

Aufgrund der Neuartigkeit der Methoden zur Entwicklung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) ist es grundsätzlich nicht möglich, sich bei Prognosen über mögliche unerwünschte ökologische Folgen von Freisetzungen von GVO auf Erfahrungswerte zu beziehen. Da über Umweltauswirkungen noch kaum einschlägige Daten vorliegen, muß auf Analogiemodelle zurückgegriffen werden. Die Ergebnisse der Invasionsbiologie, insbesondere der Neophytenforschung (exotic species model), zeigen, daß Einzelfallprognosen über die Verwilderung eingeführter Pflanzen generell kaum möglich sind. Biologische Invasionen beginnen oft mit einer jahrzehnte- bis jahrhundertelangen Verzögerungsphase, bevor gelegentlich massive ökologische Effekte auftreten oder erkennbar sind. Ein alternatives, für GVO herangezogenes Modell versucht einen Vergleich mit dem Verhalten von konventionell gezüchteten Kulturpflanzen herzustellen („Vertrautheitsprinzip“ bzw. „familiarity-model“).

Die große Bedeutung von Hybridisierung und Polyploidisierung von Kulturpflanze-Wildkraut-Komplexen in der Evolution macht deutlich, welche entscheidende Rolle gerade sehr seltenen und unwahrscheinlichen Ereignissen in evolutiven Prozessen zukommt. Ein weiteres schwerwiegendes Problem stellt der "Durchwuchs" von Kulturpflanzen dar. Sogar einjährige Kulturpflanzen, wie z.B. die Kartoffel, können in Folgekulturen wieder auftreten.

Jede Risikobewertung muss versuchen, sowohl das Ausmaß des möglichen Schadens als auch die Wahrscheinlichkeit seines Eintretens abzuschätzen. Bei der Freisetzung transgener Kulturpflanzen müssen sowohl die **Art der Pflanze**, als auch **die Art der gentechnischen Veränderung** berücksichtigt werden. Bei der Art der Pflanze sind bekannte Verwilderungstendenzen, sowie Vorkommen und Häufigkeit der möglichen Kreuzungspartner im zur Diskussion stehenden Gebiet wesentliche Beurteilungsgrundlagen. Bezüglich der Art der gentechnischen Veränderung sind wichtige Kriterien, ob sich die transgene Kulturpflanze aufgrund ihrer neu erworbenen Eigenschaften auch außerhalb der Kultur „selektionsneutral“ verhält oder ob diese sogar einen Selektionsvorteil vermitteln können, und welche speziellen ökologischen Folgen bei Verwilderung oder Auskreuzung zu erwarten sind. Die Wahrscheinlichkeit introgressiver Hybridisierung hängt jedoch nicht nur von der Fitness der Hybriden, sondern auch von den Populationsdichten und der Ausbringenshäufigkeit der GVO ab.

Bei der Risikoabschätzung von Freisetzungen bleibt die Einzelfallprüfung („case-by-case“) notwendig. Die Entwicklung von GVO im Freiland läßt sich nicht völlig aus ihrem Verhalten unter Laborbedingungen vorhersagen. Neben den beabsichtigten Wirkungen eines gentechnischen Eingriffs können auch unerwartete phänotypische Effekte auftreten (als genetische Mechanismen kommen dafür unter anderem Pleiotropie und Positionseffekte in Betracht). POHL-ORF et al. (1998) beobachteten in einem Überwinterungsversuch einen geringeren Schosseranteil bei

transgenen Rüben. In einem Freilandversuch mit *Arabidopsis thaliana* wurde eine Erhöhung der Auskreuzungsrate bei transgenen Linien dieser weitgehend selbstbestäubenden Art festgestellt (BERGELSON et al. 1998). Die Ursachen für diese Änderungen der Fortpflanzungsbiologie sind noch weitgehend unbekannt. Diese Befunde zeigen jedoch, daß sich die Eigenschaften einer gentechnisch veränderten Pflanze (GVP) nicht einfach additiv aus denen der Ausgangspflanze und der gewünschten Wirkung des eingebrachten Genes vorhersehen lassen. Im zweiten hier genannten Fall hätte eine Prognose aufgrund der bekannten Biologie dieser Art das Auskreuzungsrisiko erheblich unterschätzt.

