

Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Organismen

Bestandesaufnahme, Fallbeispiele und Empfehlungen

Kantonales Laboratorium Basel-Stadt
Kontrollstelle für Chemie- und Biosicherheit (KCB)

Juni 1999

Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Organismen

Bestandesaufnahme, Fallbeispiele und Empfehlungen

PD Dr. Daniel Ammann
Benno Vogel

Herausgeber:

Kantonales Laboratorium Basel-Stadt
Kontrollstelle für Chemie und Biosicherheit (KCB)
4012 Basel

Basel, Juni 1999

Impressum

Autoren: PD Dr. Daniel Ammann
Büro für Umweltchemie
Hottingerstrasse 32
8032 Zürich

zy*PRESSE*
Benno Vogel
Zypressenstrasse 76
8004 Zürich

Bestelladresse: Kantonales Laboratorium Basel-Stadt
Kontrollstelle für Chemie- und Biosicherheit (KCB)
Kannenfeldstr. 2, Postfach
4012 Basel

Tel. 061 385 25 00

Copyright: KCB, Basel 1999

Vorwort

Die Verwendung von gentechnisch veränderten Organismen in der Umwelt hat in der Schweiz noch kaum Eingang gefunden. Bisher gab es nur vereinzelte Freisetzungsversuche. Inverkehrbringungen sind bisher ganz ausgeblieben.

Ein Grund dürfte in der bisher fehlenden Rechtsgrundlage liegen. Damit sind die Bewilligungsverfahren sowie die Anforderungen an die Sicherheit von Mensch und Umwelt nicht klar. Dieser Mangel wird mit der Freisetzungsverordnung (FSV), welche im Herbst 1999 in Kraft tritt, behoben. In der Schweiz dürften daher zukünftig die Anwendungen der Gentechnik in der Umwelt zunehmen.

Die FSV lässt allerdings einigen Interpretationsspielraum. Einerseits braucht es eine Praxis, welche zeigt, wie die Zielsetzungen der FSV bei den Sicherheitsanforderungen ausgelegt werden. Andererseits müssen verschiedene Bestimmungen weiter präzisiert werden, so z.B. das bei Inverkehrbringungen vorgesehene Langzeitmonitoring.

Dieses Langzeitmonitoring soll gemäss FSV der Früherkennung möglicher langfristiger (negativer) Folgen dienen. Über die Anforderungen an ein solches Monitoring schweigt sich die FSV aus. Die entsprechende Diskussion steht erst in den Anfängen.

Das Kantonale Labor (KL BS) ist im Kanton Basel-Stadt für die Einhaltung der Umweltsicherheit gentechnischer Produkte zuständig und damit bald auch - soweit dies den Kanton betrifft - für den Vollzug der FSV. Das KL BS sieht eine seiner Aufgaben darin, sich bei neuen Entwicklungen im Sicherheitsbereich entsprechend vorzubereiten und zu engagieren. Mit dem im Aufbau begriffenen und vom BUWAL unterstützten Sicherheitslabor besteht im Umweltbereich zudem ein Potenzial, sich an zukünftigen Monitoringprogrammen beteiligen zu können.

Das KL BS resp. die Abteilung Kontrollstelle für Chemie- und Biosicherheit (KCB) hat daher die vorliegende Studie in Auftrag gegeben. Neben der Darstellung der rechtlichen Situation sollten die Anforderungen an ein Langzeitmonitoring für Inverkehrbringungen von Produkten mit transgenen Organismen aufgezeigt und an zwei Fallbeispielen aus dem Pflanzen- und dem Mikroorganismenbereich überprüft resp. konkretisiert werden.

Die Autoren stellen in ihrer Studie fest, dass der Bedarf eines Langzeitmonitorings grundsätzlich vorhanden und anerkannt ist. Nach Ansicht verschiedener Experten lassen sich bei der Entwicklung transgener Produkte mit Freisetzungsversuchen nicht alle Risiken des Umweltverhaltens der verwendeten Organismen vor dem Inverkehrbringen abklären. Das Langzeitmonitoring soll dazu beitragen, mögliche Folgen solcher Risiken nach dem Inverkehrbringen zu erkennen und zu minimieren.

Die Studie geht davon aus, dass es kaum machbar sein dürfte, alle Marktzulassungen mit einem Langzeitmonitoringauftrag zu koppeln. Es braucht daher Kriterien z.B. für die Auswahl der zu überprüfenden Organismen, die Bestimmung der räumlichen Ausdehnung der Überwachung oder die Festlegung der Dauer. Die Durchführung selbst bedingt u.a. das Vorhandensein von Ausgangsdaten für das zu überwachende Gebiet, oder das (fallweise) Festlegen von Messparametern (z.B. die zu überwachenden Nichtzielorganismen).

Monitoringergebnisse werden in letzter Konsequenz über ‚das Sein oder Nichtsein‘ eines Produktes entscheiden. Ist das Vorkommen transgener Pflanzen in Ruderalflächen bereits ein schwerwiegender Schaden oder muss ein Absterben lokaler Wildpflanzen beobachtbar sein? Die Empfehlung der Autoren, diese sogenannten Abbruchkriterien als Bestandteil des Langzeitmonitorings vor den ersten Bewilligungserteilungen für Inverkehrbringungen zu definieren, ist sicherlich richtig.

Die Studie enthält verschiedene Empfehlungen, die dafür plädieren, Inverkehrbringungen gentechnisch veränderter Organismen erst zu bewilligen, wenn der Ausgangszustand der Ökosysteme aufgenommen und das Langzeitmonitoring etabliert sind. Für Vollzugsstellen und damit Vertreter der Schutzinteressen der Öffentlichkeit sind diese Empfehlungen nachvollziehbar. Allerdings ist anzumerken, dass die

Etablierung des Langzeitmonitorings und das Sammeln von Erfahrungen letztendlich das Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen bedingt.

Durch die Studie angesprochen ist nicht zuletzt die Wissenschaft. Sie hat die Aufgabe, das Wissen über das Umweltverhalten von Organismen weiter zu erforschen. Ohne dieses Zusatzwissen ist eine Beschreibung der Ökosysteme kaum befriedigend möglich. Die Studie sollte aber auch für Behörden sowie betroffene Betriebsinhaber von Interesse sein. Die Betreiber werden für ihre Produkte jeweils ein spezifisches Überwachungskonzept erarbeiten müssen, welches die Behörde zu beurteilen haben. Da Behörden in der Lage sein müssen, Monitoringresultate zu interpretieren, stellt sich auch die Frage, ob sie sich in ausgewählten Fällen am Monitoring selber beteiligen sollen und können.

