Im weiteren sollten Zuckerrüben nicht im ersten oder zweiten Jahr nach Wiesenumbau angebaut werden, da sonst mit Verlusten durch Bodenschädlinge gerechnet werden muss. Schliesslich wird wegen Wurzelbrand resp. Auflaufkrankheiten eine Anbaupause von vier, wegen der Gefahr von Nematodenverseuchung von fünf bis sieben Jahren empfohlen. Aus diesem Grund sollte auch auf den Anbau anderer Gänsefussgewächse und Kreuzblütler (Randen, Raps) als Hauptkultur verzichtet werden; kuzliebige Kulturen nach Zuckerrüben sind eher möglich (z.B. Spinat, Rüben, Ölrettich), wobei nematodenresistente Sorten bevorzugt werden sollten (HÄNI, 1986; HÄNI et al. 1992).

Wichtige Phytomedizinische Probleme und ihre Bekämpfung in der Schweiz

Die wichtigsten Krankheiten und Schädlinge im Zuckerrübenanbau sind nach FRIED (1993) und HÄNI et al. (1992) zusammengestellt worden. Es sind:

Krankheiten:

- Auflaufkrankheiten (Wurzelbrand; *Pythium*-, *Aphanomyces*- und *Fusarium*-Arten)
- Cercospora-Blattflecken (*Cercospora betae*)
- Ramularia-Blattflecken (*Ramularia beticola*)
- Rhizomania-Virus (BNYVV)
- Vergilbungsvirus (BMYV)

Schädlinge:

- Rübenerdfloh (*Choatochema* Arten)
- Rübenkopfälchen (*Ditylenchus dipsaci*)
- Rübensystemnematoden (*Heterodera schachtii*)
- Blattläuse
- Ackerschnecken und Erdschnakenlarven

Wurzelbrandpilze können heute nur mit indirekten Methoden wirksam bekämpft werden. Zum einen mittels einer vier bis sechsjährigen Anbaupause, zum andern durch die Förderung der Krümelstruktur und schliesslich durch die Saattechnik; eine frühe und flache Saat in gut abgesetzte Böden und relativ enge Samenabstände (nicht auf Endabstand bei gefährdeten Böden) können einen wichtigen Beitrag leisten. Als direkte, jedoch nur teilwirksame Methode gilt die Saatgutbeizung. Da 100% des schweizerischen Saatguts importiert werden, hat der einzelne Landwirt darauf keine Einflussmöglichkeit (HÄNI, 1986; HÄNI et al., 1992; FRIED, 1993).

Cercospora-Blattflecken sind besonders gefährlich in Jahren mit feucht-warmen August. Etwa 10% der Anbaufläche wird deshalb mit fungiziden Kupferpräparaten ein bis zweimal behandelt. Indirekt wird diese Krankheit durch sauberes Unterpflügen der Pflanzenrückstände, durch den Anbau toleranter Sorten und durch zurückhaltende Stickstoff-Düngung bekämpft. Ausserdem ist es wichtig nur gut verrotteten Mist oder Kompost auszubringen, v.a. wenn Rübenblätter darin enthalten sind (HÄNI et al., 1992).

Ramularia-Blattflecken haben in der Schweiz eine geringere Bedeutung. Sie werden bei der Kupferspritzung gegen *Cercospora* mitbekämpft. Ausserdem gelten dieselben Möglichkeiten der indirekten Bekämpfung wie bei *Cercospora* (HÄNI et al., 1992).

Rhizomania gilt als wichtige Viruserkrankung in der Schweiz. Sie wurde erstmals 1983 festgestellt und wird durch den Bodenpilz *Polymixa betae* übertragen. Bei sehr starkem Befall musste der Anbau in gewissen Gebieten aufgegeben werden. Heute werden in leicht verseuchten Gebieten ausschliesslich konventionell gezüchtete rhizomaniatolerante Sorten (Rhizor / Riposte) angebaut. Es ist unmöglich diese Krankheit direkt zu bekämpfen. Um der Ausbreitung vorzubeugen, darf kein Erdrückschub von Verladestellen und Zuckerfabriken auf die Zuckerrüben-Felder erfolgen. Ausserdem müssen verseuchte Felder zuletzt bearbeitet werden (HÄNI, 1986; A. BERTSCHI, pers. Mitteilung).

Das **milde Vergilbungsvirus** (BMYV) kann in betroffenen Feldern zu Ertragsausfällen bis zu 50% führen. Die Gefährdung ist von Region zu Region verschieden. Das Virus wird durch die grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*) übertragen. Eine indirekte Bekämpfungsmöglichkeit stellt das Ausschalten bedeutender Winterquartiere dar. Direkt wird die Krankheit in betroffenen Regionen durch ein bis zwei Blattlaus-Spritzungen bekämpft (HÄNI et al., 1992).

Tierische Schädlinge sind v.a. im Jugendstadium und bei Saat auf Endabstand von wichtiger Bedeutung. Die zwei für die Schweiz bedeutendsten sind der Rübenerdfloh und das Rübenkopfälchen, eine Nematodenart (FRIED, 1993).

Zur Bekämpfung des **Rübenerdflohs** gibt es mehrere indirekte Bekämpfungsmöglichkeiten: Eine besonders wichtige Rolle spielt dabei das Belassen einer Restverunkrautung,

weil das Unkraut als Ablenkfutter für die Käfer wirkt. Dies kann zum Beispiel durch Hacken und Bandspritzung erreicht werden. Eine relativ dichte Saat senkt das Risiko von Ertragsverlusten erheblich. Durch eine frühe Saat und ein optimales Saatbett sind die Pflanzen beim Einflug der Erdflöhe bereits grösser und nicht mehr so empfindlich. Als direkte Bekämpfungsmassnahme wird prophylaktisch ein Granulat mit insektizider und nematizider Wirkung ausgebracht. Das Granulat wirkt gegen Drahtwürmer, Erdflöhe, Erdschnaken, Moosknopfkäfer, Rübenkopffälchen, usw.. Diese Behandlung wird in der Schweiz auf über 50% der Felder (Westschweiz sogar 70%) gemacht. Dazu ist zu bemerken, dass Drahtwürmer und Erdschnaken v.a. im ersten und zweiten Jahr nach Wiesenumbruch gefährlich sind. Da zugleich die Bodenlebewesen negativ beeinflusst werden, wäre eine gezieltere Bekämpfung oberirdischer Schädlinge wünschenswert. Dies wird heute durch den massiven Einsatz des neuen Beizmittels "Gaucho" anstelle von Granulat angestrebt (HÄNI, 1986; HÄNI et al., 1992; HÄNI, pers. Mitteilung).

Das **Rübenkopffälchen** ist ein spezifisch schweizerisches Problem. Es ist ein für die Fruchtfolge-Gestaltung wichtiger Schädling. Es sollte eine Anbaupause von fünf bis sieben Jahren eingehalten werden. Wenn die Nematodenart einmal in einem Boden vorhanden ist, haben Fruchtfolgerestriktionen nur noch eine ungenügende Wirkung. Wichtige indirekte Bekämpfungsmethoden sind Hygienemassnahmen, wie z.B. das Vermeiden von Verschleppung, indem die Erde von Verladegeräten nicht auf Fruchtfolgeflächen zurückgebracht wird; auch das Ausschalten von anderen Wirtspflanzen durch eine sorgfältige Unkrautbekämpfung in den Vorkulturen bringt wesentliche Vorteile. Zur direkten Bekämpfung wird bei der Saat ein nematizides Granulat ausgebracht (siehe Erdfloh) (HÄNI, 1986; HÄNI et al., 1992).

Rübenzystennematoden sind nur auf humusreichen Böden von Bedeutung. In der Schweiz ist der Befall relativ selten. In verseuchten Böden können jedoch bedeutende Verluste entstehen (HÄNI et al., 1992). Rübenzystennematoden können durch den Anbau von Fangpflanzen wie z.B. Luzerne, Roggen, Mais und Gründüngung (*Vicia*, *Trifolium*) bekämpft werden; diese Pflanzen regen die Nematoden zwar zum Schlüpfen an, bieten ihnen jedoch keine Nahrungsgrundlage. Ausserdem ist es wichtig, andere Wirtspflanzen (Raps, Rüben; Unkräuter: z.B. *Atriplex*, *Chenopodium*, *Stellaria*) in genügendem zeitlichen Abstand anzubauen resp. zu eliminieren (BROUWER, 1976).

Von den verschiedenen Blattlaus-Arten gehören zwei zu den Zuckerrübenschädlingen: Zum einen die schwarze Rüben- oder Bohnenblattlaus (*Aphis fabae*) und zum andern die grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*). Die **schwarze Bohnenblattlaus** verursacht selten bedeutende Verluste. Bei frühem Befall von Jungpflanzen können jedoch Ertragsausfälle von bis zu 30% auftreten. Die Spritzungen gegen diese Blattlausart sind in den letzten Jahren eher zurückgegangen, weil Nützlinge durch modernere Spritzmittel mehr geschont und durch anbautechnische Massnahmen gefördert wurden, und so die Blattlauspopulationen im Gleichgewicht halten konnten. Die **grüne Pfirsichblattlaus** ist von grösserer Bedeutung. Nicht wegen den möglichen Saugschäden, sondern weil sie Vektor des milden Vergilbungsvirus' (BMYV) ist. Bei Befallsgefahr wird sie durch Insektizide bekämpft. Es ist jedoch bereits Resistenzbildung gegen die eingesetzten Spritzmittel aufgetreten. Wie bei der schwarzen Bohnenblattlaus wirkt das Belassen einer Restverunkrautung positiv auf Blattlausantagonisten (HÄNI, 1986; HÄNI et al., 1992).

Schliesslich sind **Schnecken** und **Erdschnakenlarven** von zunehmender Bedeutung in der Schweiz. Die Ursache dafür ist im vermehrten Anbau von Herbst- und Winterzwischenfrüchten (mehr Grünflächen) zu suchen. Sie sind v.a. gefährlich bei schlechtem Rübenaufgang; in solchen Fällen ist eine Bekämpfung mit Schneckenkörnern möglich. In der Schweiz werden bis zu 10% der Felder behandelt. Seit wenigen Jahren besteht die Möglichkeit gebeiztes Saatgut einzusetzen. Frühe Saat, ausreichende Saattiefe und ein optimales

Saatbett sind wichtige Einflussfaktoren, um Schneckenschäden zu verhindern (HÄNI, 1986; HÄNI et al., 1992; HÄNI, pers. Mitteilung).

Gentechnologie: Abschätzung ihres Einflusses auf FF und Anbautechnik

In der Literatur werden mehrere mögliche transgene Resistenzen erwähnt. Ihr gegenwärtiger Realisierungsgrad ist sehr unterschiedlich; die einen stehen bereits seit mehreren Jahren im Stadium des Feldversuchs, die anderen werden erst im Labor getestet. Sie sind nachfolgend mit ihrer dazugehörigen Quellenangabe aufgeführt:

Krankheiten:

- Allgemeine Resistenz gegen pilzliche Pathogene (**Cercospora**, **Mehltau**, **Auflaufkrankheiten**) mittels eines Chitinase-Gens (STEINRÜCKEN und DECKMANN-HEIMBURG, 1993).
- Spezifische Resistenz gegen **Cercospora** mittels Mj-AMP oder RS-SFP-Peptidgenen (CAMMUE et al., 1993).
- **Allgemeine Virus-Resistenz** durch Einbau eines Antikörper-Abwehrsystems aus Säuegetieren (STEINRÜCKEN und DIECKMANN-HEIMBURG, 1993).
- **Rhizomania**-Resistenz (BNYVV) mittels des viralen Hüllprotein-Gens von BNYVV (STEINRÜCKEN und DIECKMANN-HEIMBURG, 1993; USDA, 1995).
- Resistenz gegen das **Vergilbungsvirus** (VMYV) ebenfalls mittels des betreffenden Hüllproteins (Projekt der BBA in Braunschweig; STEINRÜCKEN und DIECKMANN-HEIMBURG, 1993).

Schädlinge:

- **Insekten**-Resistenz mittels B.t.-Protein-Gen aus *Bacillus thuringiensis* (STEINRÜCKEN und DIECKMANN-HEIMBURG, 1993).
- **Nematoden**-Resistenz; Gen, Genquelle und Resistenzmechanismus nicht erwähnt (STEINRÜCKEN und DIECKMANN-HEIMBURG, 1993).

Die einzige transgene Resistenz, die bereits in Feldversuchen getestet wird, ist die Resistenz gegen Rhizomania. Alle übrigen Resistenzen sind erst im Labormassstab getestet worden oder werden als hypothetische, aber wirtschaftlich interessante Möglichkeiten erwähnt.

Wenn wir davon ausgehen, dass all diese Resistenzen erfolgreich in die Praxis eingehen werden, sind folgende Effekte auf die Anbautechniken und die Fruchtfolge-Gestaltung zu erwarten:

- Mögliche Auswirkungen auf die Fruchtfolgegestaltung

Den vermutlich weitaus grössten Effekt (für gewisse nematodenverseuchte Gebiete) würde die Einführung transgener, nematodenresistenter Sorten mit sich bringen. Die Gefahr von Nematodenverseuchung brachte die Fruchtfolgerestriktion, eine Anbaupause von fünf bis sieben Jahren einzuhalten. Wenn nun eine Zuckerrübensorte mit kombinierter Resistenz gegen Wurzelbrand und Nematoden zur Verfügung stünde, wäre eine Reduktion der Anbaupause auf ein bis drei Jahre möglich. Das USDA (1995) berichtet für Kartoffeln bereits von mehrfachen und kombinierten Resistenzen; eine solche Kombination kann auch für in transgenen Zuckerrübensorten erwartet werden. In den 70er Jahren wurde bereits von ein- bis zweijährigen Anbaupausen in nematodenfreien Gebieten in Italien und Frankreich berichtet. In Oberitalien fand man FF-Anteile von Zuckerrüben von 50% (BROUWER, 1976). Allerdings wurde dort auch von den negativen Auswirkungen auf die Boden-Mikroorganismen und einer damit zusammenhängenden verschlechterten Keimung in Zuckerrüben-Monokulturen berichtet. Ausserdem müsste in solch engen Fruchtfolgen mit gravierenden Bodenstrukturschäden und gerechnet werden, was wiederum zur Beschränkung des Zuckerrübenanbaus führen wird (Beinigkeit der Rüben; HÄNI et al., 1988).

Zuckerrübensorten mit einer wirksamen Resistenz gegen Wurzelbrand-Krankheiten würden dazu führen, dass eine wichtige Fruchtfolge-Restriktion wegfällt. Im heutigen Zuckerrüben-Anbau bewirken u.a. diese Pathogene, dass nur alle vier bis sechs Jahre Zuckerrüben angebaut werden können.