Die vorliegende Dissertation setzt sich aus vier Studien zusammen. Im ersten Abschnitt wird ein Gesamtüberblick über die spezielle Situation in Österreich gegeben. Geomorphologische und floristische Besonderheiten werden detailliert beleuchtet. Zudem werden in Österreich vorkommende potentielle Kreuzungspartner für die wichtigsten und problematischsten 26 Kulturpflanzen, an denen derzeit bereits gentechnische Manipulationen durchgeführt werden, aufgelistet und kritisch diskutiert. Anhand dieser Aufstellungen ist aber auch die Unsicherheit und Schwierigkeit zu ersehen, das Ausmaß an spezifischen Kreuzungspartnern von GVO abzuschätzen. Basierend auf diesen Überblickstabellen befassen sich zwei weitere Studien (Abschnitt III und IV) mit Fallbeispielen ausgewählter Kulturpflanzen, nämlich der Zuckerrübe und Raps. Diese beiden in Österreich gebauten Nutzpflanzen besitzen bezüglich ihres Hybridisierungspotentials eine sehr unterschiedliche Grundproblematik. Der für die Zuckerrübe relevanteste wild vorkommende Kreuzungspartner, nämlich die Wilde Rübe, kommt in Österreich nicht vor. Die Problematik besteht in diesem Fall bei der Kreuzung mit anderen Kulturformen. Raps hingegen stellt bezüglich seines Auskreuzungspotentials mit zahlreichen Hybridisierungspartnern in Österreich eine äußerst kritische Nutzpflanze dar und wird folglich in der vorliegenden Arbeit ausführlich und im Detail geprüft. Ein weiterer Teilbereich der Dissertation beschäftigt sich mit regionalen Aspekten, die in den letzten Jahren in der allgemeinen Debatte eher vernachlässigt wurden. In dieser Studie werden die Sinnhaftigkeit und generelle Durchführbarkeit von regionalen Ausgrenzungen „GVO-freier Gebiete“ kritisch diskutiert und behandelt.

Zur allgemeinen österreichischen Situation:

Österreich besitzt eine im Vergleich zu anderen EU-Ländern hohe Biodiversität, sowohl in Bezug auf den Artenreichtum als auch auf die Vielfalt der Lebensräume. Wesentlich dafür sind die Anteile an der Pannonischen Region und an den Alpen. Besonders die Arten des Pannonikums als zusätzliche potentielle Kreuzungspartner von transgenen Kulturpflanzen bedürfen bei einer ökologischen Folgenabschätzung von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen spezieller Beachtung.

Vor allem die in der Literatur noch generell wenig beachteten Futtergräser (z.B. *Festuca* sp., *Poa* sp., *Lolium* sp., etc.) repräsentieren ein hohes Unsicherheitspotential für eine Risikoabschätzung. Beispielsweise ist die Gattung *Festuca* sehr reich an Arten, zwischen denen bereits Hybridisierungen bekannt sind. Zudem zeigen die *Festuca*-Arten ein sehr enges Verwandtschaftsverhältnis zu anderen Gattungen der Poaceae, wie etwa *Lolium* sp., mit denen bereits natürlich auftretende stabile Hybride festgestellt werden konnten. Das Hybridisierungspotential

vieler Pflanzenarten läßt sich oft nicht exakt einschätzen und ist im Einzelfall mit großer Unsicherheit behaftet. Da zwei Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Österreich Gras- oder Weideland sind, spielt die Gräser-Problematik vor allem für Österreich eine wichtige, aber bis dato vernachlässigte Rolle. Gentechnisch veränderte Futtergräser, die beispielsweise häufige Schnittfrequenzen oder starke Bodenbelastungen, etwa durch den Einsatz schwerer Mähfahrzeuge, besser ertragen könnten, könnten daher in Zukunft in Österreich ein besonderes ökologisches Risiko darstellen.

Generell ist festzuhalten, daß Versuchs- bzw. Anbauflächen, vor allem von transgenen Kulturpflanzen mit wild vorkommenden Kreuzungspartnern, in Gebieten, in denen eine Vielzahl von kritischen Hybridisierungspartnern auftritt, grundsätzlich zu vermeiden sind. Das trifft besonders auf die Biodiversitätszentren zu, sensible Bereiche, für die eine große Struktur- und Artenvielfalt charakteristisch sind. Diese kommen gehäuft in den Randbereichen der biogeographischen Großregionen vor. Von vielen derzeit geplanten gentechnischen Anwendungen ist zu befürchten, daß in Zukunft GVO einen Faktor darstellen werden, der den Verlust an Artenvielfalt zusätzlich noch beschleunigen wird.