Die Studie stellt nicht den Anspruch, eine fertige Anleitung für die Durchführung eines Langzeitmonitorings zu liefern. Sie versucht aber, den Begriff mit Inhalten zu füllen. Wir hoffen, dass mit dieser Arbeit die Diskussion belebt und weitergebracht werden kann.

Urs Vögeli, KCB, Kantonales Laboratorium Basel-Stadt

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	1
1. Einleitung	2
2. Bedarf und Zielsetzung.....	3
3. Begriffe und Zeitskalen.....	7
3.1 Begriffe	7
3.1.1 Monitoring allgemein	7
3.1.2 Monitoring gentechnisch veränderter Organismen	8
3.2 Zeitskalen	10
4. Gesetze und Richtlinien.....	13
4.1 Schweiz	13
4.2 Deutschland.....	13
4.3 Österreich	14
4.4 USA	14
4.5 Europarat.....	14
4.6 EU.....	15
5. Durchführungskonzept.....	17
5.1 Welche transgenen Pflanzen sollen überwacht werden?	18
5.2 Anforderungen an die räumliche Auflösung	21
5.3 Wie lange soll ein Langzeitmonitoring dauern?.....	22
5.4 Definition des Referenzzustandes.....	22
5.5 Anforderungen an die Datenerhebung	23
5.6 Was soll beobachtet werden?	24
5.7 Marker.....	26
5.8 Bioindikatoren	26
5.9 Integration in bestehende Monitoringprogramme.....	27
5.10 Gen- und Flächenregister	29
6. Abbruchkriterien	30
7. Institutionalisierung	37
8. Fallbeispiele	40
8.1 Insektenresistenter Raps.....	40
8.1.1 Agronomischer Bedarf.....	40
8.1.2 Insektenresistente Sorten in der Entwicklung	40
8.1.3 Beobachtungsgrößen des Langzeitmonitorings.....	41
8.1.4 Szenario einer langfristigen Überwachung.....	47
8.2 Sinorhizobium meliloti RMBPC-2	52
8.2.1 Allgemeines zum Langzeitmonitoring rekombinanter Mikroorganismen.....	52
8.2.2 Einsatz und Risiken rekombinanter Rhizobien.....	53
8.2.3 Szenario einer langfristigen Überwachung.....	57
9. Thesen	61
10. Literatur	62
Dank der Autoren	72

Zusammenfassung

Der **Bedarf** eines Langzeitmonitorings gentechnisch veränderter Organismen (GVO) ist in Europa kaum umstritten. Die Notwendigkeit begründet sich in den veränderten zeitlichen, räumlichen und organisatorischen Bedingungen, die das Inverkehrbringen transgener Organismen im Vergleich zum Freisetzungsversuch mit sich bringt.

Das **Ziel** des Langzeitmonitorings liegt einerseits im Sicherheitsgewinn beim kommerziellen Umgang mit GVO in der Umwelt. Andererseits erhöht das Langzeitmonitoring auch das Wissen über das Verhalten von GVO in der Umwelt. Das Ziel eines Langzeitmonitorings muss auf jeden Fall sein, Umweltgefährdungen rechtzeitig zu erkennen, um wirksame Gegenmassnahmen treffen zu können. Das Langzeitmonitoring ist als ein Instrument zu konzipieren, das eine nachhaltige Landwirtschaft fördert. Durch die Zuordnung einer definierten Zielsetzung erhält das Langzeitmonitoring seine wissenschaftliche Herausforderung und politische Funktion.

Der **Begriff** Langzeitmonitoring umschreibt eine ökologische Dauerbeobachtung beim Inverkehrbringen von GVO. Dabei werden mittels Beobachtungs- und Messverfahren, die mit eindeutigen und reproduzierbaren Methoden operieren, ohne absehbare Zeitbegrenzung kontinuierlich Daten über mögliche Veränderungen in bestimmten Ausschnitten der Natur erhoben.

Die **Institutionalisierung** eines Langzeitmonitorings in der Schweiz ist noch offen. Eine zentrale Koordinationsstelle beim Bund (z.B. BUWAL) zeichnet sich ab. Die Langzeitmonitoringprogramme werden voraussichtlich massgeblich oder ganz von den Antragstellern finanziert werden. Für die Ausführung und Überwachung der Monitoringprogramme stehen zurzeit Eidgenössische Forschungsanstalten im Vordergrund. Die Beteiligung der Kantone, Landwirte, Privatbüros und Hochschulen ist noch unklar.

Es herrscht Einigkeit, **bestehende Monitoringprogramme** (Biodiversität, Pestizide, etc.) auf ihre Eignung zu evaluieren, inwiefern sie Strukturen und Methoden für das Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Organismen zur Verfügung stellen können. Eine Zusammenarbeit mit konventionellen Monitoringprogrammen ist zweifacher Weise sinnvoll. Einerseits können die bereits vorhandenen Erfahrungen helfen, das GVO-Langzeitmonitoring zu planen. Andererseits könnten die Zweitprogramme auch Daten liefern, die für die Überwachung transgener Pflanzen oder rekombinanter Mikroorganismen von Bedeutung sind.

Die Frage nach **Abbruchkriterien** aufgrund von Monitoringresultaten stellt wissenschaftlich und politisch ein grosses Problem dar. Es ist unklar, wie ein Schaden definiert sein soll, welche Beobachtungen zu einer Schadensidentifikation führen und ab wann eine Beobachtung zum Abbruch eines Versuchs führt. Die Abbruchkriterien sollten soweit möglich bereits vor der Entscheidung, ein Langzeitmonitoring zu veranlassen, festgelegt sein. Sie sollten zudem in einem möglichst breiten gesellschaftlichen Diskurs erarbeitet und verabschiedet werden. Der Sinn der Frühwarnung muss darin liegen, Prophylaxe schon aufgrund von Verdachtsmomenten und Indizien zu stimulieren, die nach traditionellen wissenschaftlichen Normen nur als Hypothese gelten.