Man kann annehmen, dass v.a. durch kombinierte transgene Resistenzen in neuen Zuckerrübensorten eine Einengung der Fruchtfolge möglich wäre. Die Anbaupausen könnten im System B auf ein bis drei Jahre gesenkt werden. Ausserdem würde die Ertragssicherheit im Zuckerrübenanbau erheblich gesteigert und die Ertragsverluste minimiert werden. Durch das Zusammenspiel dieser drei Faktoren, wäre ein Rückgang der gesamten Zuckerrübenanbaufläche zu erwarten, falls die Zuckerrübenfabriken ihre Produktion nicht ausweiten. Für den einzelnen Betrieb im System B könnte dies zwar eine Erhöhung des Zuckerrüben-Anteils in der Fruchtfolge bedeuten, doch eine gesamtschweizerische Ausdehnung des ZR-Anbaus würde von agrarpolitischen Massnahmen abhängen.

- Mögliche Auswirkungen auf die Anbaufläche

Wenn Betriebe, die nach den Prinzipien des Anbausystems B wirtschaften, rhizomania-resistente transgene Zuckerrübensorten anbauen könnten, bestünde die Möglichkeit, dass Regionen, in denen der Zuckerrübenanbau wegen Rhizomania-Verseuchung aufgegeben worden ist, den Anbau wieder aufnehmen. In Gebieten, die von Verseuchung mit Rübenzysten-Nematoden betroffen sind, würde durch transgene nematoden-resistente Sorten ein vormals aufgebener Anbau wieder möglich werden. Dies könnte ausser ökonomischen auch

bedeutende ökologische Vorteile mit sich bringen, so dass der Anbau vornehmlich von der Eignung des Bodens und des Klimas bestimmt würde.

Da die Anbaufläche für Zuckerrüben grundsätzlich von den Zuckerfabriken festgelegt wird, ist dagegen eine Ausdehnung der Flächen eher unwahrscheinlich, solange die verarbeitende Industrie ihre Kapazitäten resp. ihre Produktpalette (z.B. Ethanolherstellung) nicht erweitert. Dadurch dass die Ertragssicherheit über den Anbau transgener krankheits- und schädlingresistenter Sorten gesteigert werden wird, ist es wie oben erwähnt sogar möglich, dass die Zuckerrübenflächen etwas reduziert werden müssten.

- Mögliche Auswirkungen auf den Pflanzenschutz und die Anbaupraxis

Bei Zuckerrübensorten mit transgener Resistenz gegen Wurzelbrandkrankheiten würde die Saat auf Endabstand weniger risikoreich; im System B würde der grosse Arbeitsaufwand für das Vereinzeln wegfallen und stattdessen eine zusätzliche Herbizidbehandlung nötig werden. Auch der Saatgut-Verbrauch würde im System B gesenkt werden. Schliesslich würden im System B die indirekten Bekämpfungsmassnahmen an Bedeutung verlieren; die Erhaltung einer guten Krümelstruktur und eine korrekte Saat, würde aus rein phytomedizinischer Sicht nicht mehr notwendig sein. Dies könnte zu Folgeproblemen für die Bodenfruchtbarkeit führen (Erosion, Bodenlebewesen, usw.), wenn nicht auch weiterhin aus physiologischen Gründen ein optimales Saatbett erwünscht wäre.

Eine Cercospora-resistente Rübensorte hätte weniger tiefgreifende Auswirkungen. Lediglich im Bereich der Anbautechnik könnten die Spritzungen mit Kupfermitteln auf den 10% der Anbaufläche eingespart werden, auf denen heute Fungizide ausgebracht werden. Damit würden ein bis zwei Fungizidbehandlungen unter der Voraussetzung wegfallen, dass eine konstitutiv ausgeprägte Resistenz keine Ertragsreduktion ohne Befall bedingt.

In der Schweiz werden heute bereits rhizomania-tolerante konventionell gezüchtete Sorten angebaut. Die Einführung einer vollständig resistenten, transgenen Sorte hätte im System B mehrere direkte Anbautechnische Konsequenzen. Mit einiger Wahrscheinlichkeit würden die konventionellen toleranten Sorten von den transgenen abgelöst werden, da sie auch ohne Befallsdruck gleich hohe Erträge liefern, wie nicht resistente Hohertragssorten (KWS, 1994). Dies bedeutet v.a. für Landwirte in Randgebieten verseuchter Regionen eine erhöhte Ertragssicherheit. Mit dem Anbau einer resistenten Sorte wäre der Erdrückschub von Verladestellen und Zuckerfabriken weniger bedenklich, wenn alle Landwirte innerhalb des Systems B diese Sorte anbauen würden. Damit würden die jährlichen Bodenverluste im Zuckerrübenanbau verringert. Die Bearbeitungsreihenfolge bei der Ernte wäre im System weniger wichtig; planungstechnisch wäre dies ein grosser Vorteil. Man könnte z.B. zuerst auf den Feldern ohne transgene Sorten beginnen (mit der heute üblichen Reihenfolge-Planung) und zuletzt die Rüben der B-Betriebe in der planungsmässig günstigsten Reihenfolge ernten. Dies könnte zu einer wesentlichen Kosteneinsparung führen.

Sorten die eine transgene Resistenz gegen das milde Vergilbungsvirus besitzen, würden zudem eine Einsparung von Insektiziden gegen die Vektor-Blattläuse mit sich bringen. Diese Einsparung würde jedoch nur gefährdete Regionen betreffen und würde dort zu einer massiven Erhöhung der Ertragssicherheit führen (Verluste bis 50%).

Eine transgene Resistenz gegen Rübenerdföhe ist theoretisch denkbar, wenn ein spezifisches B.t.-Toxin-Gen gefunden werden könnte. Die Saatgutbeizung mit "Gaucho" würde allerdings nicht wegfallen, da das Mittel gegen mehrere Schädlinge wirkt. Die indirekte Bekämpfungsmassnahme der erhöhten Unkrauttoleranz (Ablenkfutter) könnte an Bedeutung verlieren, obschon die Restverunkrautung auch für die schwarze Bohnenblattlaus eine wichtige indirekte Bekämpfungsstrategie darstellt. Eine solche Vernachlässigung wäre unerwünscht, da die Erosionsgefahr und das Risiko von Aus- und Abwaschungen ansteigen würde. Trotzdem ist diese mögliche Entwicklung zu beachten, besonders dann, wenn das

de. Trotzdem ist diese mögliche Entwicklung zu beachten, besonders dann, wenn das Unkraut als ertragslimitierender Faktor angesehen wird, weil die phytomedizinischen Probleme an Bedeutung verlieren. Gesamthaft wären dann verstärkt Mulchsaaten anzustreben, um auf diesem Wege ökologische Risiken gezielt zu minimieren.

Eine Intensivierung des Zuckerrüben-Anbaus auf einzelnen Betrieben ist aus dem ökologischen Blickpunkt gesehen nicht wünschenswert, da sie unweigerlich zur Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit führen würde; besonders wenn man bedenkt, dass das System Boden, nicht zuletzt bezüglich Krankheiten und Schädlingen, ein wichtiges Puffersystem darstellt.

3.3.4 Kartoffelanbau und Fruchtfolge

Die Kartoffel nimmt unter den Ackerkulturen eine Sonderstellung ein, weil sie vegetativ vermehrt wird. Die Übertragungsmöglichkeit von Krankheiten mit dem Pflanz- und Erntegut sind vielfältig. Die sorgfältige Produktion und Behandlung der Saatkollen ist für den erfolgreichen Anbau unerlässlich (HÄNI et al., 1992).

Die Kartoffel sollte nicht auf nassen Böden angebaut werden. Auch schlecht siebbare Böden mit harten Schollen und Steinen sind ungeeignet, weil bei der Ernte die Gefahr der Knollenverletzung erhöht ist. Ausserdem erträgt die Kartoffel keine Bodenverdichtungen. Zügige, windoffene Lagen sind besonders gut geeignet um virusfreies Saatgut zu produzieren (DERRON, 1986).

Meist wird die Kartoffel in einer vielgliedrigen Fruchtfolge angebaut. Dabei ist sie besonders gut geeignet als Vorfrucht vor Weizen. Nach Wiesenumbruch hat der Boden zwar die ideale Struktur für den Kartoffelanbau, die Gefahr eines Schadens durch Engerlinge und Drahtwürmer und z.T. durch Schorfbefall ist jedoch erhöht. Kartoffeln werden oft auf Viehwirtschaftsbetrieben angebaut, da sie eine gute Möglichkeit der Hofdüngerverwertung darstellen. Allerdings stellt die N-Nachwirkung resp. Spätwirkung von Gülle ein noch nicht gelöstes Problem für die Qualität dar.

Das Hauptanbaubereich befindet sich im Mittelland. Es besteht eine Tendenz zur Spezialisierung, wobei die Anzahl Betriebe abnimmt und die mit Kartoffeln bebaute Fläche pro Produzent zunimmt. Dies bedeutet, dass z.T. sehr hohe Fruchtfolge-Anteile mit Kartoffeln angebaut werden. Dadurch besteht in einzelnen Regionen eine erhöhte Gefahr, dass fruchtfolgespezifische phytomedizinische Probleme entstehen. Dazu gehören v.a. die beiden Krankheiten Rhizoctonia und Kartoffel-Schorf und verschiedene Nematodenarten (DERRON, 1986). Diese drei Schaderreger fordern einen Anbauunterbruch von mindestens zwei bis drei Jahren (HÄNI et al., 1992).

In der Schweiz wird keine Sortenzüchtung betrieben. Es steht jedoch eine grosse Sortenpalette mit unterschiedlichen Resistenzen zur Verfügung. So kann der Kartoffelanbau durch die Sortenwahl dem Standort relativ gut angepasst werden. In nematoden- und früher auch in krebsverseuchten Regionen können Sorten mit den entsprechenden Resistenzen gepflanzt werden, und in Staulagen stehen mittelspäte und späte Sorten mit Krautfäuleresistenz (*Phytophthora infestans*) zur Verfügung. Ebenso sind die Sorten mehr oder weniger gut für die Lagerung geeignet (HÄNI et al., 1992; WINIGER, 1995).

Der Pflanzenschutz im Kartoffelanbau weist einige Besonderheiten auf. Viele Massnahmen haben präventiven Charakter. Beispielhaft ist die Bestandeskontrolle durch

die Saatgutproduzenten (Negativselektion und die Saatgutkontrolle gemäss eidgenössischem Reglement mit dem Ziel, gesundes Saatgut anzupflanzen; diese Massnahme ist von ausserordentlicher Bedeutung durch die grosse Zahl von notwendigen Vermehrungsgenerationen und der hieraus resultierenden Akkumulation von Pilzen und Viren (DERRON, 1986).

Wichtige phytomedizinische Probleme und ihre Bekämpfung in der Schweiz

DERRON (1986) und FRIED (1993) haben die bedeutendsten phytomedizinischen Probleme des schweizerischen Kartoffelanbaus zusammengestellt. Sie sind nachfolgend aufgelistet:

Krankheiten:

- Blattrollvirus (PLRV)
- Mosaikvirus Y (PVY)
- Mosaikvirus X (PVX) / Mosaikvirus A (PVA; nur bei Mischinfektionen)
- Schwarzbeinigkeit, Bakterielle Welke, Knollennassfäule (*Erwinia carotovora*)
- Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*)
- Kartoffelpocken (*Rhizoctonia solani*)
- Kartoffelschorf (*Streptomyces scabies*)

Schädlinge:

- Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*)
- Kartoffelnematoden (*Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida*)
- Blattläuse (versch. Arten als Vektoren für Virose; v.a. *Myzus persicae*)

Das **Blattrollmosaikvirus** gehört zu den wichtigsten Krankheiten im Kartoffelanbau. Pflanzen, die aus einer infizierten Mutterknolle entstanden sind, können Ertragseinbussen von 40-80% erleiden. Das Ausmass des Schadens ist von der Empfindlichkeit der Sorte abhängig. Es wird ab Anfang Juli mit dem Auftreten der geflügelten Blattlausgenerationen (v.a. der grünen Pflirsichblattlaus (*Myzus persicae*) von befallenen Pflanzen aus weiterverbreitet. Das Virus wird im persistenten, zirkulativen Modus übertragen und hat eine Latenzzeit von etwa 24 Stunden. Daher bringt auch die Anwendung von systemischen Insektiziden einen gewissen Erfolg: Die Verbreitung des Virus im Pflanzenbestand selbst wird gebremst. Der Infektionsdruck von aussen kann jedoch nicht vermindert werden. Der indirekten Bekämpfung des Virus' kommt eine besonders wichtige Bedeutung zu. Durch die Verwendung von anerkanntem Saatgut und geeignete Sortenwahl kann das Risiko von Ertragsverlusten durch PLRV möglichst niedrig gehalten werden. Wenig anfällige Sorten, im mittelfrühen bis späten Bereich, stehen momentan zur Verfügung (HÄNI et al., 1992; WINIGER, 1994).

Das **Mosaikvirus Y** ist eine wirtschaftlich bedeutende Krankheit. In gewissen Jahren tritt sie epidemieartig auf (WOLFE, 1992). Die Ertragseinbussen bei infizierter Mutterknolle liegen bei 10-30%. Mischinfektionen mit PVX und PVA, zwei anderen Mosaikviren, verstärken die Symptome. In solchen Fällen liegt die Ertragsverminderung bei 40-80% (HÄNI et al., 1992). Der Übertragungsmodus ist vom nicht-persistenten Typ. Das heisst die Blattläuse sind nur kurze Zeit, jedoch sofort übertragungsfähig. Dies führt zu einer schnell-

len Verbreitung der Krankheit durch geflügelte Blattläuse und es kann rasch zu einem starken Befall des Feldes kommen. Abhängig vom Übertragungsmodus ist eine direkte Bekämpfung sinnlos, weil das Virus keine Latenzzeit hat und Insektizide zu langsam wirken. Zur Übertragung genügt ein einziges "probing" der Blattlaus. Einzig Mineralöle könnten eine gewisse Wirkung zeigen. Diese ist jedoch sehr gering (WOLFE, 1992); in der Schweiz wird dieses Mittel nicht angewandt (HÄNI et al., 1992). Die indirekte Bekämpfung erfolgt wie beim PLRV durch die Verwendung von zertifiziertem Saatgut und einer Reihe von wenig anfälligen Sorten im mittelfrühen bis späten Bereich (WINIGER, 1994).