Die häufig geäußerte Ansicht, daß GVO grundsätzlich kein größeres ökologisches Risiko als beispielsweise andere Sorten von Kulturpflanzen darstellen, beruht weitgehend auf der Abwesenheit konkreter Daten. Bei der Bewertung von Freisetzungen von GVO sollten verstärkt ökologische Systemzusammenhänge berücksichtigt werden. Die Analyse ökologischer Effekte von transgenen Organismen darf dabei nicht auf die mögliche Beeinträchtigung so genannter "Nicht-Ziel"-Organismen und -Ökosysteme beschränkt bleiben, sondern sollte insbesondere auch Auswirkungen auf die Agrarökosysteme selbst einschließen. Die in manchen Fällen nicht unwahrscheinlichen langfristigen Umwelteffekte können in kontrollierten kleinräumigen Versuchen meist nur unzureichend geprüft werden. Ökologische Zukunftsprognosen sind basierend auf kleinflächigen Detailuntersuchungen generell nicht möglich.

Bei schädlingsresistenten GVO ist die Wahrscheinlichkeit langfristiger ökologischer Auswirkungen hoch. In vielen Fällen (z.B. herbizidresistente GVO) werden indirekte Effekte der Freisetzung von GVO beispielsweise durch Veränderung der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren die Ökosysteme stärker betreffen als direkte Einflüsse der GVO. Als ökologischer als auch landwirtschaftlicher Schaden wäre beispielsweise das Entstehen von äußerst resistenten Beikräutern („Super-weeds“) infolge einer Übertragung von Herbizidresistenzen von transgenen Kulturpflanzen auf verwandte Wildarten zu bewerten. Diese konkurrenzstarken Beikräuter könnten einen verstärkten Herbizideinsatz in der Landwirtschaft erforderlich machen.

Bei der Freisetzung von transgenen Mikroorganismen sind Vorhersagen des Ausmaßes ökologischer Auswirkungen rein hypothetisch. Charakteristika von Mikroorganismen sind ein einfacher struktureller Aufbau, die Möglichkeit des horizontalen Gentransfers auf andere Arten, oder gelegentlich sogar auf Pflanzen oder Tiere, und eine möglicherweise besonders schnelle Anpassungsfähigkeit an unterschiedlichste Umweltbedingungen. Bis dato gibt es nur mangelhafte detaillierte Kenntnisse über die Vielfalt von Mikroorganismen. GVM müssten in massiver Zahl in die Umwelt ausgebracht werden. Eine Möglichkeit der Rückholung bei negativen Folgen ist nicht gegeben. Der Gesamtproblematik von GVM entsprechend sollte daher ein striktes Frei-

setzungsverbot von gentechnisch veränderten Mikroorganismen für Österreich ausgesprochen werden.

Die Frage, welche ökologischen Veränderungen als "Schaden" zu bewerten sind und welche nicht, ist von Seiten der Ökologie, die als Naturwissenschaft die Aufgabe hat, Veränderungen von Ökosystemen zu beschreiben, auf rein wissenschaftlicher Ebene nicht zu beantworten. Ein Nichterreichen von Zielen des Naturschutzes könnte als "Schaden" definiert werden. Zumeist erfolgt die Begriffsdefinition "Schaden" nach Kriterien der Land- und Forstwirtschaft.