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat sich die Idee eines Langzeitmonitorings als ein Instrument für die Minimierung der Risiken von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) in der Umwelt stark entwickelt. Das Langzeitmonitoring soll sich als letztes Glied in das Stufenkonzept der nationalen und internationalen Sicherheitskonzepte einfügen.

Das Konzept eines Langzeitmonitorings ist heute konsensfähig. Ein Hauptgrund liegt darin, dass der Begriff «Langzeitmonitoring» im wesentlichen noch eine Worthölse ist. Noch ist es allen Akteuren im Risikodiskurs freigestellt, die Anforderungen an ein Langzeitmonitoring mit ihren Kriterien zu interpretieren. Entsprechend können sich momentan Gentechnikbefürworter wie auch -kritiker mit dem Langzeitmonitoring einverstanden erklären.

Der Schweizer Gesetzgeber hat im Rahmen der Freisetzungsverordnung, die im Sommer 1999 in Kraft treten soll, die Option von Überwachungsprogrammen von GVO in der Umwelt eingeführt. Mit der Absicht, das Langzeitmonitoring in Gesetze und Richtlinien aufzunehmen, steigt der Bedarf, den Begriff mit Inhalt zu füllen. Verschiedene Behörden und Institutionen haben begonnen, den komplexen Inhalt und die vielfältigen Ansprüche eines Langzeitmonitorings zu evaluieren.

Die Studie untersucht die Abgrenzungen zwischen verschiedenen Monitoringprogrammen, konzentriert sich aber auf das Langzeitmonitoring nach dem Inverkehrbringen von gentechnisch veränderten Organismen (GVO). Die Machbarkeit des Langzeitmonitorings wird anhand von zwei Fallbeispielen (Pflanze und Mikroorganismus) diskutiert, wobei sowohl wissenschaftliche wie auch operationelle Aspekte berücksichtigt werden. Im Sinne eines Gedankenexperiments beschreiben zwei Szenarien, wie eine transgene Rapssorte und ein rekombinanter Rhizobien-Stamm überwacht werden könnten.

Die Studie diskutiert die wesentlichen Punkte eines Langzeitmonitoringprogrammes vorwiegend am Beispiel transgener Pflanzen. Dieses Vorgehen hat sich aufgedrängt, da gentechnisch veränderte Mikroorganismen bisher kaum Gegenstand der Auseinandersetzungen sind.

Methodisch stützt die Studie auf Interviews mit Persönlichkeiten von massgebenden Institutionen ab. Einen weiteren Orientierungspunkt liefern die aktuellen Beiträge aus Deutschland, welche im internationalen Vergleich weit fortgeschritten sind¹. Durch dieses Vorgehen liefert die Studie einen Eindruck über den Stand der Diskussionen.

Die Studie hat den Stellenwert einer Bestandesaufnahme und formuliert erste Empfehlungen und Thesen zum Langzeitmonitoring.

¹ Siehe Braun et al. (in Vorbereitung), Miehe (1998), SRU (1998) und Bartsch & Haag (1996)

2. Bedarf und Zielsetzung

Die Gentechnik kommt immer mehr auch in der Umwelt zur Anwendung. Weltweit sind Tausende von Freisetzungsvorversuchen abgelaufen und Dutzende von Produkten sind kommerzialisiert und für den Markt zugelassen. Gleichzeitig verschärft sich die wissenschaftliche und politische Diskussion um die Umwelt Risiken. In Europa mehren sich die Stimmen, die Moratorien für einzelne GVO-Anwendungen verlangen oder sogar ein generelles Verbot für das Inverkehrbringen fordern. In dieser Situation sind die Gesetzgeber gefordert, lückenlose Sicherheitskonzepte zu entwickeln. Da das gegenwärtig praktizierte step-by-step-Konzept mit der Marktzulassung endet, drängt sich vor allem beim Inverkehrbringen eine Verbesserung auf. Als mögliche Lösung werden langfristige Monitoringprogramme vorgeschlagen. Sie sollen die Lücke beim Inverkehrbringen schliessen und zusätzliche Sicherheit bringen. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen² (SRU) stellt hierzu fest (SRU 1998; Paragraph 925, S. 316):

«Die Zulassung des Inverkehrbringens und die zur Vorbereitung der Zulassung erforderliche Prüfung nach dem Gentechnikgesetz bauen regelmässig auf der vorherigen Prüfung und Zulassung der Freisetzung sowie den bei der Freisetzung gewonnenen Erfahrungen auf. Der Grundgedanke dieses Stufenkonzepts geht dahin, dass in den vorangegangenen Freisetzungsvorversuchen ausreichendes Risikowissen über die Eigenschaften und das Verhalten der gentechnisch veränderten Organismen in der Umwelt generiert worden ist, um auf der Grundlage der zusätzlichen Angaben des Antragstellers über Art und Umfang der Verwendung und die vorgesehene Verbreitung sowie gegebenenfalls vorhergesehene Kontrollmassnahmen die Risiken des Inverkehrbringens beurteilen zu können. Das Inverkehrbringen bedingt im Vergleich zum Freisetzungsvorversuch jedoch eine weiterreichende Offenheit des Systems; es ist mit diffusen Einwirkungsorten verbunden und kann durch Auflagen gegenüber dem Inhaber der Zulassung nicht ausreichend kontrolliert werden. Es kommt hinzu, dass selbst die Beschränkung des Inverkehrbringens auf einen bestimmten Zweck nicht gegenüber dem Verwender durchgesetzt werden kann, wenn dieser nicht mit dem Inhaber der Zulassung identisch ist. Das Grundproblem liegt aber darin, dass die «Übersetzung» aus dem kleinen Massstab der Freisetzung in den grossen des Inverkehrbringens eine nicht lediglich quantitative, sondern gegebenenfalls auch qualitative Veränderung zur Folge haben kann.»

Ein Langzeitmonitoring ist notwendig, weil sich die Bedingungen beim Inverkehrbringen im Vergleich zu den Freisetzungsvorversuchen wesentlich ändern (Neemann & Braun 1997):

1. Wegfall zeitlicher Begrenzungen
2. Wegfall von Sicherheitsmassnahmen zur Ausbreitungskontrolle; Fehlen räumlicher Beschränkungen; Fehlen ausbreitungsmindernder ackerbaulicher Massnahmen; Fehlen einer Nachkontrolle
3. Wegfall von Vorsichtsmassnahmen durch Anbau nach landwirtschaftlicher Praxis.