Das **Mosaikvirus X** verursacht geringere Ertragsausfälle und ist v.a. bei Mischinfektionen mit PVY von Bedeutung, da durch dabei wirksame Synergie-Effekte grössere Verluste verursacht werden (WOLFE, 1992). Die Übertragung geschieht ausschliesslich mechanisch. Es gibt keine direkte Bekämpfungsmethode. Indirekte Präventivmassnahmen sind das Verwenden von zertifiziertem Saatgut, der Anbau resistenter Sorten und vorsichtiges Vorgehen bei der mechanischen Bearbeitung der Felder (HÄNI et al., 1992).

Je nach Befallsort hat die bakterielle Krankheit *Erwinia carotovora* verschiedene Namen: Schwarzbeinigkeit (*E.carotovora* var. *atroseptica*), Bakterielle Welke (*E.c.* var. *carotovora*) und Knollennassfäule (WOLFE, 1992). Sie ist in Mitteleuropa die wichtigste Bakterienkrankheit der Kartoffel und ist auch in der Schweiz weit verbreitet. Sie führt besonders als Lagerkrankheit zu grossen Verlusten. Problematisch ist v.a. die Einschleppung der Krankheit mit Importsaatgut aus verseuchten Gebieten (z.B. Deutschland) (HÄNI et al., 1992). Die durchschnittlichen Verluste in der Schweiz liegen je nach Sorte bei 2-10%. Seit die Produktion vollmechanisiert ist, hat dieses Pathogen an Bedeutung zugenommen (WOLFE, 1992). Ein hoher Wassergehalt des Bodens und Sauerstoffmangel fördern die Schwarzbeinigkeit. Ebenso fördern pilzliche Infektionen (*Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Phoma*, *Fusarium*), die Beschädigung der Knollen und überhöhte Feuchtigkeit die Knollenfäule. Eine erhöhte Befallsgefahr besteht deshalb bei Bodenverschlammung und Wasserstau (JÄGGI et al., 1995). Es gibt keine direkten Bekämpfungsmöglichkeiten. Die Eindämmung der Krankheit geschieht ausschliesslich auf indirektem Weg: durch die Verwendung von gesundem, wenig beschädigtem Saatgut, durch das Schaffen günstiger Auflaufbedingungen, durch das Vermeiden von Böden mit stauender Nässe, durch das Entfernen von kranken Pflanzen und Knollen aus dem Feld, durch eine verletzungsarme Ernte, durch das Aussortieren befallener Knollen nach der Ernte und schliesslich durch Massnahmen bei der Lagerung, indem man die Knollen nach dem Roden gut abtrocknen lässt und für eine gute Durchlüftung sorgt (HÄNI et al., 1992; WOLFE, 1992).

Die **Kraut- und Knollenfäule** (*Phytophthora infestans*) ist weltweit die wichtigste Kartoffelkrankheit der niederschlagsreichen Gebiete gemässigter Zonen. Sie verursachte 1845/46 in Irland eine schwere Hungersnot, die eine grosse Auswanderungswelle von Irn in die Vereinigten Staaten auslöste (WOLFE, 1992). Die Kraut- und Knollenfäule ist auch in der Schweiz das dominierende Pflanzenschutzproblem im Kartoffelanbau. Erst vor einigen Jahren wurde die sexuelle Form dieses Pathogens in die Schweiz eingeschleppt, was ihm nun eine schnellere genetische Adaption an resistente Pflanzen ermöglicht. Die epidemische Ausbreitung der Krankheit im Bestand kann sehr rasch erfolgen. Im Extremfall geschieht dies nur in wenigen Tagen (DERRON, 1986). Das Kraut wird zerstört, was zu einem Assimilationsverlust und damit zu einem verminderten Knollenwachstum führt. Bei Knollenbefall können erhebliche Lagerverluste entstehen, wenn es sich um verseuchte Posten handelt. Ausserdem begünstigt der Befall mit Kraut- und Knollenfäule die Weichfäulen (z.B. *Erwinia carotovora*). Seit der Mechanisierung des Kartoffelanbaus hat die Bedeutung dieser Krankheit zugenommen. Die Bekämpfung geschieht sowohl auf indirektem als auch auf direktem Wege. Zu den indirekten Methoden zählt man folgende: die Sortenwahl, das

Heraufarbeiten der zurückgebliebenen Karoffeln nach der Ernte, damit diese über den Winter erfrieren und verfaulen, das Entfernen kranker Knollen vor dem Setzen, das gute Anhäufeln, um die Knolleninfektionen zu senken, die frühe Bekämpfung von Kartoffeldurchwuchs, das Totspritzen des Krautes vor der Ernte, um Knolleninfektionen zu minimieren, und schliesslich die trockene Lagerung (HÄNI et al., 1992). Weniger anfällige Sorten sind im beschränkten Umfang vorhanden (WINIGER, 1994). Die direkte Bekämpfung der Kraut- und Knollenfäule ist arbeitsintensiv und bringt einen relativ grossen Aufwand an Fungiziden mit sich. Hoch- und mittelanfälligen Sorten werden im konventionellen und integrierten Anbau während der ganzen Sporenflug-Dauer mit einem Kontaktfungizid-Belag geschützt, der je nach Witterungsverlauf alle ein bis drei Wochen erneuert werden muss. Diese intensive Bekämpfungsstrategie führt zu 4-10 Behandlungen pro Jahr (DERRON, 1986). Bei schwach anfälligen Sorten sind nur ein bis zwei Behandlungen notwendig. Das Prognosesystem "Phytopre" soll die Bestimmung des Spritzzeitpunktes erleichtern und die Anzahl Behandlungen optimieren. Primärherde werden sofort totgespritzt und der Rest des Feldes innert 3-5 Tagen zweimal mit systemischen Fungiziden kurativ behandelt. Wegen Resistenzbildung gegen diese systemischen Mittel sind im Saatkartoffelanbau keine und sonst maximal drei Behandlungen erlaubt (HÄNI et al., 1992). Im Biolandbau werden bei Befallsgefahr in regelmässigen Intervallen Kupferspritzungen durchgeführt; die maximale erlaubte Gesamtmenge beträgt dabei 5 kg Kupfer pro Hektare (VSBLO, 1992).

Die **Rhizoctonia-Krankheit** tritt regelmässig auf und ist v.a. bei Saat- und Frühkartoffeln eine gefürchtete Auflaufkrankheit; in Extremfällen kommt es zu Ertragsausfällen bis zu 50% (DERRON, 1986). Sie ist eine wichtige Fruchtfolgekrankheit und tritt v.a. auf schweren Böden und in Jahren mit kühl-feuchtem Frühling auf. Sie verursacht einen zweifachen Schaden: Zum einen Ertragsverluste und zum andern eine Qualitätsverminderung bei Speisekartoffeln ("Drycore", Missbildung, Pocken) (WOLFE, 1992). Rhizoctonia befällt ausser Kartoffeln auch Tomaten; einige Rassen des Pathogens befallen sogar Rüben, Karotten, Bohnen, Kohl u.a.. Zur indirekten Bekämpfung wird eine Anbaupause von vier (z.T. zwei) Jahren empfohlen, da der Pilz im Boden überdauert (HÄNI et al., 1992; WOLFE, 1992). Ausserdem sollte nur gesundes Saatgut gepflanzt werden. In dieser Hinsicht ist es auch sinnvoll, das Auflaufen der Pflanzen zu fördern, z.B. durch gutes Vorkeimen, ein lockeres Saatbett, das Vermeiden von Bodenverdichtungen, usw. Ausserdem spielt auch die Wahl von frohwüchsigen Sorten mit guter Regenerationsfähigkeit und eine rechtzeitige Ernte eine wichtige Rolle bei der Eindämmung dieser Krankheit (HÄNI et al., 1992). Schliesslich beeinflusst die Vorfrucht die Stärke des Pockenbesatzes; hemmend wirken dabei Leguminosen, Mais und Zuckerrüben (WOLFE, 1992). Zur direkten Bekämpfung wird das Saatgut mit einem Fungizid gebeizt, wenn mehr als 20% der Knollen Sklerotien aufweisen. Diese Massnahme hat allerdings kaum eine Wirkung auf den bodenbürtigen Befall (HÄNI et al., 1992). In der Schweiz wird die Saatgutbeizung bei etwa 20% der Pflanzkartoffeln durchgeführt (DERRON, 1986).

Schorf ist eine häufige Krankheit, die jedoch selten grosse Schäden verursacht. Der wesentliche Schaden beschränkt sich auf eine Herabsetzung des Marktwertes von Speisekartoffeln. Ausserdem kann Schorf die Haltbarkeit der Kartoffeln verringern, da er oft als Eintrittspforte für andere Parasiten wirkt (HÄNI et al., 1992). Direkte Bekämpfungsmöglichkeiten gibt es keine. Durch eine geregelte Fruchtfolge kann jedoch das Befallsrisiko wesentlich gesenkt werden. Nach Rüben, die ebenfalls zu den Wirtspflanzen dieses Pathogens gehören, und nach Kunstwiesen kann der Befall ansteigen. Gründüngung und die Wahl von wenig anfälligen Kartoffelsorten leisten einen wichtigen Beitrag. Da die Virulenz dieser Krankheit mit dem pH-Wert des Bodens zusammenhängt, sollten ausschliess-

lich sauer wirkende Handelsdünger auf alkalischen Böden eingesetzt werden und keine Kalkung unmittelbar vor Kartoffeln erfolgen.

Gegen die wichtigsten Schädlinge der Kartoffel werden zur Zeit in der Schweiz verhältnismässig wenig direkte Bekämpfungsmassnahmen ergriffen. Das liegt daran, dass sie im Vergleich mit den Krankheiten eine eher untergeordnete Rolle spielen. Dies kann sich in Zukunft jedoch ändern.

Mehrere Autoren beurteilen den **Kartoffelkäfer** zur Zeit als geringes Problem im schweizerischen Kartoffelanbau, stellen aber eine leichte Zunahme seiner Bedeutung fest, die eine vermehrte Anwendung von Insektiziden nach sich zieht (DERRON, 1986; HÄNI et al., 1988 und 1992; FRIED, 1993). In Deutschland werden ein bis vier Behandlungen durchgeführt, was darauf hindeutet, dass auch in der Schweiz die Anzahl Spritzungen zunehmen könnte, wenn der Kartoffelkäfer eine weitere Verbreitung findet (BROUWER, 1976). Der frühe Kahlfrass durch diesen Schädling ist besonders gefährlich, kommt z.Z. aber selten vor; die Ausfälle durch diese Schädigung betragen 30-50%. Momentan wird dem Schaden in der Schweiz durch frühe Pflanzung und gutes Vorkeimen vorgebeugt. Die direkte Bekämpfung erfolgt durch eine einmalige Insektizidspritzung oder durch ein bis zwei Behandlungen mit einem B.t.-Präparat (HÄNI et al., 1992).

Auch die **Kartoffelnematoden** spielen zur Zeit in der Schweiz eine eher geringe Rolle. Dies kommt daher, dass strenge Kontrollen für Saatgutproduzenten und Importgut durchgeführt werden (FRIED, 1993). Es handelt sich um einen meldepflichtigen Schädling, der bei starkem Befall Ertragsverluste von bis zu 80% verursachen kann. In der Schweiz gibt es mehrere Gebiete die von Nematodenverseuchung betroffen sind: das grosse Moos im Berner Seeland, die grossen SGG-Betriebe in den Kantonen VD und VS und schliesslich einige Kleinparzellen in verschiedenen Bergtälern, auf denen mehrere Jahre hintereinander Kartoffeln angebaut worden waren (Goms, Bedretto, Kt. Uri). In letzteren Gebieten hat der Kartoffelanbau heute keine Bedeutung mehr (WINIGER, pers. Mitteilung). In solchen betroffenen Gebieten bleiben nur indirekte Bekämpfungsmethoden, da in der Schweiz keine chemischen Mittel zugelassen sind. Das Einschleppen und die Weiterverbreitung mit Erde und Pflanzgut sollte unbedingt verhindert werden. Es ist besonders wichtig, eine Anbaupause von drei bis vier Jahre in der Fruchtfolge einzuhalten (HÄNI et al., 1992). Besonders auf Betrieben mit Frühkartoffelanbau werden solche Fruchtfolgerestriktionen nicht eingehalten. Der bestimmende Faktor in der Anbaupraxis ist es, ein möglichst frühes Marktangebot bereitzustellen. Der weit verbreitete Anbau der eher schlechten Sorte Sirtema (*phytophthora*-, viren- und nematodenanfällig; schlechte Speisequalität) belegt diese Tendenz (F.A. WINIGER, pers. Mitteilung). Wichtig ist auch, dass der Kartoffeldurchwuchs in Folgekulturen beseitigt wird. Nach einem Schadensfall wird ein mehrjähriges Anbauverbot amtlich verfügt. Der Anbau resistenter Sorten ist eine bedeutende Bekämpfungsmethode. Besonders durch abwechselnden Anbau von anfälligen und resistenten Sorten wird das Risiko der Ausbreitung aggressiver Nematoden-Stämme herabgesetzt. BROUWER (1976) berichtet, dass der Anbau von Kartoffelmonokulturen nach 6-8 Jahren zu Nematodenschäden geführt hat. Er weist auch besonders auf das Problem hin, dass beim Anbau von konventionell resistenten Sorten in Monokultur, die Nematodenpopulation bereits nach vier Jahren ausschliesslich aus aggressiven Nematodentypen bestanden, obwohl sie zu Beginn weniger als 1% der Population ausmachten. Daher kommt er zu Schluss, dass trotz des Anbaus resistenter Sorten eine möglichst weite Fruchtfolge eingehalten werden soll. In der Schweiz steht eine grosse Anzahl nematodenresistente Sorten im frühen bis späten Bereich zur Verfügung; allerdings besitzt nur eine von ihnen eine mehrfache Resistenz (Ro1 + Ro4) (WINIGER, 1994). Die resistenten Sorten sind bei den Landwirten nicht

sehr beliebt, weil sie relativ kleine Knollen bilden (F.A. WINIGER, pers. Mitteilung). Wie bereits erwähnt wird im Frühkartoffelanbau sowieso sehr wenig auf phytomedizinische Probleme Rücksicht genommen. Bei den mittelfrühen Sorten sieht das Angebot recht aus. Nematodenresistente Sorten stehen zur Verfügung, dennoch ist die Hauptsorte immer noch unbestritten die nematodenanfällige Bintje (F.A. WINIGER, pers. Mitteilung).

Blattläuse verursachen im Kartoffelanbau kaum direkte Saugschäden. Ihre Bedeutung rührt von ihrer Funktion als Vektoren bei der Übertragung von Viren her. Sie wird im obenstehenden Abschnitt über Virose erklärt. Heute werden in der Schweiz keine Insektizide verwendet (FRIED, 1993). Zur Verhinderung der Virusübertragung auf das Saatgut werden die Kartoffelstauden mit Herbiziden zu Beginn des Blattlausflugs totgespritzt, abgeflammt oder gezupft (SALZMANN und KELLER, 1969; HÄNI et al., 1992).