Der Mangel an Erfahrungswerten mit dem Anbau transgener Pflanzen, besonders in Mitteleuropa, sowie die rasche und unabsehbare Entwicklung der Gentechnik, bedingen große Unsicherheiten bei allen längerfristigen Prognosen über ökologische Effekte von GVP. Aus evolutionsbiologischer Perspektive besteht ein wesentliches Problem darin, daß äußerst unwahrscheinliche und seltene Ereignisse langfristig große Auswirkungen haben können. In kontrollierten Freisetzungsvorhaben, die für manche Aspekte der Risikoabschätzung notwendig sind, kann etwa der Genfluss zu bekannten Kreuzungspartnern quantitativ abgeschätzt werden. Seltene Ereignisse, wie etwa die Stabilisierung von hybriden Genotypen durch Polyploidie, können aufgrund derartiger Versuche aber kaum erkannt oder prognostiziert werden. Gerade solche seltenen Hybridisierungen waren (und sind) in der Evolution der Kulturpflanzen und Wildkräuter von größter Bedeutung. Die Eigenschaften der Hybriden sind auch mit dem Kenntnis der Elternformen meist nicht völlig vorhersehbar. So besiedelt das hybride tetraploide Reisgras *Spartina anglica* beispielsweise Lebensräume, in denen seine Elternarten nicht wachsen können (GRAY et al. 1991).

Regionalitätsaspekt („region by region“):

Die Kurzstudie mit dem Titel „Biologische Grundlagen und Möglichkeiten der Auskreuzung von gentechnisch veränderten Pflanzen - Grenzen der Prognostizierbarkeit“, (PASCHER & GOLLMANN 1998) wurde in Form einer Expertise im Rahmen der im Auftrag des Bundesministeriums für Frauenangelegenheiten und Verbraucherschutz in Auftrag gegebenen Studie „GVO-freie ökologische Gebiete – Konzepte und Kriterien zur Definition von „sensiblen Gebieten“, in denen aufgrund der ökologischen Bedingungen nachteilige Umweltauswirkungen durch die Freisetzung von GVO möglich sind“ (HOPPICHLER 1998) durchgeführt.

Im Zusammenhang mit der Ausbringung von GVO sind aus vegetationsökologischer Sicht unter dem Begriff „sensible Gebiete“ zwei unterschiedliche Problemfelder und Schutzziele zu verstehen:

Zum einen stellen weitgehend naturbelassene Nichtziel-Ökosysteme von GVP wie Naturschutzgebiete, Naturdenkmäler, Landschaftsschutzgebiete, biodiversity hot spots, etc. grundsätzlich Gebiete mit absolutem Schutzstatus dar, die als besonders wertvoll und sensibel bezüglich exogener Störungen zu bewerten sind. Zum anderen befinden sich die von Freisetzungen von GVO primär betroffenen Gebiete innerhalb oder im unmittelbaren Umkreis von Anbaueregionen, sprich in den Zielgebieten selbst. Die Kulturlandschaften müssen in diesem Zusammenhang als besonders sensibel gelten, da es sich, wie schon erwähnt, um die Bereiche mit dem Verbreitungsschwerpunkt der meisten potentiellen Kreuzungspartner handelt und demzu-

folge gerade hier ökologische Folgen von unbeabsichtigten Auskreuzungen zu erwarten sind. Dazu kommt, daß durch die laufenden anthropogenen Veränderungen im Zuge ackerbaulicher Maßnahmen regelmäßig offene Standorte geschaffen werden, die eine etwaige Etablierung von GVO oder Hybriden erleichtern könnten.

Die Ausweisung sensibler Gebiete vom „Typ Naturlandschaft“ kann einen bedingten Schutz bestimmter Bereiche gewährleisten. Ein absoluter Schutz ist jedoch grundsätzlich nicht möglich, da die Einwanderung (Pollenflug über größere Distanzen, Pollen-Verfrachtung mittels Gewässerläufen, Insekten und Vögel etc.) von „Auskreuzungshybriden“, die sich in angrenzenden Bereichen etabliert haben, nicht verhindert werden kann. Beim "Typ Kulturlandschaft" hingegen handelt es sich um die direkt vom Auskreuzungsrisiko betroffenen Gebiete außerhalb des Schutzgebietsnetzes, und damit um die im Zusammenhang mit Freisetzungen von GVO eigentlich sensiblen Gebiete. Aus Sicht der Vegetationsökologie muss die Durchführung einer absoluten Ausgrenzung sensibler Gebiete für Österreich in diesem Zusammenhang als **nicht zielführend** eingestuft werden.