Der Bedarf eines Langzeitmonitorings ist in Europa kaum umstritten. Stellvertretend für unzählige Äusserungen³, die den Bedarf eines Langzeitmonitorings unterstreichen, seien hier zwei Zitate des SRU (1998) aufgeführt:

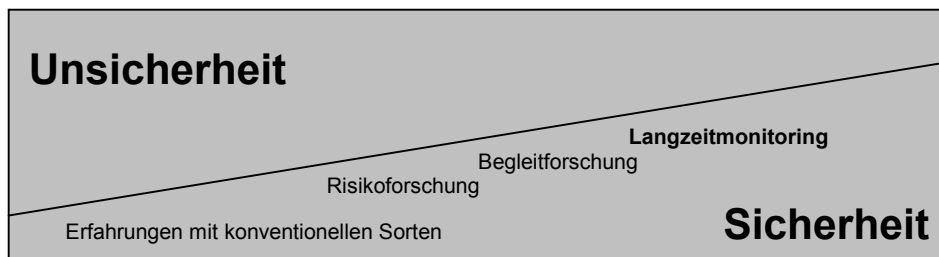
«Eine ökologische Begleitforschung zu Freisetzungsexperimenten mit transgenen Organismen liefert kurzfristig Antworten auf präzise gestellte Fragen; sie ist aber nicht in der Lage, langfristig Aussagen über alle erdenklichen Risiken, zum Beispiel über ökologische Wechselwirkungen und über Veränderungen an Ökosystemen, vorzunehmen. Solche Aussagen sind aber notwendig, wenn man den Schritt vom Freisetzungsexperiment zum Inverkehrbringen wagt.» (Paragraph 825, S.288).

«Das allgemeine botanische Wissen über das Verhalten unserer Kulturpflanzen im Freiland bildet dabei den Grundstock für die Abschätzung der ökologischen Folgen beim Einsatz der transgenen Varianten im Freiland. Spezielle Kenntnisse werden durch die ökologische Begleitforschung geliefert. Wenn nach

² Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (Umweltrat; SRU) ist ein Beratungsgremium der deutschen Bundesregierung.

³ Der Bedarf eines Langzeitmonitorings wird in der wissenschaftlichen Literatur häufig geäussert, so zum Beispiel in Torgersen et al. (1998), Neemann & Braun (1997), Dale (1997); Korell et al. (1997), Parker & Bartsch (1996), Braun (1996), Adam & Köhler (1996), Bartsch & Hücking (1995), Rogers & Parkes (1995), Dale (1995), Dale et al. (1994).

dem Inverkehrbringen von transgenen Pflanzen diese im grossen Massstab in der Landwirtschaft genutzt werden, ist eine ökologische Dauerüberwachung angezeigt.» (Paragraph 906, S. 313). Das Langzeitmonitoring soll demnach ein Wissens- und Sicherheitsgewinn für die Situation darstellen, wo aufgrund von Marktzulassungen GVO massenhaft, grossflächig, wiederholt und praktisch unkontrolliert in die Umwelt gebracht werden. Als neue Biosicherheitsmassnahme, die langfristige Effekte in Ökosystemen, Gemeinschaften und Populationen beobachtet, soll das Langzeitmonitoring einen zusätzlichen Beitrag zur Risikominimierung liefern (Schema 1).



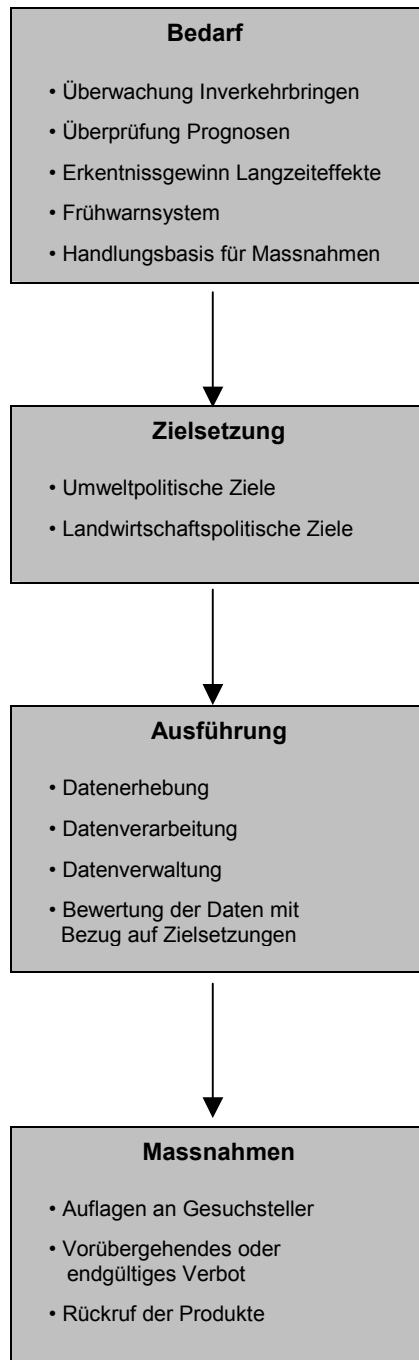
Schema 1: Sicherheitsgewinn mit Hilfe des Langzeitmonitorings

Das Langzeitmonitoring vermindert bestehende Prognoseunsicherheit, es dient als Frühwarnsystem und es erhöht den Erfolg von Gegenmassnahmen bei einem Schadenseintritt (Schema 2). Wichtig für die Massnahmen werden – neben den rechtlichen Vorgaben – die dem Langzeitmonitoring zu Grunde gelegten ideellen Zielsetzungen sein.