Gentechnologie: Abschätzung ihres Einflusses auf Fruchtfolge und Anbautechniken

Die gentechnologische Forschung ist bei der Kartoffel relativ weit fortgeschritten. Unsere Recherchen ergaben mehrere Ansätze zur Einführung verschiedener Resistenzgene. Für viele in der Schweiz wichtige Krankheiten und für einen Schädling werden Versuche mit transgenen Pflanzen gemacht.

Viren:

Mehrere Projekte untersuchen die Resistenz gegen Viren mittels Einführung des viralen Hüllprotein-Gens. Die betreffenden Virose sind PLRV, PVY und PVX (WILK et al., 1991; BARKER, 1992; USDA, 1993; LAWSON et al., 1990; JONGEDIJK et al., 1992; KANIEWSKI, 1990; USDA, 1995 u.a.). Die transgene Resistenz gegen das Mosaikvirus Y wird in der Schweiz bereits seit 1991 im Feld getestet (MALNOË et al., 1994). Ein völlig anderer Resistenzmechanismus wird für das PVY untersucht: TRUVE et al. (1993) arbeiten an der Einführung eines Säugergens (aus Ratten), das das Enzym 2'-5'-Oligodehydrol-Synthetase kodiert; hier wurde die Antigen-antikörper-Reaktion des Säugerorganismus genutzt. Schliesslich berichtet das USDA (1995) bereits von transgenen Kartoffeln mit mehrfachen Virusresistenzen.

Bakterien und Pilze:

DURING et al. (1993) arbeiten an Resistenz gegen *Erwinia carotovora*, indem sie ein Gen aus dem Bakteriophagen T4 transferieren, welches ein spezifisches Lysozym kodiert. Dabei erreichten sie in vitro und im Gewächshaus eine partielle Resistenz der transgenen Kartoffelpflanzen.

Transgene Resistenz gegen *Phytophthora infestans* wurde von CACCIA et al. (1992) in vitro erreicht. Sie nutzten die Gene *At1* und *At2*, die beide ein lytisches Peptid kodieren (Attacin und Lysozym) und fanden Resistenz gegen die Pathotypen 1, 3, 4, 5, 7, 8, 10 und 11.

CHANG et al. (1993) erreichten Resistenz gegen Verticillium-Welke und höhere Knollerträge, indem sie das DRR49-Gen (pea disease resistance gene 49) aus Erbsen erfolgreich transferierten.

Insekten:

Gegen Kartoffelkäferlarven wurde eine transgene Resistenz erzeugt, indem das cryIII_A-Gen aus einem *Bacillus thuringiensis*-Stamm transferiert wurde (ADANG et al., 1993).

Das USDA (1993) berichtet zudem von einer allgemeinen Insekten-Resistenz durch Einführung eines B.t.-Gens.

Ein neues Freisetzungsgesuch ist im USDA (1995) in Bearbeitung. Dabei soll eine kombinierte Resistenz gegen Kartoffelkäfer und PLRV getestet werden.

- Mögliche Auswirkungen auf die Fruchtfolgegestaltung

Unseres Wissens gibt es zur Zeit keine Forschungsarbeit, die an transgenen Resistenzen gegen die *Rhizoctonia*-Krankheit arbeitet. Diese Krankheit gehört zu den phytomedizinischen Problemen, welche eine Anbaupause von drei bis vier Jahren verlangen. Allerdings wird in der Literatur erwähnt, dass an Resistenz gegen *Rhizoctonia solani* in transgenen Rapspflanzen gearbeitet wird (BROGLIE und BROGLIE, 1994; BENHAMOU et al.; 1993). Dies würde natürlich eine relativ nahe Stellung von Raps und Kartoffeln in der Fruchtfolge ermöglichen. Raps würde statt potentielle Wirtspflanze für einige *Rhizoctonia*-Stämme eine "Gesundungsfrucht" wie Leguminosen, Mais und Zuckerrüben werden.

Auch gegen Kartoffelschorf ist uns bis heute keine transgene Resistenz bekannt. Dies würde wiederum die Vermutung bekräftigen, dass die Fruchtfolgerestriktion von etwa 25% Kartoffeln in der Fruchtfolge weiterhin als optimal gelten wird. Dies bedeutet auch, dass Kartoffeln weiterhin nicht nach Rüben und Kunstwiesen angebaut werden sollten, wenn ein erhöhtes Schorfrisiko nicht toleriert werden kann. Wenn andere transgene Resistenzen in Zukunft eingeführt werden, kann die Bedeutung von konventionell gezüchteten, wenig anfälligen Sorten zunehmen. Eventuell werden nur wenig schorfanfällige Sorten als Ausgangsmaterial für gentechnologische Züchtungen verwendet werden können.

Nematoden gehören heute zu den für die Fruchtfolgegestaltung limitierenden Schädlingen. In den Niederlanden ist man an der Entwicklung transgener nematoden-resistenter Kartoffeln sehr interessiert, weil die dort bisher stark verwendeten Nematizide zur Bodenentseuchung seit kurzem verboten sind. Der Einsatz von Nematiziden und konventioneller nematoden-toleranter Sorten hat zuvor in gewissen Regionen zu einem Fruchtfolgeanteil von 66% Kartoffeln geführt. Diese Anbau-Intensität möchten die betreffenden Landwirte nun möglichst beibehalten (P. STRUIK, pers. Mitteilung). Bis jedoch tatsächlich solche transgenen Sorten für die Praxis erhältlich sind, wird es noch einige Jahre dauern. Zur Zeit gibt es noch keine Feldversuche mit nematoden-resistenten transgenen Kartoffeln, die eine enge Fruchtfolge auf jeden Fall nur bei absoluter Resistenz gegen alle vorkommenden Pathotypen erlauben würden. Dies ist ein wichtiges Argument dafür, dass die Beibehaltung des maximalen Fruchtfolgeanteils von 25% weiterhin empfohlen werden wird. Das bedeutet auch, dass besonders in verseuchten Gebieten die konventionell gezüchteten nematoden-resistenten Sorten eine wichtige Bedeutung behalten werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Einführung von transgenen Kartoffelsorten in näherer Zukunft keine Auswirkungen auf die Fruchtfolge haben wird, weil es zur Zeit für die in der Schweiz limitierenden phytomedizinischen Probleme keine aussichtsreichen gentechnischen Lösungen gibt.

- Mögliche Auswirkungen auf die Anbauflächen

Da auf jeden Fall, sofern die transgenen Resistenzen nicht Wachstumsreduktionen verursachen, die Sicherheit und wahrscheinlich auch die Höhe des Ertrags ansteigen würde, müsste ohne neue Absatzmärkte die Anbaufläche nochmals reduziert werden. Die gilt besonders auch für die Pflanzkartoffelvermehrung, wenn mit grosser Sicherheit anerkennungswürdiges Pflanzgut produziert werden kann.

- Mögliche Auswirkungen auf den Pflanzenschutz und die Anbaupraxis

Kartoffelsorten mit transgenen Virusresistenzen brächten eine bedeutende Steigerung der Ertragssicherheit und wahrscheinlich auch eine gewisse Ertragssteigerung; letzteres besonders im Falle von Resistenzen gegen PVY und PVX, die zur Zeit nicht direkt bekämpft werden können. Ausserdem würden der Aufwand für Bestandeskontrollen bei der Saatgutvermehrung wesentlich reduziert werden; ebenso würden die immunologischen Tests (ELISA) zur Überprüfung des Saatguts weniger intensiv nötig. Im Falle von PLRV-Resistenz würde ausserdem die Blattlausbekämpfung mittels Insektiziden wegfallen, da Blattläuse zur Zeit nur als Vektoren von Bedeutung sind und keine direkten Saugschäden verursachen. Durch eine Resistenz gegen PVX würde das Risiko einer mechanischen Virusübertragung wegfallen, was die mechanische Unkrautbekämpfung weniger problematisch macht. Im Falle einer Verteuerung der Herbizidkosten, könnte diese Art der Unkrautbekämpfung wieder attraktiver werden, wenn sie mit dem sowieso notwendigen Häufeln verbunden wird. Schliesslich gilt für jede transgene virusresistente Sorte, dass sie die heute erhältlichen konventionell gezüchteten, wenig anfälligen Sorten konkurrenzieren und vielleicht verdrängen würde. Die erste transgene Resistenz, die in der Schweiz seit 1991 im Feld getestet wird, wurde in der Sorte Bintje eingesetzt. Diese Resistenz wirkt gegen PVY (Stamm N605; wirkt auch gegen Stamm O803). Die Einführung nur in dieser einen Sorte würde im System B theoretisch zu einer Erhöhung des bereits jetzt unerwünscht hohen Bintje-Anteils im gesamten Sortenspektrum mit sich bringen (F.A. WINIGER, pers. Mitteilung). Konventionell gezüchtete mittelfrühe Sorten wie Granola, Nicola, Désirée und Agria, die wenig anfällig sind für das Mosaikvirus Y, würden wahrscheinlich verdrängt, weil bei der Kartoffel der Beliebtheitsgrad einer Sorte wie Bintje beim Landwirt und beim Konsumenten von grosser Bedeutung ist. Obwohl einige dieser konventionell gezüchteten Sorten (Granola, Nicola und Agria) ausserdem eine Nematodenresistenz (Ro1) besitzen, wird diese zusätzliche Sicherheit zu wenig ins Gewicht fallen. Es könnte also zu einem Zielkonflikt kommen zwischen dem Wunsch, transgene Resistenzen zu nutzen und eine breite Sortenpalette (genetische Vielfalt) anzubieten (F.A. WINIGER, pers. Mitteilung), wenn es nicht möglich wird, diese Resistenzen in einer breiten Palette von Sorten gleichzeitig einzuführen, die vom Landwirt und vom Abnehmer akzeptiert werden. Andererseits würde der Anbau von verschiedenen Bintjetyphen mit unterschiedlichen transgenen Resistenzen (z.B. Bintje1, 2, 3,...) dem Anbau von Viellinien-Sorten nahe kommen und würde eine gezielte, punktuelle Erweiterung der genetischen Vielfalt ermöglichen.

Wenn eine transgene Sorte mit Resistenz gegen *Erwinia carotovora* erfolgreich Eingang in die Praxis finden würde und die übrigen Ertrags- und Qualitätseigenschaften

erhalten bleiben würden, könnte man mit einer durchschnittlichen Ertragssteigerung in der Höhe der heute üblichen Verluste (2-10%) für das System B erwarten. Die Ertragssicherheit würde besonders in kühl-feuchten Jahren wesentlich gesteigert und die Lagerverluste reduziert werden. Ausserdem würden erhebliche Arbeitseinsparungen möglich. Das Entfernen kranker Pflanzen und Knollen aus dem Feldbestand würde wegfallen, und der Aufwand beim Aussortieren nach der Ernte würde zumindest reduziert. Die Lagerung der Kartoffeln würde jedoch gleich aufwendig bleiben, da diese Massnahme nicht nur auf diese einzelne Krankheit, sondern auch auf andere Lagerkrankheiten (z.B. Knollentrockenfäulen und Silberschorf) und insbesondere auch auf die Reduktion von Atmungsverlusten und der allgemeinen Stoffwechselaktivität der Knollen ausgerichtet ist.

Besonders wichtige Auswirkungen auf die Anbautechnik im System B hätte die Einführung von Resistenzgenen gegen Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*). Bisher sind Versuche mit solchen Resistenzen erst in vitro gelungen. Diese Annahme ist somit hypothetischer und liegt gewiss vom zeitlichen Rahmen her noch weiter in der Zukunft als die transgenen Resistenzen gegen Viren und gegen die bakterielle Weichfäule (*Erwinia carotovora*). Die Ertragssicherheit würde beim Anbau einer solchen transgenen Sorte wesentlich erhöht. Auch das Risiko nachträglicher Verluste am Lager wäre vermindert. Die Erträge im System B würden den Erträgen im System A entsprechen, wenn im konventionellen oder integrierten Anbau der Pflanzenschutz optimal eingesetzt werden würde. Was sich ändern würde, wären die Produktionskosten und der Arbeitsaufwand. Im konventionellen Anbau wird 4-10 Mal gespritzt. Dabei wirken die Spritzungen zugleich gegen die Dürffleckenkrankheit (*Alternaria solani*). *Alternaria* hat heute noch keine grosse Bedeutung in der Schweiz. Diese Krankheit könnte aber bei fehlender Krautfäulebekämpfung verstärkt auftreten. Sie müsste ab Juli mit Fungiziden bekämpft werden (HÄNI et al., 1992). Die frühen Fungizidspritzungen im Juni (bei Frühsorten schon im Mai) könnten bei vorhandener Krautfäuleresistenz eingespart werden, fallen jedoch damit nicht automatisch auch während der ganzen Vegetationszeit weg. Dies bedeutet eine Reduktion der Fungizidmittel um zwei bis fünf Spritzungen, je nach Witterungsverlauf und Sorte. Eine wesentliche Reduktion des Arbeitsaufwandes würde der Wegfall einiger indirekter Bekämpfungsmassnahmen mit sich bringen. Das Entfernen kranker Knollen vor dem Setzen würde sich z.B. erübrigen. Die Bekämpfung von Durchwuchskartoffeln würde zeitlich flexibler werden; heute muss dies sobald wie möglich geschehen. Auch der Zeitpunkt der Krautabtötung würde flexibler werden, da er nicht mehr direkt von der letzten Spritzung abhängig wäre (Ausnahme: erhöhte *Alternaria*-Befallsgefahr). Ausserdem wäre die Gefahr von sekundären Weichfäule-Infektionen reduziert, da Kraut- und Knollenfäule als Eintrittspforte für diese Krankheitserreger wirkt. Schliesslich bestünde wiederum ein Einfluss auf die konventionelle Sortenpalette. Je nachdem, welche Sorte als Empfängersorte beim Gentransfer verwendet wird, werden die konventionell gezüchteten mehr oder weniger stark konkurrenzieren. Falls die transgene Sorte eine mittelfrühe Sorte wäre, würde sie wahrscheinlich das stärkere Verdrängungspotential besitzen als wenn es sich um eine spätreifende Sorte handelt, weil bei früheren Sorten verhältnismässig mehr Fungizidspritzungen eingespart werden können. Bei späten Sorten werden wegen der Dürffleckenkrankheit weiterhin Fungizide notwendig sein werden. Es ist allgemein schwierig, Veränderungen in der Anbauhäufigkeit der verschiedenen Sorten vorauszusagen, da die Akzeptanz und die Konkurrenzkraft einer transgenen *Phytophthora*-resistenten Sorte stark von ihren anderen Anbau-, Qualitäts- und Resistenzeigenschaften abhängen wird.