Es soll an dieser Stelle auf ein grundlegendes Dilemma bei der Ausgrenzung „GVO-freier Bereiche“ hingewiesen werden. Der Schutz bestimmter sensibler Regionen kann bei der ersten Stufe von Freisetzungsexperimenten mit umfassenden Sicherheitsmaßnahmen zwar noch weitgehend gewährleistet werden, sobald jedoch die transgene Kulturpflanze großflächig zum Anbau zugelassen wird, wird der Schutz sensibler Gebiete generell nicht mehr möglich sein. Ein großflächiger Anbau von transgenen Kulturpflanzen erhöht auch die Wahrscheinlichkeit eventueller ökologischer Folgen.

Fallbeispiel Zuckerrübe:

Die Zuckerrübe ist eine der Kulturformen der Art *Beta vulgaris*, deren wilde Stammform an den Küsten des Mittelmeers und Westeuropas lebt. Sie entstand vor etwa 200 Jahren, wahrscheinlich aus einer Kreuzung von Futterrübe und Mangold, und wurde zu einer bedeutenden Nutzpflanze der gemäßigten Breiten entwickelt.

Die Zuckerrübe ist konkurrenzschwach, bei ihrem Anbau ist die Bekämpfung der Beikrautflora (mechanisch oder heute meist durch Herbizide) besonders im Jugendstadium notwendig. Ein Problem stellen dabei so genannte „Unkrautrüben“ dar, die aus unkontrolliert versamten Rüben entstanden sind.

Gentechnische Veränderungen der Zuckerrübe betreffen Herbizidresistenzen (die potentiell die Herbizidanwendung reduzieren könnten, wenn ihre Ausbreitung in „Unkrautrüben“ unterbunden werden kann), Virus-, Pilz- und Schädlingsresistenzen, sowie eventuell Veränderungen der Inhaltsstoffe.

In Österreich sind natürliche Kreuzungspartner kaum von Bedeutung, die Dreiweibige Rübe, *Beta trigyna*, ist ein nur sehr selten auftretender lokaler Neubürger. In den Regionen Europas, in denen Saatgut produziert wird, bestehen allerdings Möglichkeiten zum Genfluß zwischen Kulturpflanzen, verwilderten Kulturpflanzen und Wildpopulationen der Stammform. Bei der Einschätzung möglicher unerwünschter ökologischer Folgen der introgressiven Hybridisierung

transgener Zuckerrüben mit Wildrüben oder anderen Kulturformen ist besonders zu berücksichtigen, in welcher Weise die jeweilige gentechnische Veränderung die Wechselwirkungen mit anderen Organismen beeinflussen kann.

Fallbeispiel Raps:

Raps ist eine sehr alte Kulturpflanze des gemäßigten Klimas, die als Kreuzungsprodukt aus *Brassica oleracea*, dem Kohl, und *B. rapa*, dem Rübsen, entstanden ist. Aufgrund zunehmender Eliminierung der Erucasäure und des Glucosinolatgehaltes gehört Raps heute mit Soja und der Ölpalme weltweit zu den wichtigsten Speiseölpflanzen. Aufgrund seiner wirtschaftlichen Bedeutung und der Empfindlichkeit seiner Kultur zählt Raps zu den am häufigsten gentechnisch veränderten Kulturpflanzen. Zur Zeit konzentrieren sich die gentechnischen Modifikationen vor allem auf Resistenz gegen Herbizide, Insektenbefall, Bakterien, Pilze und in geringem Ausmaß gegen Viren.

In der bearbeiteten Studie wurde die generelle Ausgangssituation in Österreich erfaßt, das heißt, das regionale Vorkommen und die Häufigkeit potentieller Kreuzungspartner von Raps, das Sortenwesen, sowie andere wesentliche landwirtschaftlich relevante Aspekte. Die Erhebung des *Status quo* ist eine Ausgangsbasis und zentrale Grundvoraussetzung für die landesspezifische Konzeption eines Langzeitmonitorings. Diese Zustandserhebung kann als Referenzwert für die Beurteilung der Konsequenzen von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen herangezogen werden.