Das zunehmende Interesse am Langzeitmonitoring darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass das Konzept wie auch die Methoden noch ganz am Anfang ihrer Entwicklung stehen. Die noch festzulegenden Zielsetzungen werden die Ausgestaltung des Langzeitmonitorings sowie die Konsequenzen, die aus den Beobachtungen gezogen werden, prägen. Das Spektrum möglicher Zielsetzungen ist sehr breit, so zum Beispiel:

- Erfolgskontrolle für den Zulassungsentscheid
- Erfolgskontrolle für agrarpolitische Ziele (Nachhaltigkeit, Ökologie, etc.)
- Langfristige Risikoforschung (Überprüfung wissenschaftlicher Hypothesen etc.)
- Frühwarnsystem, das negative Entwicklungen rechtzeitig erkennt und den Handlungsspielraum möglichst weit offen lässt.
- Bewahrung der Wahlfreiheit der Konsumenten (Stichwort «gentechnikfreie Lebensmittel»)
- «Einschränkungsstrategie» für Kommerzialisierung mittels rigoroser Abbruchkriterien
- «Freipass» für Kommerzialisierung mit der Begründung seriöser Überwachung.

Das Langzeitmonitoring erhält seine politische und wissenschaftliche Funktion durch die Zuordnung einer definierten Zielsetzung. Letztere manifestiert sich u.a. in der Art der Institutionalisierung (Kapitel 7), der gesetzlichen Regelung (Kapitel 4), der Planung eines Langzeitmonitorings (Kapitel 5) und ganz besonders in den festgelegten Abbruchkriterien (Kapitel 6).



Schema 2: Das Langzeitmonitoring zwischen Bedarf und Massnahmen

Empfehlungen «Etablierung»

Aufgrund der Tatsache, dass der Stand des Wissens über die Risiken des Inverkehrbringens von GVO noch unzureichend ist, gleichzeitig aber immer mehr GVO-Produkte auf den Markt drängen, ist das Langzeitmonitoring so rasch wie möglich zu etablieren.

Solange die nötigen Voraussetzungen für das Langzeitmonitoring nicht geschaffen sind, sollten Bewilligungen für das Inverkehrbringen von GVO zurückhaltend gehandhabt oder vorerst untersagt werden (Moratorium).

Empfehlungen «Zielsetzung»

Ziel eines Langzeitmonitoring muss sein, Umweltgefährdungen rechtzeitig zu erkennen, um wirksame Gegenmassnahmen treffen zu können.

Das Langzeitmonitoring ist als ein Instrument zu konzipieren, das eine nachhaltige Landwirtschaft fördert.

3. Begriffe und Zeitskalen

3.1 Begriffe

3.1.1 Monitoring allgemein

Der Begriff Monitoring wird in der deutschen Sprache uneinheitlich gebraucht – im Sinne von «Dauerbeobachtung», «wiederholte Erfassung» oder «Überwachung». Eine passende deutsche Übersetzung, die den Aspekt der Überwachung mit dem des Informationsgewinns verbindet, gibt es nicht (Torgersen et al. 1993).

Es existieren verschiedene Versuche, das Konzept des Monitorings (auch Biomonitoring genannt) allgemein zu definieren. Eine ausführliche Erläuterungen zum Monitoring-Begriff gibt zum Beispiel Plachter (1991): «Erfassungssysteme, die eine langfristige und kontinuierliche Messung bestimmter Umwelteigenschaften zum Ziel haben, werden unter dem Begriff Dauerbeobachtung (Monitoring) zusammengefasst. Hierzu können Teile natürlicher Ökosysteme (passives Monitoring) oder in die Natur verbrachte pflanzliche Exponate (aktives Monitoring) herangezogen werden. Die Dauerbeobachtung bestimmter Parameter ist für viele Fragestellungen des Naturschutzes und der Landschaftspflege von grosser Bedeutung. Unter Dauerbeobachtung werden Mess- und Beobachtungsverfahren verstanden (...), die mit eindeutigen, reproduzierbaren Methoden, ohne absehbare Zeitbegrenzung kontinuierliche Daten ermitteln. Ziel der Dauerbeobachtung ist es, Veränderungen bestimmter Ausschnitte der Natur zu dokumentieren.»

Wie Tabelle 1 zeigt, existieren verschiedene Möglichkeiten, wie ein Monitoring durchgeführt werden kann.

Allgemeines Monitoring: Anzeige von Veränderungen in der Landschaft, in Ökosystemen und Populationen ohne expliziten Hinweis auf Ursache-Wirkungs-Beziehungen; ökologische Langzeitforschung.
Spezifisches Monitoring: Nachweis von Ursache-Wirkungsbeziehungen in Einzelorganismen, Populationen und Ökosystemen im Hinblick auf einzelne Einflussgrössen.
Passives Monitoring: Beobachtung vorhandener Indikatoren
Aktives Monitoring: Exposition von Indikatoren

Tabelle 1: Begriffserklärungen im Zusammenhang mit Monitoring (nach Maas 1996)

3.1.2 Monitoring gentechnisch veränderter Organismen

Gentechnisch veränderte Organismen unterstehen je nach Stand ihrer Entwicklung unterschiedlichen Untersuchungen und Überwachungen. Einheitliche Begriffe für diese Untersuchungs- und Monitoringvarianten existieren jedoch nicht. In dieser Arbeit werden folgende Begriffe verwendet:

1. Begleitende Sicherheitsuntersuchungen während eines Freisetzungsversuchs

—————→ **Begleitforschung**

2. Überwachung eines Freisetzungsversuchs

—————→ **Freisetzungsmonitoring**

3. Überwachung nach einem Freisetzungsversuch

—————→ **Nachmonitoring**

4. Dauerüberwachung nach dem Inverkehrbringen

—————→ **Langzeitmonitoring**

Angaben zu allgemeinen Prinzipien, experimentellen Planung und Qualitätskriterien von Begleitforschung, Freisetzungsmonitoring und Nachmonitoring finden sich in OECD (1994a,b; 1992), Kjellsson et al. (1997); Kjellsson & Simonsen (1994) und Torgersen et al. (1993).

Begleitforschung

Die Begleitforschung – auch begleitende Sicherheitsuntersuchung genannt – ist ein kontrolliertes Freisetzungsexperiment, das im *step-by-step* Konzept vor der Zulassung zum kommerzialisierten Inverkehrbringen von GVO steht (vgl. Tabelle 2). Sie dient dazu, die Gültigkeit der Annahmen zu überprüfen, die vor der Freisetzung in einer Risikoabschätzung getroffen wurden. Zusätzlich soll sie aber auch unerwartete Ereignisse dokumentieren und deren Ursachen und Folgen bewerten (Köhler & Braun 1995).