Heute wird im Bereich der Schädlingsresistenzen speziell an der transgenen Resistenz gegen Kartoffelkäfer gearbeitet (ADANG et al., 1993; USDA, 1995). Für den schweizerischen Kartoffelanbau würde dies aus heutiger Sicht keine grossen Veränderungen brin-

gen. Wenn sich die Tendenz jedoch verstärken wird, die sich zur Zeit abzeichnet, und der Kartoffelkäfer an Bedeutung zunimmt, dann kann mit einem wachsenden Einfluss solcher transgener Sorten gerechnet werden. In der aktuellen Situation würde lediglich ein Insektizid- resp. eine bis zwei B.t.-Applikationen wegfallen. Bei erhöhter Intensität der Insektizidspritzungen sind entsprechend mehr Einsparungen möglich. Die Wichtigkeit dieser Resistenz hängt auch im wesentlichen davon ab, welche anderen phytomedizinischen Probleme für die Karoffelproduktion limitierend sind. Wenn z.B. durch transgene Sorten die wichtigsten und bisher limitierenden Viren- und Pilzkrankheiten ausgeschaltet werden, kann der heute eher unbedeutende Kartoffelkäfer plötzlich zum begrenzenden phytomedizinischen Faktor werden. Dann werden besonders transgene Sorten mit kombinierten Resistenzen (z.B. Viren und Kartoffelkäfer) attraktiv.

Wenn transgene krankheits- und schädlingsresistente Kartoffelsorten in Zukunft für den kommerziellen Kartoffelanbau zugelassen und erhältlich sein werden, ist mit verschiedenen Konsequenzen für die Anbaupraxis zu rechnen. Für das System B kann man z.B. eine wesentliche Arbeitseinsparung bei der Saatgutproduktion und -kontrolle erwarten, die v.a. durch die Einführung von Virusresistenzen möglich werden wird. Je nach Resistenz können auch einige Fungizid- oder Insektizidspritzungen eingespart werden. HOFER (1995) schätzt, dass Kosteneinsparungen in der Höhe von 350.- Franken ($\approx 40\%$ der Gesamtkosten für Pflanzenbehandlungsmittel) liegen. Schliesslich ist zu erwarten, dass transgene resistente Kartoffelvarietäten die heute vorhandenen wenig anfälligen Sorten konkurrenzieren werden. Wie stark dabei ihr Verdrängungspotential ist, hängt u.a. davon ab, welche anderen Resistenz-, Anbau- und Qualitätseigenschaften die neuen transgenen Varietäten besitzen. Die konventionellen resistenten Sorten würden ins System C verdrängt werden, was absolut gesehen zu einer grösseren Anzahl verschiedener angebauter Sorten führen könnte, jedoch flächenmässig betrachtet wahrscheinlich ein Verlust an Variabilität bedeuten würde. Im System C könnte zudem ein gewisser psychologischer Druck entstehen, die weiterhin notwendigen Kupferspritzungen zu vermeiden, gleichzeitig wird vermutlich die Selektion von konventionell wenig anfälligen Kartoffelsorten rückläufig sein.

3.3.5 Weizenanbau und Fruchtfolge

Weizen ist die dominierende Kulturart im Getreidebau. Seit 1975 erfolgte eine ständige Intensivierung des Weizenanbaus sowohl bezüglich des Anteils in der Fruchtfolge als auch bezüglich der Steigerung der Produktivität des Anbaus. Bis 1970 wurden in der Schweiz keine Fungizide zur Bekämpfung von Getreidekrankheiten eingesetzt. Der Pflanzenschutz bestand damals ausschliesslich aus Resistenzzüchtung und Kulturmassnahmen, die einem Befall vorbeugte oder ihn regulierte. 1984 wurde bereits 70% der Anbaufläche mit 1,4 Fungizidbehandlungen gespritzt. Dies entsprach bereits der vierfachen Spritzintensität gegenüber 1975. Wegen der hohen Getreidepreise lohnte sich eine Fungizidbehandlung schon bei geringem Befallsdruck (FORRER, 1986). Da der Selbstversorgungsgrad von Brotweizen 1991 bei 85% lag, hat der Bund am 2. Dezember 1991 verschiedene Massnahmen beschlossen, um die inländische Produktion längerfristig von 450'000 t auf etwa 380'000 t zu senken; dadurch sollten die im Vergleich zum Ausland sehr hohen Produzentenpreise und die Ausgaben für Anbauprämien gesenkt werden. Durch den Beschluss von 1991 wurde unter anderem die Förderung des extensiven Getreideanbaus durch flächengebundene Di-

rektzahlungen eingeführt. Die EXTENSO-Produktion verzichtet auf Wachstumsregulatoren, auf Insektizide und Fungizide sowohl im Brotgetreide- als auch im Futtergetreide-Anbau (ACHERMANN und GANTNER, 1993; GINDRAT, 1986). Der Anteil von Getreide und im speziellen von Weizen in der Fruchtfolge wird deshalb besonders stark vom agrarpolitischen Umfeld beeinflusst; die Betrachtung der phytomedizinischen Probleme kann lediglich aufzeigen, welche biotischen Faktoren zusätzlich für den Weizenanbau limitierend wirken.

Weizen braucht ein eher warmes Klima und eine jährliche Niederschlagsmenge von etwa 800mm. Ausserdem verlangt diese Kulturart Böden mit hohem Tonanteil und guter Wasserkapazität (HÄNI et al, 1992). Beim Weizenanbau handelt es sich um ein relativ komplexes annuelles System mit vielen Schaderregern. Die Entwicklung des Weizens verläuft relativ schnell und kurz. Die Vorfrucht in der Fruchtfolge, die Bodenbearbeitung, der Saatzeitpunkt, die Sortenwahl, die Düngung, usw. sind wichtige Einflussfaktoren für einen erfolgreichen Anbau (GINDRAT, 1986). Weizen verlangt als Vorfrüchte Kulturen, die das Feld früh räumen, es unkrautfrei halten und den Boden in gutem Garezustand mit leicht aufnehmbaren Nährstoffen zurücklassen; gut geeignet sind z.B. Ölfrüchte (Raps), mit Stallmist gedüngte Hackfrüchte (v.a. frühe und mittelspäte Kartoffeln) und Leguminosen (z.B. Erbsen) (BROUWER, 1972).

Durch den massiven Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln ist es zu einer Verarmung der Nützlingsfauna und der Antagonistenflora gekommen, womit durch fehlende Pufferung die Labilität der Getreide-Agroökosysteme zunimmt (FORRER, 1986). Heute machen die Krankheiten den Fungizideinsatz zum integralen Bestandteil des intensiven Weizenanbaus. Dabei ist die Entwicklung von Resistenz gegen Fungizide bei verschiedenen Pathogenen besonders kritisch (GINDRAT, 1986). Alle phytomedizinischen Probleme werden in Zukunft zunehmen, wenn der Weizenanbau auf diesem Intensitätsniveau bleibt oder dieses sogar noch zunimmt; dies gilt besonders dann, wenn nur eine oder sehr wenige verschiedenen Sorten angebaut werden (FORRER, 1986). Durch gezielte Verwendung der Mittel wird im IP-Anbau eine gewisse Verzögerung dieser Entwicklung erreicht. Das Saatgut wird bisher zu 100% in der Schweiz hergestellt und auch zu 100% gebeizt (GINDRAT, 1986).

Wichtige phytomedizinische Probleme und ihre Bekämpfung in der Schweiz

Die wichtigsten Krankheiten und Schädlinge sind nachfolgen aufgelistet (nach FRIED, 1993):

Krankheiten:

- Braunrost (*Puccinia recondita*)
- Spelzenbräune (*Septoria nodorum*)
- Halbruchkrankheit (*Pseudocercospora herpotrichoides*)
- Mehltau (*Erysiphe graminis*)
- Schneeschimmel (*Fusarium nivale*)
- Gelbrost (*Puccinia striiformis*)
- Stinkbrand (*Tilletia caries*)
- Flugbrand (*Ustilago spp.*)
- Ährenfusariosen (*Fusarium spp.*)
- Schwarzbeinigkeit (*Gaeumanomyces graminis*)

- Scharfer Augenfleck (*Rhizoctonia cerealis*)
- Schwarzrost (*Puccinia graminis*; vorwiegend auf Sommerweizen)

Schädlinge:

- Getreideblattläuse (*Sitobion avenae*, *Metopolophium dirhodum*, *Rhopalosiphum padi*)
- Getreidehähnchen (*Oulema melanopa*, *Oulema lichenis*)
- Nematoden (*Heterodera avenae*, *Ditylenchus dipsaci* und *Pratylenchus spp.*)

Braunrost ist in allen Weizen-Anbaugebieten verbreitet und kann Ertragsausfälle bis 30% verursachen. Für die indirekte Bekämpfung ist es wichtig, das Ausfallgetreide vor dem Auflaufen der Herbstsaaten zu vernichten und den Winterweizen nicht zu früh zu säen (ebenso den Sommerweizen nicht zu spät). Durch eine harmonische, nicht zu späte Düngung und durch die Wahl resistenter Sorten kann schweren Verlusten vorgebeugt werden. Dabei spielt es auch eine Rolle, ob schnell-lösliche oder langsamwirkende Stickstoff-Dünger verwendet werden; bei langsamwirkenden Düngemitteln wurde ein niedrigerer Braunrost-Befall festgestellt (ANONYM, 1986). Momentan stehen über zehn resistente Sorten zur Verfügung, mehrheitlich Schweizer Züchtungen. Ausserdem können mehrere Mischungen aus resistenten Sorten angebaut werden. Von den in der Schweiz angebauten Dinkelsorten (=Korn) ist keine braunrost-resistent. Die direkte Bekämpfung geschieht mit Fungiziden, die nach zeitbezogenen Bekämpfungsschwellen eingesetzt werden sollten (GINDRAT, 1986; HÄNI et al, 1992; VALENGHI et al, 1994).

Spelzenbräune ist eine samen- und bodenbürtige Krankheit. Sie wird durch kühlfeuchte Witterung begünstigt. Eine hohe relative Luftfeuchtigkeit im Frühling und häufiger Regen zur Zeit des Ährenschiebens fördert die Krankheit und v.a. die Sporenbildung stark (HÄNI et al., 1992; GINDRAT et al., 1995). Je früher die Ähren befallen werden, desto grösser ist die Ertragsverminderung. Durch Halmverkürzung (Züchtung und Wachstumsregulatoren) wird die Gefahr erhöht, dass die Krankheit von den Blättern auf die Ähre übergreift. Hohe Stickstoff-Gaben bei der Düngung verzögern die Abreife und erhöhen somit das Infektionsrisiko. In dichten Beständen muss mit stärkerem Krankheitsdruck gerechnet werden, da dort das Mikroklima für den Krankheitserreger günstiger und die Distanz zwischen kranken und gesunden Pflanzen geringer ist. Schliesslich kann auch der Einsatz von isoproturonhaltigen Herbiziden den Befall mit Spelzenbräune fördern (HOPPE et al., 1986). Zu den präventiven Bekämpfungsmassnahmen zählt man die Verwendung von gesundem Saatgut, eine nicht zu dichte Saat, gemässigte Stickstoff-Düngung, zurückhaltender Einsatz von Wuchsstoffen, das sorgfältige Einarbeiten von Ernterückständen und der Anbau von resistenten Sorten. In der Schweiz stehen eine Reihe von Winter- und Sommerweizensorten mit Spelzenbräune-Resistenz zur Verfügung. Zudem können auch Mischungen resistenter Sorten angebaut werden. Alle Dinkelsorten sind resistent. Die direkte Bekämpfung der Krankheit geschieht mittels Fungiziden, die nach dem Ährenschieben eingesetzt werden; dabei kann mithilfe des Prognose-Systems "Epipre" und mittels Tabellen der ideale Einsatzzeitpunkt bestimmt werden (HÄNI et al., 1992; VALENGHI et al., 1994).

Halmbruch ist eine typische Fruchtfolge-Krankheit. Sie ist weit verbreitet v.a. im Winterweizen. Im Sommergetreide spielt sie eine geringere Rolle. Wirtspflanzen sind Weizen, Dinkel, Gerste und Quecke; Triticale, Roggen, Hafer und andere Gräserarten werden seltener befallen. Der Pilz überdauert mehrere Jahre als Mycel auf infizierten Stoppeln; bei hoher Bodenfeuchtigkeit und kühlen Temperaturen wird die Konidienbildung gefördert.

Zur indirekten Bekämpfung des Halmbruchs sollte eine Anbaupause von drei Jahren zwischen anfälligen Getreidearten eingehalten werden; Weizen sollte vor Gerste stehen. Als weitere vorbeugende Massnahme gilt, die Verrottung der Stoppeln zu fördern, keine extrem frühen Saaten durchzuführen, eine gründliche Queckenbekämpfung zu betreiben und resistente Sorten anzubauen. Einige resistente Sorten sind im Winterweizensortiment vorhanden, nur eine einzige im Sommerweizensortiment. In der Schweiz gibt es keine Dinkelsorten mit spezifischer Halmbruch-Resistenz. Die Anwendung von Kalkstickstoff im Frühjahr und das Spritzen bewilligter Fungizide dienen der direkten Bekämpfung. Die Fungizidbehandlungen sollten nach zeitbezogenen Bekämpfungsschwellen durchgeführt werden. Allgemein sollte dabei grosse Zurückhaltung geübt werden, weil die Anwendung solcher Fungizide Fusskrankheiten indirekt fördert, die chemisch nicht bekämpfbar sind (z.B. Scharfer Augenfleck) (HÄNI et al., 1992).

Die Bedeutung von **Mehltau** hat seit der Intensivierung des Getreideanbaus zugenommen. Bei Spätbefall kann es zu Ausfällen bis über 10% kommen (HÄNI et al., 1992). Die Krankheit wird besonders durch hohe relative Luftfeuchtigkeit begünstigt und tritt vermehrt auf humosen Böden auf, weil dort die Stickstoffmineralisierung besonders stark ist (GINDRAT et al., 1995). Hohe Stickstoff-Gehalte in den Weizenblättern fördern biotrophe Pilze wie den Mehltau (ZADOKS, 1985). Alle Getreidearten ausser Mais können befallen werden; ebenso gehören zahlreiche Gräser zu den Wirtspflanzen. Vorbeugend wirkt eine nicht zu dichte Saat und eine harmonische Düngung. Die Halmverkürzung sollte nicht zu stark oder zu spät erfolgen. Die Vorverlegung des Saatzeitpunkts, die der Ausschöpfung des Ertragspotentials dient, gibt Krankheiten wie dem Mehltau die Möglichkeit sich bereits im Herbst im Bestand auszubreiten. In Feldversuchen betrug der Befall im Frühjahr beim Saattermin 30.10. nur 11%, wohingegen beim Saattermin vom 25.9. ein Befall von 50% festgestellt wurde (HANUS und BOSSE, 1985). Auch die Unkrautbekämpfung mittels Herbiziden hat einen Einfluss auf den Krankheitsbefall, indem die Wachsschicht auf den Blättern verändert und die Vitalität des Weizens geschwächt wird und durch Blattverletzungen oder Verbrennungen Eintrittspforten für Infektionen geschaffen werden. Es wurde z.B. festgestellt, dass durch harnstoff-, triazin- und besonders durch isoproturonhaltige Mittel der Getreidemehltau gefördert wird (HOPPE et al., 1985). Schliesslich spielt der Anbau resistenter Sorten eine wichtige Rolle (HÄNI et al., 1992), von denen momentan eine grössere Anzahl auf der Sortenliste geführt werden. Bei den Dinkelsorten besitzt nur eine einzige Sorte Mehltau-Resistenz (VALENGHI et al., 1994). Die direkte Bekämpfung erfolgt mittels Fungizideinsatz nach dem Prinzip der Bekämpfungsschwellen (HÄNI et al., 1992).