Ziel der Studie war es, über bislang diskutierte Modellsysteme (Neophyten, Vertrautheitsprinzip, siehe oben) hinaus, Freilanddaten, sowie verfügbare relevante vegetationsökologische und agrarstatistische Daten für die spezielle Situation in Österreich zu erheben, um eine fundierte und aktuelle Basis für die Konzeption eines Langzeitmonitorings für die Bewertung ökologischer Auswirkungen von transgenem Raps zur Verfügung stellen zu können. Das Hauptziel der Studie ist, die spezielle ökologische Ausgangssituation für Österreich zu konkretisieren und ausgewählte Fragestellungen, wie etwa die Etablierungsfähigkeit und Homogenität von Ruderalraps-Populationen im Detail zu analysieren. In Diskussionen, wie auch in der Literatur, herrscht oft geteilte Meinung, ob und wie lange sich stabile Ruderalpopulationen von Raps, ausgehend von Kulturrapsverschleppungen oder Saatgutverlusten, etablieren können (NEEMANN et al. 1999). Die Studie beschäftigt sich nicht mit dem Für und Wider der Freisetzung von GVP, sondern hat zum Ziel, das empirische Basiswissen für die spezielle österreichische Situation zu vergrößern und generell anwendbare Konzeptvorschläge für *Status quo*-Erhebungen eines Langzeitmonitorings von GVP, im speziellen Fall von transgenem Raps, auch für andere EU-Länder zu liefern.

In Österreich kommen etwa 160 Arten der Familie Brassicaceae vor, von denen 21 dem Tribus Brassiceae zugeordnet werden. Ökologische Faktoren, wie etwa sexuelle Kompatibilität und überlappende Blühfenster, sind die Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Hybridisierung dieser Arten. Die meisten der nah verwandten Arten von Raps haben ihren Verbreitungsschwerpunkt im Agrarraum. Agrotome (Feld-, Wiesen- und Stufenraine, Lößböschungen, Windschutzstreifen, u.a.), wie auch durch Störungsdynamik beeinflusste Ruderalstandorte (Pionier-

gesellschaften, Wege, Straßen, Bahngleise, Schutthalden, Flussufer, u.a.) sind die primär betroffenen Bereiche, in die GVP und ihre Hybriden einwandern könnten.

Da die Erfassung regionaler Aspekte eine vorrangige Rolle für die Risikobeurteilung von GVP spielt, wurde das Schwergewicht der Studie auf vegetationsökologische *Status quo*-Erhebungen gelegt, die mit molekulargenetischen Analysen und agrarwissenschaftlichen Studien kombiniert wurden. Die Freilandarbeit fand im Frühling, Sommer und Herbst 1998 und 1999 statt. Es wurden detaillierte Untersuchungen zum Auftreten, zur regionalen Verbreitung und zur Häufigkeit von ruderalem Raps und seinen Hybridisierungspartnern österreichweit durchgeführt. Die quantitative Erfassung der Arten erfolgte nach einer groben, selbst definierten Aufnahmeskala (selten-gelegentlich-häufig-sehr häufig), da die Arten nicht in standardisierten Flächen erfaßt wurden. Ein „random approach“ wäre bei der Versuchsflächenauswahl nicht sinnvoll gewesen, da die Anbauflächen von Raps nicht regelmäßig über die österreichische Kulturlandschaft verteilt sind. Im Zuge dieser Erhebungen wurden 48 Rapsfelder und 145 Ruderalstandorte beziehungsweise Agrotopen untersucht. Diese Stichproben wurden vergleichsweise in den acht topographisch und klimatisch unterschiedlichen Hauptanbauregionen von Raps, die aufgrund agrarstatistischer Auswertungen identifiziert werden konnten, genommen. Die definierten Regionen sind das Innviertel, der Oberösterreichische Zentralraum, das nördliche Waldviertel, das Alpenvorland, das Weinviertel, das Wiener Becken und das nördliche Burgenland, sowie die Region Mittel- und Südburgenland und das Grazer- und Leibnitzer Feld. 30 Brassicaceae-Arten konnten während der Freilandbeobachtungen 1998 und 1999 auf Äckern, sowie in Agrotopen, Ruderalbiotopen und in natürlichen dynamischen Systemen (Bach- und Flussufer) im Agrarraum registriert werden. Von diesen werden die folgenden 15 Arten laut Literatur als potentielle Kreuzungspartner von Raps angegeben: *B. napus* (Ruderalpopulation), *B. oleracea* (Ruderalpopulation), *B. rapa* (Ruderalpopulation), *Crambe tatarica*, *Diplotaxis tenuifolia*, *Erucastrum gallicum*, *Erucastrum nasturtiifolium*, *Raphanus raphanistrum*, *Raphanus sativus* (Ruderalpopulation), *Rapistrum perenne*, *Sinapis alba* (Ruderalpopulation), *Sinapis arvensis*, *Sisymbrium loeselii*, *Sisymbrium officinale* und *Sisymbrium orientale*. Von den gesammelten Kreuzblütler-Arten wurde eine Stammbaumanalyse mittels ISSR-(Inter Simple Sequence Repeat)-Marker durchgeführt. ISSR-Analysen stellen eine relativ neue Methode dar, um eine genetische Charakterisierung durchzuführen. Sie sind Multi-Locus-Marker, und eignen sich dazu, genetischen Polymorphismus nachzuweisen (siehe PASCHER et al. 2000; WU et al. 1994, ZIETKIEWICZ et al. 1994, NAGAOKA & OGIHARA 1997). Basierend auf diesen Untersuchungen und dem aktuellen Wissensstand über deren Taxonomie und Kreuzungswahrscheinlichkeit wurden relevante Hybridisierungspartner von Raps konkretisiert. Diese Analysen und die vegetationsökologischen Studien zur regionalen Verbreitung der Arten ergaben folgende fünf Arten, für die die höchste Hybridisierungswahrscheinlichkeit mit Kulturraps in Österreich zu erwarten ist: Ruderalpopulationen von ***Brassica napus*** (Raps) und ***B. rapa*** (Rübsen), ***Raphanus raphanistrum*** (Hederich), ***Diplotaxis tenuifolia*** (Schmalblatt-Doppelrauke) und ***Sinapis arvensis*** (Acker-Senf). Diese fünf Arten sollten im Rahmen eines Langzeitmonitorings von transgenem Raps in Österreich vorrangig geprüft werden. Wie die Untersuchungen gezeigt haben, kommt es häufig zur **Verwilderung von Kulturraps**, der sich auf Ruderalstandorten und gelegentlich sogar in natürlichen Habitaten auch längerfristig etablieren kann. Zudem wäre es wünschenswert und notwendig, alle relevanten Arten des Tribus Brassiceae und die Gattung