Die Begleitforschung liefert kurzfristige Antworten auf präzise gestellte Fragen. Sie ist zeitlich auf den bewilligten Zeitraum des Freisetzungsexperimentes beschränkt und findet unter den auferlegten Begrenzungsmaßnahmen statt. Sie kann keine Aussagen über langfristige Veränderungen in Ökosystemen geben. Extrapolationen aus Resultaten der Begleitforschung auf Langzeiteffekte sind ungenügend (Adam & Köhler 1996). Die Begleitforschung kann ein Langzeitmonitoring nach dem Inverkehrbringen nicht ersetzen.

Nach Bartsch (1995) befasst sich die Begleitforschung mit den folgenden drei Fragenkomplexen:

Werden die transgenen Pflanzen besondere Unkrauteigenschaften in der landwirtschaftlichen Kultur, d.h. im Zielökosystem entwickeln?

Werden die transgenen Pflanzen in natürliche Habitate, d.h. in Nichtzielökosysteme eindringen?

3. Werden die veränderten Gene durch Hybridisierung auf andere Pflanzen übertragen, so dass diese unerwünschte Eigenschaften nach 1. und 2. zeigen?

Die Begleitforschung sollte zudem noch weitere Untersuchungsziele verfolgen, so zum Beispiel die Bodenfruchtbarkeit, die Rhizosphären- und Bodenbakterien, die Verweildauer und Abbaubarkeit des Transgens im Boden, die Populationsdichte und Populationszusammensetzung blütenbesuchender Insekten oder die Nahrungskette (Barbara Weber, mündliche Mitteilung). Dass Begleitforschung nützlich ist, ist kaum umstritten⁴. Trotzdem wurden bisher weniger als 1 % der weltweit durchgeführten Freisetzungsversuche von einer Sicherheitsuntersuchung begleitet (Neemann & Braun 1997; Sukopp & Sukopp 1995). In Deutschland⁵ beträgt dieser Anteil etwa 15% (Sukopp 1998).

Freisetzungsmonitoring

Das Freisetzungsmonitoring überprüft die in einem Freisetzungsversuch getroffenen Sicherheitsmassnahmen – wie zum Beispiel die Begrenzung des Pollenflugs. Die Überwachung der Sicherheitsmassnahmen liefert oft auch Daten über das «Verhalten» der Organismen bzw. der eingebrachten genetischen Informationen in der Umwelt. Das Freisetzungsmonitoring grenzt sich daher nicht deutlich von der Begleitforschung ab, verfolgt aber einen anderen Zweck als diese.

Nachmonitoring

Das Nachmonitoring überprüft vor allem, ob nach Beendigung eines Freisetzungsversuchs die GVO bzw. die eingebrachten genetischen Informationen weitgehend oder vollständig aus der Umwelt entfernt wurden. Es untersucht zudem, ob nach Abschluss des Versuchs auf dem Freisetzungsgelände und seiner Umgebung unerwünschte Folgeschäden auftreten. Wie das Freisetzungsmonitoring liefert auch das Nachmonitoring Daten über das Verhalten der GVO. Der Schwerpunkt liegt aber weniger auf dem Wissensgewinn als auf der Überwachung.

Langzeitmonitoring

Das Langzeitmonitoring steht am Ende des step-by-step Konzepts und beginnt mit dem Inverkehrbringen von GVO. Es stellt eine ökologische Dauerbeobachtung der kommerzialisierten GVO dar und soll Entwicklungen, die zu Problemen werden könnten, frühzeitig erkennen (siehe Kapitel 2). Anders als die Begleitforschung ist das Langzeitmonitoring weder räumlich noch zeitlich begrenzt (vgl. Tabelle 2). Es setzt zudem den Schwerpunkt nicht nur auf den Wissensgewinn, sondern auch auf die Überwachungsaufgabe.

Das Langzeitmonitoring wird auch ökologische Dauerbeobachtung (SRU 1998; Sukopp 1998), Nachzulassungsmonitoring, Nach-Genehmigungsmonitoring (Bartsch & Haag 1996), anbaubegleitendes Monitoring (Schulte 1998), Monitoring-nach-Genehmigung (Neemann & Braun 1997) oder Überwachungsprogramm genannt. Ammann et al. (1998) unterteilen das Langzeitmonitoring in ein dreijähriges Intensiv-Monitoring und ein extensives Folgemonitoring.

⁴ Kritik an der Begleitforschung äussert zum Beispiel von Sengbusch (1995). Er vertritt die Meinung, dass die Vorgaben und Zielsetzungen der Begleitforschung mit naturwissenschaftlichen Methoden und mit der kurzen Versuchsdauer nicht einzulösen sind. Es sei a priori ausgeschlossen, unter den gegebenen Bedingungen relevante und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen.

⁵ In verschiedenen Bundesländern werden Begleitforschungsprojekte durchgeführt: Feldmann 1998, Tebbe 1998, Krug 1998, Ernst et al. 1998, Brandt 1998, Feldmann et al. 1998, Hankeln et al. 1998, Förster et al. 1998, Pellmann et al. 1998.

Methode Eckpunkte	Begleitforschung	Langzeitmonitoring (Ökologische Dauerbeobachtung)
Thematischer Rahmen	Freisetzung transgener Kulturpflanzen	Inverkehrbringen transgener Kulturpflanzen
Objekt der Untersuchung	Transgene Kulturpflanzen (und nahe verwandte Wildpflanzen)	Transgene Kulturpflanzen und nahe verwandte Wildpflanzen
Ziel der Untersuchung	Aussagen über ökologische Auswirkungen des Anbaus transgener Kulturpflanzen	Aussagen über ökologische Auswirkungen des Anbaus transgener Kulturpflanzen
Typ des Untersuchungsansatzes in Bezug auf transgene Kulturpflanzen	Direkter Ansatz	Direkter Ansatz
Statistischer Rahmen	Einzelfälle	Vielzahl definierter Einzelfälle
Raum	Parzellen + meist < 1km breite Streifen	Gesamte Fläche der Schweiz
Zeit	1-3 (-10) Jahre	Ohne zeitliche Begrenzung
Charakterisierung	Räumlich, zeitlich und statistisch begrenztes Experiment	Räumlich und zeitlich unbegrenzte Dauerbeobachtung
Performanz	< 1 % aller Freisetzungen weltweit	Bisher nicht umgesetzt

Tabelle 2: Begleitforschung und Langzeitmonitoring im Zusammenhang mit Freisetzung und Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Kulturpflanzen (nach Sukopp 1998)

3.2 Zeitskalen

Die verschiedenen Monitoringbegriffe werden unterschiedlichen Zeitskalen beim Umgang mit GVO in der Umwelt zugeordnet. Als zeitliche Referenzpunkte dienen a) die Bewilligung von Freisetzungsexperimenten und b) die Bewilligung des Inverkehrbringens. Im Schema 3 sind einige Vorschläge für Zeitskalen zum Monitoring einander gegenübergestellt.