Schneeschnitz ist in schneereichen Lagen für Winterweizen sehr gefährlich. Er kann zu lückigen, geschwächten Beständen und ev. zu Totalausfall führen. Bei Saatgutverseuchung kommt es auch ohne Schneedecke zu massiven Ausfällen. In schneereichen Gebieten ist die Bodenverseuchung sehr wichtig, in günstigen Anbaulagen hingegen die Saatgutverseuchung, die zu Auflaufschäden führt. Je üppiger der Bestand in den Winter geht, desto grösser ist das Risiko. Zur Vermeidung des bodenbürtigen Befalls sollte nicht Wintergetreide auf Wintergetreide folgen. Vorbeugend wirkt ausserdem eine nicht zu dichte Saat und die Verwendung von gesundem Saatgut. Aus dem oben erwähnten Grund ist es wichtig, die Pflanzen nicht zu üppig in den Winter gehen zu lassen. Bei geringer Bestandesdichte ist es immer noch möglich, das Feld im Frühjahr zu eggen, um die Bestockung zu fördern. Eine direkte Bekämpfungsmöglichkeit bietet die Saatgutbeizung, die in der Schweiz auch zu 100% durchgeführt wird (GINDRAT, 1986; HÄNI et al., 1992).

Gelbrost ist eine Krankheit, die v.a. in mild-feuchten Gebieten verbreitet ist. Sie kann Mindererträge bis zu 50% verursachen, indem sie die Assimilation vermindert und zu

einer erhöhten Atmung führt. Ein besonders grosses Risiko besteht bei Herbstinfektionen, die von krankem Ausfallgetreide ausgehen. Der Anbau von anfälligen Sorten und zuviel Stickstoff fördern den Gelbrostbefall (ZAKOKS, 1985). Deshalb sollte vorbeugend das Ausfallgetreide vor dem Auflaufen der Herbstsaat vernichtet werden. Eine zurückhaltende Stickstoff-Düngung und der Anbau resistenter Sorten haben ebenfalls prophylaktische Wirkung. Eine grosse Anzahl resistenter Sorten ist momentan in der Schweiz vorhanden. Ebenso sind Mischungen resistenter Sorten verfügbar. Beim Dinkel sind nur zwei Sorten resistent (VALENGHI et al., 1994). Zur direkten Bekämpfung werden Fungizide nach dem Bekämpfungsschwellen-Prinzip oder beim Auftreten von Befallsnestern eingesetzt (HÄNI et al., 1992).

Der **Stinkbrand** tritt seit der Einführung der Saatgutbeizung kaum mehr auf. Vorher war er eine sehr wichtige Krankheit, die zu Ertragsverlusten bis über 50% führte. Zur indirekten Bekämpfung sollte nur feldbesichtigtes, anerkanntes Saatgut verwendet werden. Zu direkter Bekämpfung wird das Saatgut mit Fungiziden gebeizt. Die Beizung ist jedoch nur zuverlässig, wo der Boden nicht verseucht ist (HÄNI et al., 1992).

Der **Flugbrand** ist eine Krankheit, die v.a. für die Saatgutproduzenten wichtig ist, weil er zur Aberkennung des Saatguts führen kann, was natürlich eine erhebliche Einbusse bedeuten würde. Die Übertragung kann sofort geschehen, indem Sporen und Konidien von weit her angeweht werden. Auch hier sollte vorbeugend nur feldbesichtigtes, anerkanntes Saatgut verwendet werden. Besonders anfällige Sorten sind zu meiden. Zur direkten Bekämpfung wird das Saatgut gebeizt (HÄNI et al., 1992).

Ährenfusariosen können Ertragsausfälle bis über 20% verursachen. Dabei wird das Tausendkorngewicht und die Kornzahl pro Ähre vermindert. Starker Befall kann zudem die Keimfähigkeit und die Mehlqualität (Pilzgifte) beeinträchtigen. Zu den indirekten Massnahmen wird die Verwendung von gesundem Saatgut (gebeizt), die Förderung der Rotte, zurückhaltende Stickstoff-Düngung und ausreichende Versorgung mit Kalium gezählt. Ausserdem gilt es zu beachten, dass auch Mais Fusarien fördern kann. Zur direkten Bekämpfung werden ab Ährenschieben Fungizide eingesetzt, die jedoch nur eine unvollständige Wirkung zeigen (HÄNI et al., 1992).

Die **Schwarzbeinigkeit** ist eine verbreitete Fruchtfolge-Krankheit. In der Schweiz kommt es jedoch selten zu starkem Befall. Bei starkem Befall können jedoch Ausfälle bis über 30% entstehen. Auf einigen Böden hat man nach vier bis fünf Jahren Monokultur einen "Decline"-Effekt festgestellt. Normalerweise kommt es jedoch zu einem starken Befallsanstieg nach mehrjährigem Anbau von Weizen und Gerste. Zur indirekten Bekämpfung dieser Krankheit sollte eine ein- bis dreijährige Anbaupause zwischen anfälligen Getreidearten eingehalten werden. Zu den Wirtspflanzen gehören Weizen, Dinkel, Gerste, Quecke; seltener Triticale, Roggen und andere Gräserarten. Weizen sollte als anfälligste Getreideart den besten Platz in der Fruchtfolge erhalten. Ausserdem kann zur Vorbeugung eines schweren Befalls die Verrottung gefördert werden. Einen wichtigen Beitrag leistet auch die Queckenbekämpfung. Für die Schwarzbeinigkeit gibt es keine direkte Bekämpfungsmöglichkeit (HÄNI et al., 1992).

Der **Scharfe Augenfleck** ist eine weltweit verbreitete Krankheit, die bisher in der Schweiz nur geringe Schäden verursachte. Ihre Bedeutung hat in den letzten Jahren jedoch zugenommen. Das Pathogen lebt saprophytisch im Wurzelbereich vieler Pflanzen; seine Überdauerungsform, die Sklerotien bleiben im Boden jahrelang keimfähig. Es gibt keine direkten Bekämpfungsmassnahmen. Deshalb sind vorbeugende Methoden umso wichtiger. Die Erhaltung und Förderung einer guten Bodenstruktur reduziert den Befall. Ausserdem sollte beim Fungizideinsatz gegen Halmbrech Zurückhaltung geübt werden, weil sonst der Scharfe Augenfleck gefördert wird (HÄNI et al., 1992).

Schwarzrost ist v.a. für Sommerweizen und speziell in wärmeren Gebieten von Bedeutung. Diese Krankheit tritt in der Schweiz nur noch in einzelnen Alpentälern auf. Schwarzrost erscheint relativ spät, weil sein Entwicklungszyklus an einen obligaten Wirtswechsel und relativ hohe Temperaturen gebunden ist. Durch das Vernichten der Zwischenwirte und durch geeignete Sortenwahl (resistente, frühreife Typen) konnte diese Krankheit bisher erfolgreich bekämpft werden. Zur Zeit ist in der Schweiz kein Fungizid zur direkten Bekämpfung bewilligt (HÄNI et al., 1992).

Die Schädlinge haben im schweizerischen Weizenanbau insgesamt eine geringere Bedeutung als die Krankheiten. Bei den tierischen Schädlingen sind zahlreiche Antagonisten bekannt. In der Schweiz werden besonders Blattläuse und Getreidehähnchen gezielt bekämpft. Nematoden können lokal zu einem wichtigen Problem werden, das durch Fruchtfolge-Massnahmen bekämpft werden muss. Die Insektizidspritzungen richten sich v.a. gegen Getreidehähnchen und in einzelnen Jahren auch gegen Blattläuse. Für etwa 10% der Weizenfelder wird das "Epipre"-Prognosesystem angewandt. In der Schweiz wird nicht auf Schädlingsresistenz gezüchtet; die einzelnen Sorten sind jedoch unterschiedlich anfällig für die beiden Hauptschädlinge. Sowohl für Blattläuse als auch für Getreidehähnchen sind Toleranz und verschiedene echte Resistenzmechanismen bekannt (FRIED, 1993; HÄNI et al., 1992).

Die **Blattläuse** verursachen Schäden durch Saftentzug und giftigen Speichel. Auf dem ausgeschiedenen Honigtau können sich Schwärzepilze ansiedeln, die die Photosyntheseleistung der Pflanze beeinträchtigen. Die schwersten Verluste entstehen jedoch bei Ährenbefall zwischen Blütezeit und Milchreife. Dieser führt zu kleineren Körnern, verminderter Korngewicht und reduziertem Proteingehalt. Eine späte Reife fördert den Befall. Es gibt zahlreiche Räuber, Parasiten und Krankheitserreger der Blattläuse. Es ist deshalb ein wichtiger Bestandteil der indirekten Bekämpfung, dass die Nützlinge geschont werden. Die Hecken und Feldränder sollten nicht vernichtet werden, beim chemischen Pflanzenschutz sollte möglichst grosse Zurückhaltung geübt und nützlingsschonende Präparate verwendet werden. Mittels Insektiziden werden die Blattläuse direkt bekämpft, wobei auf die Befallsintensität und die Nützlingspopulation geachtet werden muss (FORRER, 1986; HÄNI et al., 1992).

Das **Getreidehähnchen** tritt regelmässig auf, verursacht aber selten Verluste über 10%. Seit einigen Jahren hat dieser Schädling an Bedeutung zugenommen, wahrscheinlich wegen der Zunahme der Anbauintensität. Die Schonung der natürlichen Feinde wirkt als wichtige indirekte Bekämpfungsmassnahme. Zu den Antagonisten des Getreidehähnchens gehören Marienkäfer, Laufkäfer, Kurzflügler, Florfliegenlarven und Raubwanzen als Prädatoren und verschiedene parasitoide Schlupfwespenarten. Ausserdem werden Getreidehähnchen von einer Pilzkrankheit (*Entomophthora*) befallen. Zur direkten Bekämpfung können bewilligte Insektizide nach einer befallsabhängigen Bekämpfungsschwelle eingesetzt werden (HÄNI et al., 1992).

Nematoden sind mit der Zunahme der Getreideflächen und der getreidelastigen Fruchtfolgen ebenfalls wichtiger geworden. Besonders die Ausbreitung der Hafernematoden (=Getreidezystenälchen) wird durch den intensivierten Getreideanbau gefördert. Auf stark befallenen Feldern können die Ertragsverluste 30%-50% betragen. Zwei- oder mehrmaliger Getreideanbau in der Fruchtfolge kann ausserdem nicht-zystenbildende Nematoden fördern. Direkte Massnahmen kommen aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage. Es ist also besonders wichtig, gesunde und mit Getreide wenig belastete Fruchtfolgen zu wählen. In verseuchten Gebieten dürfen Hafer oder Sommergerste nicht nach Weizen angebaut werden. Mais wirkt als Fangpflanze, die die Nematoden zwar zum Schlüpfen anregt, ihnen

aber keine Nahrungsgrundlage bietet, und so einen geringen Befall weiter reduzieren kann. Auch Stroh und Gründüngung haben eine günstige Wirkung (HÄNI et al., 1992). MAILLARD (1991) empfiehlt unter anderem wegen der Nematodenproblematik bei Sommer- und Winterweizen einen maximalen Fruchtfolgeanteil von 50%.

Die Zusammenhänge in einem Agro-Ökosystem sind recht komplex. Wir möchten darauf hinweisen, dass nicht nur die direkten Pflanzenschutzmassnahmen einen Einfluss auf die Krankheiten und Schädlinge haben, sondern dass auch die Anbau- und Pflegemassnahmen wichtige Einflussfaktoren sind. FORRER (1986) hat dies am Beispiel des Systems Weizen deutlich aufgezeigt: Nicht nur die Gestaltung der Fruchtfolge, die Sortenwahl, der Saatzeitpunkt und die Bestandesdichte können eine Zunahme der phytomedizinischen Probleme bewirken, sondern auch die Menge und Art der eingesetzten Stickstoffdünger, die Herbizide und der Einsatz von Halmverkürzungsmitteln, können den Krankheitsbefall wesentlich beeinflussen.

Zusammenfassend sollen noch einmal die für die Fruchtfolge limitierenden phytomedizinischen Probleme aufgeführt werden:

- **Halmbruch** fordert einen Anbau-Unterbruch von drei Jahren zwischen seinen Wirtspflanzen
- **Schwarzbeinigkeit** macht eine Anbaupause von ein bis drei Jahren zwischen den Wirtspflanzen notwendig.
- **Schneeschnitzpilz**: die Bodenverseuchung mit diesem Krankheitserreger spielt in schneereichen Lagen eine wichtige Rolle; konkrete Angaben über die Wirkung von Anbau-Unterbrüchen liegen nicht vor.
- **Ährenfusariosen** gehören nicht zu den eigentlichen Fruchtfolge-Krankheiten. Es ist jedoch Vorsicht geboten, wenn in der Fruchtfolge auch Mais angebaut wird, der diese Krankheit fördern kann.
- Das **Getreidehähnchen** hat seit der Intensivierung des Getreideanbaus zugenommen; mit zunehmender Intensität ist auch eine Zunahme dieses Schädlings zu erwarten.
- **Nematoden**, besonders das Getreidezystenähnchen werden durch eine Ausdehnung der Getreideflächen und der Zunahme des Getreideanteils in der Fruchtfolge begünstigt. Deshalb wird ein maximaler Weizenanteil von 50% empfohlen.