Sisymbrium genauer zu analysieren. Über Transferbrücken zwischen Arten könnte es nämlich zur Übertragung von Transgenen auch auf solche Arten kommen, die grundsätzlich schwer oder gar nicht mit Raps kreuzbar sind. Durchwuchs spielt in Folgekulturen von Raps eine große Rolle, was bei zukünftiger häufigerer Anwendung von landwirtschaftlicher Minimalbearbeitung zunehmend ein Problem darstellen könnte. Zudem muss auch die Persistenz von Rapssamen im Boden in der ökologischen Folgenabschätzung von transgenem Raps Beachtung finden.

Regionale Detailuntersuchungen müssen in Österreich den **gemäßigten Pannonischen Raum** (zusätzlich auftretende wärmeliebende Arten: z.B. *Rapistrum perenne*) beinhalten und könnten zudem beispielsweise im **Oberösterreichischen Zentralraum** (um die Städte Wels oder Linz), wo Raps intensiv gebaut wird, und/oder im **Nördlichen Waldviertel** durchgeführt werden. Der Schwerpunkt der Freilandarbeit sollte von **April bis Mai** durchgeführt werden (Vollblüte des Winterrapses in Österreich), Pflanzenaufsammlungen von Ruderalstandorten können noch bis in den Herbst hinein erfolgen. Für die DNA-Extraktion erwies sich **frisches, kältefixiertes Blattmaterial** als am besten geeignet. Für die eindeutige Art-Identifizierung von Raps und Rüben wurden Chromosomenanalysen als Hilfsmittel eingesetzt, da deren Zuordnung zu einer der beiden Arten aufgrund morphologischer Merkmale nicht in jedem Fall eindeutig möglich war.

Um eine genetische Charakterisierung beziehungsweise Differenzierung der gesammelten Brassicaceae durchzuführen, wurden verschiedene molekulare Markersysteme getestet (RAPD, AFLP, SINE, ISSR, SSR; siehe PASCHER et al. 2000). Insgesamt umfassten die Untersuchungen 352 Pflanzenindividuen von 145 verschiedenen Ruderalstandorten und Agrotopen und von den 48 geprüften Rapsfeldern. **ISSR-Analysen auf Gattungsniveau** zeigten einen hohen Grad an Polymorphie und eigneten sich am besten zu deren Differenzierung. **SSR-(Mikrosatelliten-) Marker** wurden für die Untersuchung **innerhalb der Gattung *Brassica napus*** auf Sorten- und Populationsniveau erfolgreich angewandt. Sie wurden für *B. napus* entwickelt und konnten beschränkt auch für die Charakterisierung von *B. rapa* und *B. oleracea* verwendet werden.