Während dem Freisetzungsversuch stehen folgende Monitoringansätze im Vordergrund:

- begleitende Sicherheitsuntersuchungen während des Freisetzungsversuches; über ihre Notwendigkeit wird im Rahmen der Bewilligung von Fall zu Fall entschieden; eine Begleitgruppe kann eingesetzt werden (Hans Hosbach; mündliche Mitteilung).
- Begleitforschung aufgrund projektspezifischer präzise formulierter Fragen (SRU 1998).
- gezielte Forschungsarbeiten im Hinblick auf die Abklärung regionsbezogener Parameter (Ammann et al. 1998).

Nach (und teilweise bereits während) dem Freisetzungsversuch werden folgende Monitoring-ansätze erwähnt:

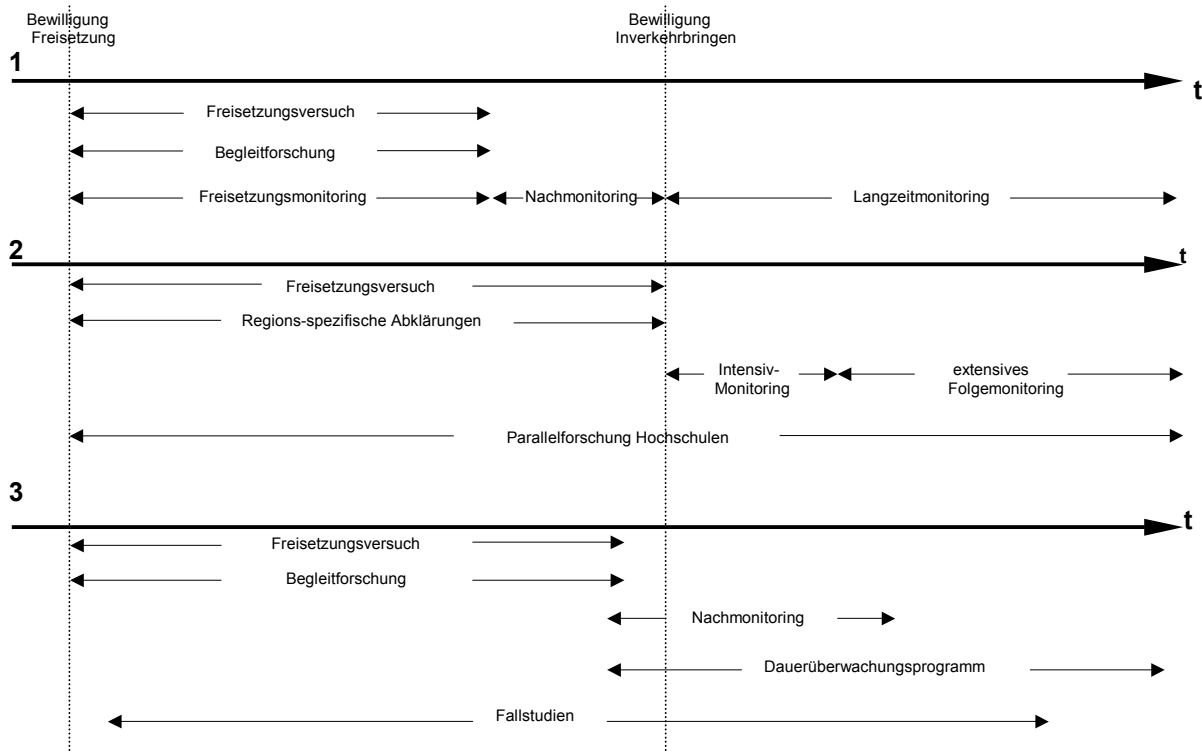
- eine Überwachung des Versuchsfeldes und seiner Umgebung während der Freisetzung. Über die Durchführung eines Freisetzungsmonitorings wird von Fall zu Fall entschieden (Hans Hosbach; mündliche Mitteilung).
- eine Überwachung der Umgebung über die Versuchsdauer hinaus (Nachmonitoring); das Nachmonitoring wird von Fall zu Fall entschieden und dürfte höchstens fünf Jahre dauern (Hans Hosbach, mündliche Mitteilung).
- ein Nachmonitoring des Freisetzungsfeldes während weniger Jahre (SRU 1998).

Unabhängig vom Zeitpunkt von Bewilligungen werden folgende Programme vorgeschlagen:

- Parallelforschungen z.B. an Hochschulen zur Klärung grundsätzlicher Risikofaktoren (Ammann et al. 1998).
- Ausgeschriebene Fallstudien im Rahmen von Forschungsprogrammen mit dem Ziel, Detailfragen für Langzeitmonitoringprogramme zu klären (SRU 1998).

Nach der Bewilligung des Inverkehrbringens werden folgende Monitoringabsichten formuliert:

- ein Überwachungsprogramm zur Früherkennung langfristiger Folgen (Langzeitmonitoring); Bedarf wird von Fall zu Fall entschieden; die Zeitdauer ist vorerst unbegrenzt (Hans Hosbach, mündliche Mitteilung).
- ein dreijähriges Intensivmonitoring mit Vollprogramm und anschliessendem extensivem Folge-monitoring mit reduziertem Programm ohne Zeitlimite (Ammann et al. 1998).
- ein auf wesentliche Fälle beschränktes Langzeitmonitoringprogramm (SRU 1998).