Bei zunehmendem Anteil an Weizen und Gerste in der Fruchtfolge ist mit einem deutlichen Ertragsabfall dieser Kulturen zu rechnen, da pilzliche und tierische Schaderreger stark zunehmen und die Verunkrautungsprobleme an Bedeutung gewinnen (NOTHDURFT, 1964; BOGULAWSKI und DERUCK, 1966). Weizen ist nicht selbstverträglich, weil er besonders anfällig für Fusskrankheiten ist; dabei sind v.a. Wintersaaten betroffen (HÄNI et al., 1992). In Untersuchungen von Weizenmonokulturen wurde eine massive Zunahme von Halmbruch und Schwarzbeinigkeit festgestellt, die zu stärksten Ertragsverminderungen führten. Der erhöhte Befall wurde dabei auf die verschlechterte Bodenstruktur zurückgeführt. Je enger die Folge von Weizen oder Weizen und Gerste gewählt wird, desto wichti-

ger wird es, die Infektionsquellen zu beseitigen (Stoppeln). Allgemein kann festgestellt werden, dass wiederholter Weizenanbau die Bodenstruktur verschlechtert, die Zufuhr an organisch gebundenem Stickstoff sowie die Unterbodenzugänglichkeit vermindert, die biotische Aktivität des Bodens senkt und die Vermehrung der Ungräser, insbesondere der Quecke, fördert. Deshalb ist mit steigendem Getreide-, insbesondere Weizenanteil in der Fruchtfolge grösster Wert auf eine gute Nährstoffversorgung, beste Bodenbearbeitung (trockene, d.h. frühe Pflugfurche) und Ungräserbekämpfung (z.B. mehrfache Bearbeitung zwischen Pflug und Saat) sowie auf ausreichende Versorgung mit organisch gebundenem Stickstoff (Gründüngung) zu legen. Schliesslich müssen Stroh und Stoppeln möglichst rasch und sorgfältig beseitigt werden (BROUWER, 1972).

Ein maximaler Fruchtfolge-Anteil von 25% Weizen wäre deshalb ideal, wird aber in der Schweiz nicht realisiert, weil Weizen eine so wichtige Getreideart ist. Heute wird im konventionellen und integrierten Landbau ein Anteil von maximal 50% empfohlen (MAILLARD, 1991).

Gentechnologie: Abschätzung ihres Einflusses auf Fruchtfolge und Anbautechniken

Der Hauptschwerpunkt der gentechnologischen Forschung lag beim Weizen lange Zeit auf der Entwicklung von Herbizidresistenzen und verbesserten ernährungsphysiologischer Qualitätseigenschaften (Proteinzusammensetzung). Im Bereich der transgenen Krankheits- oder Schädlingsresistenzen gibt es kaum Feldversuche. In den USA ist ein Bewilligungsverfahren für Feldversuche mit transgenen pilzresistenten Weizenpflanzen im Gange (USDA, 1995). Um welche spezifischen Resistenzen es sich dabei handelt, ist noch nicht veröffentlicht worden. Ausserdem kann angenommen werden, dass an Resistenz gegen Insekten mittels B.t-Toxin-Genen gearbeitet wird.

Ciba berichtet von einem neuen Spray-Verfahren mit einem Mittel, das u.a. Salicylsäure enthält und in behandelten Weizenpflanzen eine pflanzeneigene allgemeine Abwehrreaktion auslöst. In Versuchen wurde dabei eine relativ breit wirksame Resistenz gegen Mehltau und eine Teilresistenz gegen verschiedene Rostpilze und *Septoria* beobachtet. Eine gentechnologische Anwendung dieser Resistenzauslösung wäre nach Einschätzung der Ciba interessant (ETH Zürich, Gruppe Phytopathologie, internes Seminar).

- Mögliche Auswirkungen auf die Fruchtfolgegestaltung

Die Einführung transgener krankheits- oder schädlingsresistenter Weizensorten wird in der Schweiz kaum Auswirkungen auf die Fruchtfolgegestaltung haben. Die agrarpolitischen Entwicklungen weisen in Richtung Extensivierung. Wie bereits erwähnt wird die Stellung und der Fruchtfolgeanteil zudem von sehr vielen Faktoren beeinflusst.

- Mögliche Auswirkungen auf die Anbaufläche

Die Agrarpolitik strebt eine Extensivierung des Getreideanbaus an. Ein wichtiges Mittel ist dabei die Flächenstilllegung. Auch wenn die Einführung transgener resistenter Weizensorten die phytomedizinischen Probleme verringern würde, ist dennoch nicht mit einer Ausdehnung der Weizenanbaufläche zu rechnen. Falls die transgenen Resistenzen eine Erhö-

hung der Ertragssicherheit mit sich bringen, wäre eventuell sogar mit einer weiteren Reduktion der Anbauflächen zu rechnen.

- Mögliche Auswirkungen auf den Pflanzenschutz und die Anbaupraxis

Sowohl Resistenzen gegen pilzliche Krankheitserreger als auch gegen Insekten hätten im Weizenanbau eine Reduktion der Spritzmittelmenge zur Folge. In welchem Ausmass dabei Pestizide eingespart werden können, wird weitgehend davon abhängen, wie spezifisch eine transgene Resistenz wirksam wäre. Fungizidspritzungen wirken zumeist gegen einen grossen Komplex an Pathogenen. Bis eine transgene Resistenz eine ebenso breite Wirksamkeit aufweist, wird es wohl noch einige Zeit dauern; ein denkbarer Ansatz wäre z.B. der Transfer von DRR-Genen, die eine Chitinase-Bildung und damit ein breit wirksames Prinzip gegen pilzliche Krankheitserreger auslösen.

Die Wirkung gegen Fusskrankheiten würde im Hinblick auf ökologische Folgen eine besonders wichtige Rolle spielen. Eine transgenes Chitinase-Gen, das im Wurzelbereich der Pflanzen exprimiert würde, wäre auch gegen nützliche Bodenpilze (v.a. *Mykorrhizen*) wirksam. In Feldversuchen mit solchen transgenen Resistenzen müssten dementsprechende Untersuchungen bemacht werden.

Wenn transgene Weizensorten mit befriedigender Resistenz gegen pilzliche Pathogene zur Verfügung stehen würden, würde der Anbau von Sortenmischungen im Anbausystem B verdrängt werden. Da Sortenmischungen wegen der höheren Inhomogenität gegenüber reinen Sorten für die verarbeitende Industrie Schwierigkeiten bei der Verwertung mit sich bringen, ist der Anbau einer transgenen, in ihrer technologischen Qualität einheitlicheren Sorte ökonomisch attraktiver.

3.3 Zusammenfassende Bemerkungen

Keine allgemeingültigen Regeln für die Auswirkungen der Gentechnologie auf die Anbaupraxis

Für jede Kulturart findet man unterschiedliche Faktoren, welche die Anbaupraxis in der Schweiz prägen. Die phytomedizinische Situation ist von Kulturart zu Kulturart, zwischen den einzelnen Sorten und nicht zuletzt regional sehr unterschiedlich.

Ebenso gibt es auf der Seite transgener Resistenzen eine breite Palette an Genen, die für die verschiedenen Kulturarten getestet werden und die sehr unterschiedliche Wirkungsmechanismen aufweisen. Ausserdem ist die Spezifität und der Wirkungsgrad der transgenen Resistenzen von unterschiedlicher Ausprägung.

So wird in Zukunft für jedes neu eingeführte Gen und jede Kulturart eine neue Technikfolgeabschätzung gemacht werden müssen. Kontinuierliche Analysen werden notwendig sein und schliesslich wird erst die Erfahrung zeigen, welche Aspekte bei einer solchen Abschätzung vergessen oder unterschätzt worden sind.

Nicht nur phytomedizinische Probleme prägen die Fruchtfolgegestaltung

Die Gestaltung einer Fruchtfolge wird durch eine Vielzahl von Faktoren geprägt; die phytomedizinischen Probleme sind dabei ein wesentlicher Faktor.

Die Stellung einer Kulturart in der Fruchtfolge wird im wesentlichen vom Saat- und Erntezeitpunkt bestimmt. So wird trotz optimaler transgener Resistenzen Winterraps nie nach Zuckerrüben gesät werden.

Die Fruchtfolgegestaltung hat ausserdem wichtige Auswirkungen auf die Unkrautpopulation eines Landwirtschaftsbetriebes. Die für eine spezifische Fruchtfolge tragende Kulturart bestimmt dabei das Spektrum an Un- bzw. Beikräutern. Als Beispiel sei hier auf die Unkrautproblematik im Maisanbau hingewiesen. In den Gebieten, in denen ein intensiver Maisanbau vorherrscht, treten vermehrt herbizidresistente Unkräuter auf.

Als weiterer wichtiger Faktor, der einerseits durch die Fruchtfolge beeinflusst wird und andererseits die Anbaupraxis prägt ist der Boden. Er stellt wohl den komplexesten Produktionsfaktor eines Landwirtschaftsbetriebs dar. Zum einen können Verdichtungen, wie sie z.B. bei der Mais- oder Zuckerrübenernte bei feuchter Witterung entstehen können, die Fruchtbarkeit eines Bodens stark beeinträchtigen. Durch verschlechterten Gasaustausch kann die Verrottung von organischem Material reduziert werden, was wiederum eine optimale Saatbettbereitung behindert. Sauerstoffmangel beeinträchtigt die Aktivität der Bodenlebewesen, was wiederum Rückwirkungen auf den Abbau des Inokulums bodenbürtiger Krankheiten haben kann (z.B. Rapskrebs im Rapsanbau, Scharfer Augenfleck im Weizenanbau). In einem kürzlich erschienenen Artikel schreibt MEISTER (1995):

" Der Boden ist der kostbarste Produktionsfaktor des Bauern. Langfristige Fruchtfolgeversuche zeigen, dass der natürlichen Erneuerungs- und Regenerationskraft des Bodens Grenzen gesetzt sind. Im Sinne einer Früherkennung, ist es Aufgabe der agrarökologischen Forschung, auf die Langzeitfolgen von Bewirtschaftungssystemen und -intensitäten aufmerksam zu machen. Sie soll aufzeigen, wie der Ackerbau zu optimieren ist, indem Ertrag, Qualität und Ökologie mitberücksichtigt werden."

Die Fruchtbarkeit eines Bodens kann also durch eine fehlerhafte Bewirtschaftung oder eine zu hohe Bewirtschaftungsintensität nachhaltig zerstört werden. Deshalb ist der Erhaltung dieser Fruchtbarkeit eine prioritäre Stellung bei der Gestaltung der Fruchtfolge und der Anbaupraxis einzuräumen.

Die Entwicklung transgener Resistenzen wird kaum einen stärkeren Einfluss auf die Fruchtfolgegestaltung haben, als die Entwicklung eines neuartigen Pestizids. Die heute im Feldversuch getesteten Resistenzen wirken oft noch nicht gegen die für die Fruchtfolgegestaltung limitierenden Krankheiten und Schädlinge. Ausserdem wäre eine Intensivierung aufgrund solcher Resistenzen nur kurzfristig von wirtschaftlichem Vorteil; Negative Folgen, die eine erhöhte Anbauintensität mit sich bringen würde, würden jedoch nach einigen Jahren den Zustand des Bodens und die Unkrautprobleme in negativer Weise beeinflussen, so dass die vorerst erwirtschafteten Vorteile wieder relativiert würden.

Ist die Gentechnologie die einzige Alternative um den Pestizidaufwand zu senken?

Die wichtigste Zielsetzung bei der Entwicklung transgener krankheits- und schädlingsresistenter Kulturpflanzen liegt in der Reduzierung des Pestizidaufwandes; die Resistenzen sollen die Betriebskosten senken und zudem ökologischen Vorteile bringen, indem z.B. Nütz-

linge geschont werden, die bei der Spritzung eines wenig spezifischen Insektizids mitbeeinträchtigt werden.

Vergleicht man das System B mit einem konventionellen Landbauverfahren (System A), so stellt die Gentechnologie eine Möglichkeit dar, dieses Ziel zu erreichen. Vergleicht man System B jedoch mit einem "low-input" Verfahren wie dem Biolandbau (System C) wird zumindest der Vorteil des reduzierten Pestizidaufwands relativiert. Für die Betriebe des Systems B sind generell jedoch höhere Erträge zu erwarten als für Biobetriebe. Dies bedeutet, dass Betriebe die transgene resistente Kultursorten anbauen, einen höheren Nährstoffbedarf haben als Biobetriebe. Ein Betrieb mit höherem Stickstoff-Niveau stellt heute aus phytomedizinischer Sicht ein labileres Gleichgewicht dar als ein Betrieb mit niedrigem Stickstoff-Input. Ein Beispiel für ein solch labiles Gleichgewicht stellt sicherlich der intensive Getreidebau dar (FORRER, 1986).

In der Schweiz finden wir für viele Kulturarten momentan eine Marktsättigung resp. sogar ein Überangebot. In Anbetracht des agrar-politischen Umfelds scheinen uns aus pflanzenbaulicher Sicht low-input Systeme mit leicht niedrigeren Erträgen eine sinnvolle Lösung, um den Pestizidaufwand zu reduzieren, die allerdings durch eine langfristige Agrarpolitik abgestützt sein muss. Es sei daran erinnert, dass viele phytomedizinische Probleme erst durch die Steigerung der Anbauintensität zu ertragslimitierenden Faktoren wurden. Die ökologische Nischen, die von den bisher limitierenden Krankheiten und Schädlingen besetzt wurden, können durch die entsprechenden Resistenzen transgener Pflanzen frei werden; dabei scheint uns die Gefahr in einem nährstoff-intensiven System wie System B relativ gross, dass die Nischen durch neue Erreger oder Schädlinge besetzt werden wird, die heute noch unbedeutend sind. Allerdings sind auch spezifische Lösungen durch transgene Sorten, siehe Rhizomania-Resistenz bei Zuckerrüben, zu berücksichtigen, die zu einem standortgerechten Anbau beitragen würden. Weiterhin können in fernerer Zukunft zusätzliche Problemlösungen erwünscht sein, wenn das Erzeugereinkommen insgesamt sinkt und auch auf schweizerischer bzw. europäischer Ebene ein (ökologisch nicht sehr günstiges) hohes Produktionsniveau zur Sicherung der Welternährung wieder erwünscht wäre.

3.4. Literatur

ACHERMANN, J. und GANTNER, U., 1993. Quel avenir pour la culture céréalière en Suisse? *Revue suisse Agric.*, 25 (1): S.5-9.

ADANG, M.J., BRODY, M.A., CARDINEAU, G., EAGAN, N., ROUSH, R.T., SHEWMAKER, C.K., JONES, A., OAKES, J.V., McBRIDE, K.E., 1993. The reconstruction and expression of a *Bacillus thuringiensis* cry II gene in protoplasts and potato plants, *Plant Molecular Biology*, 21 (6): S.1131-1145.

AMMON, H. U., 1986. Analyse Ausgewählter Landwirtschaftlicher Kulturen der Schweiz - Mais. In: Schweizerische landwirtschaftliche Forschung, Heft 3/4, 25. Jahrgang, Eidg. Volkswirtschafts-departement, Bern. S.297-301.