Die Ergebnisse der Mikrosatelliten-Analysen zeigten eine eindeutige Differenzierung der *Brassica*-Arten. Von den 39 ausgetesteten Mikrosatellitenmarkern erwiesen sich **neun** für deren Charakterisierung als ausreichend. Ebenso konnten die 19 untersuchten Kultursorten charakterisiert und eindeutig voneinander unterschieden werden. Dendrogramme von Kultursorten und Ruderalpflanzen derselben Art (*B. napus* beziehungsweise *B. rapa*) zeigten, daß sich Individuen einer Sorte oder Population (jeweils acht untersuchte Individuen) trotz beobachteter genetischer Heterogenität den jeweiligen Gruppierungen „Sorte“ oder „Ruderalpopulation“ zuordnen. Ausnahmen bildeten lediglich zwei der vierzehn analysierten Ruderalpopulationen von Raps, die sich unter die „Kultursorten“ gruppieren. Sie entstammen wahrscheinlich Durchwuchspflanzen oder Saatgutverlusten. Obwohl alle 19 in den letzten zehn Jahren angebaute Raps-Sorten untersucht wurden, konnten diese zwei Ruderalpopulationen dennoch keiner Kultursorte eindeutig zugeordnet werden. Es könnte sich hierbei einerseits um alte, nicht in unsere Analysen inkludierte Sorten handeln, was hieße, daß die meisten der untersuchten Populationen bereits älter als zehn Jahre alt sein müssten. Andererseits könnten sich die Tochtergenerationen der Ruderalpopulation durch Mutation oder Einkreuzen anderer Kultursorten von Raps oder verwandter Arten relativ rasch soweit genetisch verändert haben, daß ihre Herkunftssorte

nicht mehr bestimmt werden kann. Auf die beobachtete Heterogenität der Populationen weisen auch die aus der konventionellen Züchtung bekannten Schwierigkeiten bei der Sortenreinhaltung hin. Dieses Ergebnis legt den Schluss nahe, daß sich Ruderalpopulationen von Raps über mehrere Tochtergenerationen und somit längere Zeiträume stabil etablieren können.

Raps ist hinsichtlich der Ausbreitung von Transgenen gerade für den mitteleuropäischen Raum eine problematische Kulturpflanze, da hier viele nahe verwandte Hybridisierungspartner häufig vorkommen und Raps zudem eine hohe Fremdbefruchtungsrate aufweist. Wird transgener Raps über mehrere Jahre hinweg großflächig angebaut, muss mit der Bildung von Hybriden gerechnet werden (AMMANN & VOGEL 1999). Die Ausbreitungswege für die Transgene von gentechnisch verändertem Raps sind demnach „offen“. Es gilt zu überlegen, ob Freisetzungen von transgenem Raps in Mitteleuropa nach dem heutigen Wissensstand grundsätzlich vertretbar sind. Im Sinne eines verantwortungsbewussten Handelns ist es folglich zielführend und notwendig, das Basiswissen zum Kreuzungspotential zu vertiefen, um das ökologische Risiko von transgenem Raps besser einschätzen zu können. Im Rahmen von Grundlagenstudien können einige ökologische Fragestellungen auch mit konventionellen Rapsorten durchgeführt werden. Die molekulargenetischen Analysen der Ruderalpopulationen von Raps in der vorliegenden Studie sind ein Beispiel dafür.

Alle einschlägigen Prognosen und Risikoabschätzungen von Freisetzungen von GVO sind derzeit von großen Unsicherheiten geprägt, da fast keine Erfahrungswerte zu dieser Thematik vorliegen. Langzeitmonitoring freigesetzter GVO kann zur Verbesserung der Risikobewertung beitragen. Bereits eingetretene Schäden werden allerdings auch mit dieser Überwachungsmethode kaum mehr zu beheben sein.