AMMON, H. U., 1990. Auswirkungen der Herbizide auf die Bodenfruchtbarkeit. Schweiz. Landw. Forschung 29: S.47-59.

ANONYM, 1986. Integrierter Pflanzenschutz: Modellvorhaben Ackerbau, Lautenbacher Hof. Landesanstalt für Pflanzenschutz, Stuttgart, In: Schweizerische landwirtschaftliche Forschung 3/4, 25. Jrg.: S.343.

BARKER, H., REAVY, B., KUMAR, A., WEBSTER, K.D., MAYO, M.A., 1992. Restricted virus multiplication in potatoes transformed with the coat protein gene of potato leafroll luteovirus: similarities with a type of host gene-mediated resistance, *Annals of Applied Biology*, 120 (1): S.55-64.

BaZ (Basler Allgemeine Zeitung), 1995. USA: Grünes Licht für Gentech-Mais. 10.Aug.1995.

BENHAMOU, N., BROGLIE, K., CHET, I., BROGLIE, R., 1993. Cytology of infection of 35S-bean chitinase transgenic canola plants by *Rhizoctonia solani*: cytochemical aspects of chitin breakdown in vivo. *Plant Journal* 4: 2; S.295-305.

BERTSCHI, A., Zuckerrübenfachstelle Ostschweiz, Landw. Schule Strickhof, CH-8315 Eschikon-Lindau.

BOGUSLAWSKI, E. von und DEBRUCK, J., 1966. Wieweit vereinfachte Fruchtfolgen? *Mitt. DLG.* 81: S.275-279.

BROGLIE, R., BROGLIE, K., 1994. Chitinase gene expression in transgenic plants: a molecular approach to understanding plant defence responses. In BEVAN, M. W., HARRISON, B.D., LEAVER, C. J. (Eds.), 1994. *The production and uses of genetically transformed plants.* Chapman and Hall Ltd., London; S.77-82.

BROUWER, W., 1972. *Handbuch des Speziellen Pflanzenbaues - Band I*, Paul Parey, Berlin und Hamburg: S.93-96; S.537-564.

BROUWER, W., 1976. Handbuch des speziellen Pflanzenbaues - Band 2. Paul Parey, Berlin und Hamburg: S.60; S.123-148; S.265-267, 301-314; S.433-434.

BÜCHI, R., 1990. Investigations on the use of turnip rape as trap plant to control oilseed rape pests. Bulletin OILB / SROP 13 (4); S.32-39.

BÜCHTING, A.J., 1993. Die Chancen der Gentechnik für die Landwirtschaft nutzen. Zuckerindustrie, 118: S.165-168.

CACCIA, R., PACE, C. de, MUGNOZZA, G.T.S., TRINCA, S., DODDS, J., MAGRO, P., CHILOSI, G., 1992. Response of transgenic potato clones to *Phytophthora infestans* infection. In: ROUSSELLE-BOURGEOIS, F. und ROUSSELLE, R. (Eds.). Proceedings of the Joint Conference of the EAPR Breeding & Varietal Assessment Section and the EUCARPIA Potato Section, Landerneau, France, 12-17 January 1992, Ploudaniel, France, INRA: S.81-86.

CAMMUE, B.P.A., BOLLE, M.F.C. de TERRAS, F.R.G., OSBORN, R.W., REES, S.B., BROEKAERT, W.F., 1993. Structure and properties of cystein-rich antifungal proteins from plant seeds; In: BRUENING, G., GARCIA-OLMEDO, F., PONZ, F., Workshop on engineering plants against pests and pathogens, Madrid Spain, Instituto Juan March de Estudios e Investigaciones: S.28-29.

CHANG, M.M., CHIANG, C.C., MARTIN, M.W., HADWIGER, L.A., 1993. Expression of a pea disease resistance response gene in the potato cultivar Shepody. American Potato Journal, 70 (9): S.635-647.

DERRON, J.-O. und GOY, F., 1990. Importance relative des pucerons ailés les plus fréquemment rencontrés sur la pomme de terre comme vecteurs du virus Y (PVY-N), compte tenu de leur mobilité. Revue suisse Agric., 22: S.277-281.

DERRON, J.-O., 1986. Analyse ausgewählter Landwirtschaftlicher Kulturen der Schweiz - Kartoffeln, Schweiz. landw. Forschung 3/4, 25. Jrg.: S.308-312; S.312-315.

DURING, K., FLADUNG, M., LORZ, H., 1993. Antibacterial resistance of transgenic potato plants producing T4 lysozyme. IN FRITIG, B. und LEGRAND, m. (Eds.). Mechanisms of plant defense responses; Proc. of the 2nd International Conference of the European Foundation for plant Pathology, Strasbourg, France, 24-27 August 1992, Dordrecht, Netherlands, Kluwer academic Publishers: S.437-440.

FORRER, H.R., 1986. Entwicklungen in der Krankheitsbekämpfung im intensiven Getreidebau. Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung 3/4, 25.Jrg.: S.341-349.

FRIED, P.M., 1993. Expertise betreffend Möglichkeiten des Einsatzes biotechnologischer Methoden zur Erhöhung der Resistenz gegen Krankheiten und Schädlinge wichtiger Kulturpflanzen der Schweiz, Schweizerischer Nationalfonds, Schwerpunktprogramm Biotechnologie (Modul 6), BATS, Basel.

GINDRAT, D., 1986. Analyse Ausgewählter Landwirtschaftlicher Kulturen - Getreide. Schweizerische landwirtschaftliche Forschung 3/4, 25.Jrg.: S.302-307.

GINDRAT, D., FREI, P., MAILLARD, A., 1995. Essais de lutte contre les maladies du blé d'automne en Suisse romande. III Maladies du feuillage et des épis: développement de l'Oïdium, de la rouille brunde et des septorioses (1987-1993). Revue suisse Agric., 27 (1): S.41-48.

GRESSEL, J., SEGEL, L.A., 1982. Herbicide resistance in plants. Wiley, New York.

HÄNI, F., 1986. Analyse ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturen der Schweiz - Zuckerrüben, Schweiz. Landw. Forschung 3/4, 25. Jrg.: S.316-322.

HÄNI, F., POPOW, G., REINHARD, H., SCHWARZ, A., TANNER, K., VORLET, M., 1988. Pflanzenschutz im Integrierten Ackerbau, 2. Auflage, LmZ, Zollikofen.

HÄNI, F., POPOW, G., REINHARD, H., SCHWARZ, A., TANNER, K. und VORLET, M., 1992. Pflanzenschutz im Integrierten Ackerbau. LmZ, Zollikofen.

HÄNI, F., Schweizerisches Landwirtschaftliches Technikum, Ingenieurschule HTL, CH-3052 Zollikofen.

HANUS, H. und BOSSE, N., 1985. Wirtschaftlichkeit verschiedener Pflanzenschutzintensitäten im Winterweizenanbau. Gesunde Pflanze, 8/85: S.367-375.

HOFER, F., 1995. Abschätzung bio- bzw. gentechnologischer Entwicklungen auf die Agrarwirtschaft in der Schweiz am Beispiel krankheits- und schädlingsresistenter Nutzpflanzen. Diplomarbeit, Institut für Agrarwirtschaft, ETH Zürich.

HOPPE et al., 1986. Wirtschaftlichkeit verschiedener Pflanzenschutzintensitäten im Winterweizenanbau. Gesunde Pflanze, 5/1986: S.234-242.

JÄGGI, W., OBERHOLZER, H., WINIGER, F.A., 1995. Befall von Kartoffelpflanzen durch *Erwinia carotovora*. Agrarforschung, 2 (6): S.227-230.

JONGEDIJK, E., SCHUTTER, A.A.J.M. de, STOLTE, T., ELZEN, P.J.M. van den, CORNELISSEN, B.J.C., 1992. Increased resistance to potato virus X and preservation of cultivar properties in transgenic potato under field conditions, Bio/Technology 10 (3): S.422-429.

KANIEWSKI, W., LAWSON, C., SAMMONS, B., HALEY, L., HART, L., DELANNAY, S., TUMER, N.E., 1990. Field resistance of transgenic Russet Burbank potato to effects of infection by potato virus X and potato virus Y,. Bio/Technology 8 (8): S.750-754.

KOZIEL, M.G., BELAND, G.L., BOWMAN, C., CAROZZI, N.B., CRENSHAW, R., CROSSLAND, L., DESAI, N., HILL, M., KADWELL, S., LAUNIS, K., LEWIS, K., MADDOX, D., McPHERSON, K., MEGHJI, M. R., MERLIN, E., RHODES, R., WARREN, G.W., WRIGHT, M. and EVOLA, S. V., 1993. Field performance of elite transgenic maize plants expressing an insecticidal protein derived from *Bacillus thuringiensis*. Biotechnology 11; S.194-200.

LAWSON, C., KANIEWSKI, W., HALY, L., ROZMAN, R., SANDERS, P., RUMER, N.E., 1990. Engineering Resistance to Mixed Virus Infection in a Commercial Potato Cultivar: Resistance to Potato Virus X and Potato Virus Y in Transgenic Russet Burbank. *Bio/Technology* 8 (2): S.127-134.

MAILLARD, A., 1991. Terres assolées: quelle rotation de cultures? *Revue suisse Agric.* 23 (4): S.219-222.

MALNOË, Pia, FARINELLI, L, COLLET, G.F., REUST, W., 1994. Small-scale Field Tests with Transgenic Potato, cv. Bintje, to Test Resistance to Primary and Secondary Infections with Potato Virus Y. *Plant Mol. Biol.*, 25: S.963-975.

MEISTER, E., 1995. Ökologische Ziele im integrierten Ackerbau, *Agrarforschung* 2 (6): S.207.

NOTHDURFT, G., 1964. Die Ertragsleistung verschiedener Fruchtfolgesysteme am Beispiel des Fruchtfolgeversuches Rauisch-Holzhausen. Diss., Giessen. IN: BROUWER, W., 1972. *Handbuch des Speziellen Pflanzenbaues - Band I*, Paul Parey, Berlin und Hamburg: S.95-96.

SALZMANN, R. und KELLER, E.R., 1969. *Krankheiten und Schädlinge der Kartoffel*. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen. 150pp.

STEINRÜCKEN, G. und DIECKMANN-HEIMBURG, A., 1993. Gentechnologie als Element zukünftiger Zuckerrübenzüchtung, *Zuckerrübe*, 42. Jrg., (6): S.376-378.

TRUVE, E., AASPOLLU, A., HONKANEN, J., PUSKA, R., MEHTO, M, HASSL, A., TEERI, T.H., KELVE, M., SEPPANEN, P., SAARMA, M., 1993. Transgenic potato plants expressing mammalian 2'-5' oligoadenylate synthetase are protected from potato virus Y infection under field conditions. *Bio /Technology* 11 (9): S.1048-1052.

USDA, 1993. Record of environmental release permits to February 1993. US Department of Agriculture Animal and Plant Health Inspection Service Biotechnology, Biologies and Environmental Protection, Biotechnology Permit Unit, 6505 Belcrest Road, Hyattsville, Maryland, USA. In: DALE, P.J., IRWIN, J.A., SCHEFFLER, J.A., 1993. *The Experimental and Commercial Release of Transgenic Crop Plants*, *Plant Breeding*, 11: S.1-22.

USDA, 1995. Release Permits under 7 CFR Part 340. Biotechnology Permits, USDA, APHIS, BBEP, Riverdale, MD 20737: *Internet*.

VALENGHI, D., SAURER, W., WEILENMANN, F., WINZELER, H., WINZELER, M., 1994. Schweizerische Liste der Brot- und Futtergetreidesorten (ohne Mais). *Agrarforschung*, 1 (8): S.I-XVI.

VSBLÖ (Vereinigung schweizerischer biologischer Landbau-Organisationen), 1992. *Bio Suisse - Richtlinien für die Erzeugung, Verrbeitung und den Handel von Produkten aus biologischem (ökologischem) Anbau*. VSBLÖ, Spalentorweg 46, CH-4051 Basel: S.39.

VULLIOUD, P.A., Station Fédérale de Recherches Agronomiques de Changins (RAC), Rte de Duillier, Case postal 254, CH-1260 Nyon 1.

WARREN, G.S., 1992. Cell Culture and Recombinant DNA Technology in Plant Pathology. In: FOWLER, M. W. and WARREN, G. S. (Eds.), 1992. Plant Biotechnology: Comprehensive Biotechnology; Second supplement, Pergamon Press plc, Oxford, New York, Seoul, Tokyo; S. 283-292.

WILK, F. van der, WILLINK, D.P.L., HUISMAN, M.J., HUTTINGA, H., GOLDBACH, R., 1991. Expression of the potato leafroll luteovirus coat protein gene in transgenic potato plants inhibits viral infection. *Plant Molecular Biology*, 17 (3): S.431-439.

WINIGER, F.A., 1994. Offizielle schweizerische Liste der Kartoffelsorten 1995, *Agrarforschung*, 1 (11-12): S.I-VI.

WINIGER, F.A., Eidgenössische Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau, Reckenholz (FAP), CH-8046 Zürich.

WOLFE, M.S., 1992. Übungen in Phytopathologie, Institut für Pflanzenwissenschaften, Bereich Phytomedizin/Pathologie, ETH Zürich: S.67-80.

ZADOKS, J.C., 1985. On the conceptual basis of crop loss assessment: the threshold theory. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 23: S.455-473.

4. Verdankung

Ich danke Prof. Peter Stamp und Dr. J.E. Schmid für die Betreuung dieser Fachstudie, für ihre Kommentare und die wiederholte Durchsicht der Kapitel. Ebenso danke ich Dr. E. Schulthe für die Zusammenarbeit während dieser Studie.

Auch den Fachpersonen, die mir mit Informationen, Literatur oder angeregten Diskussionen weitergeholfen haben, gehört mein herzlicher Dank. Dazu gehören Prof. P. Struik, Prof. M.S. Wolfe, Dr. F. Häni, Dr. H.U. Ammon, Dr. F.A. Winiger, Dr. J.-O. Derron, Dr. P.A. Vullioud, Dr. U. Niggli, Dr. K. Redding und Herr A. Bertschi.

Franz Hofer, Stephanie Frank, Robert Blatter und Kirsten Schlüter möchte ich herzlich für die offene Zusammenarbeit danken.

Ausserdem danke ich den Mitgliedern der Gruppe Ackerbau und Pflanzenzüchtung am Institut für Pflanzenwissenschaften, die mir in vielen organisatorischen Belangen behilflich waren. Mein besonderer Dank gilt auch Frau M. Schneider, die mir bei der Literatursuche oft geholfen hat.