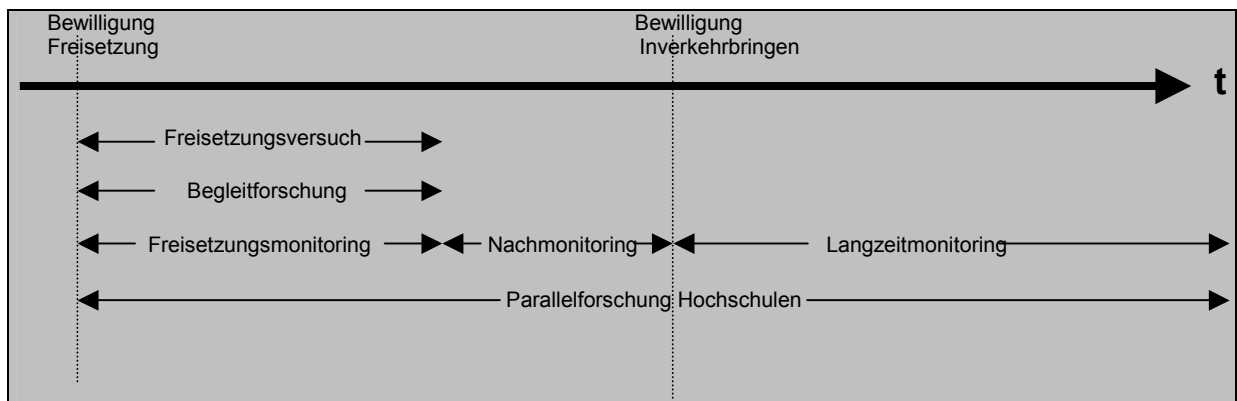


Schema 3: Auswahl vorgeschlagener Zeitskalen; 1 nach BUWAL (Hans Hosbach, mündliche Mitteilung), 2 nach Ammann et al. (1998), 3 nach SRU (1998).

Empfehlungen «Zeitskala»

Das Langzeitmonitoring soll unmittelbar nach Bewilligung des Inverkehrbringens einsetzen.

Parallel zum Langzeitmonitoring sind Risikountersuchungen anzusetzen, die spezifische Fragen abklären.



4. Gesetze und Richtlinien

Heute liegen keine Gesetze definitiv vor. In den folgenden Kommentaren kommen daher einerseits inhaltliche Absichtserklärungen und andererseits Entwürfe zu gesetzlichen Normen vor. Auf Gesetzes-ebene gibt es heute Vorgaben, die ein Langzeitmonitoring implizieren (z.B. über die Schutzziele) oder aber bereits auf Entwurfsbasis klare Forderungen aufstellen.

4.1 Schweiz

Bericht zur Umsetzung der Gen-Lex-Motion

Anlässlich der Beratung der Gen-Lex-Motion hat das Parlament Prof. Dr. iur. R. J. Schweizer den Auftrag erteilt, in einem Gutachten die Lücken, Mängel und Anpassungsbedürfnisse aufzuzeigen, die in der Gesetzgebung über die ausserhumane Gentechnologie bestehen. Eine der bestehenden Lücken – so das Gutachten – klafft in der Überprüfung des Umgangs mit GVO über lange Zeithorizonte (Schweizer 1997, S. 40):

«Mit einer Gesetzesbestimmung über die nachhaltige Nutzung der biologischen Vielfalt würde man namentlich zum Ausdruck bringen, dass in den Bewilligungsverfahren für den Einsatz transgener Organismen der **Faktor Zeit** verstärkt Niederschlag finden muss. Die Bewilligungsbehörden hätten schädliche Auswirkungen, die von dem Einsatz transgener Organismen allenfalls ausgehen, auf einen weiten Zeithorizont hinaus zu prüfen.»

Gen-Lex

Im Bericht des Eidgenössischen Volkswirtschaftsdepartements vom September 1998 über die Ergebnisse des Vernehmlassungsverfahrens zum Vorentwurf der Gen-Lex-Vorlage wird von zahlreichen Vernehmlassern eine Langzeitüberwachung gefordert (Eidgenössisches Volksdepartement 1998):

Art. 29f, Abs. 1 und 3

ZH und GL regen die Schaffung eines neuen Absatzes 4 an, der die Langzeitüberwachung sicherstellt. LU und SZ möchten für gefährdende Stoffe ein Verbot der Freisetzungsversuche sowie der Arbeiten in geschlossenen Systemen einführen.

Art. 29g, Abs. 1,2, Bst a, d–f und 3

Wie in Ziffer 3.1.12 wird auch zu diesem Artikel der Wunsch geäußert, dem Bundesrat die Pflicht zu Langzeitüberwachungen zuzuweisen (BS, SH, FDP, 07.003, 07.007, 07.008, 07.010, 07.015, 08.007, 09.020, 09.028, 09.078, 10.006, 10.022, 12.016, 15.015, 15.018, 15.020).

Freisetzungsverordnung (FSV)

Die Freisetzungsverordnung (FSV) wird voraussichtlich im Herbst 1999 in Kraft treten. Sie wird die Bewilligungsverfahren für die Freisetzungen und das Inverkehrbringen von GVO sowie die damit verbundenen Anforderungen an die Sicherheit von Mensch und Umwelt regeln. Mit der FSV dürften somit auch die rechtlichen Grundlagen für ein Langzeitmonitoring geschaffen werden.

Die FSV richtet sich auf die EU-Richtlinie 90/220/EWG aus. Diese Richtlinie wird zur Zeit überarbeitet und soll neu ein Überwachungsprogramm einschliessen (vgl. Abschnitt 4.6).

4.2 Deutschland

Das Deutsche Gentechnikgesetz wird zur Zeit nicht novelliert. Es bietet weder auf Gesetzes- noch auf Verordnungsebene eine gesetzliche Grundlage für ein Langzeitmonitoring (Ingrid Nöh, UBA Berlin, mündliche Mitteilung). Die deutschen Behörden können heute keine Auflagen zu Begleitforschungen oder Nachzulassungsmonitoring aussprechen. Die einzige bestehende gesetzliche Grundlage richtet sich auf den Freisetzungsversuch, der räumlich und zeitlich zu begrenzen ist, und für dessen Zulassung

sicherheitsrelevante Kriterien erfüllt sein müssen. Eine Änderung des deutschen Gentechnikgesetzes ist erst über die Änderung der EU-Richtlinie 90/220/EWG zu erwarten (vgl. 4.6.)

4.3 Österreich

In Österreich ist im Gentechnikgesetz ein Langzeitmonitoring nicht explizit erwähnt. Das UBA Wien bearbeitet zur Zeit ein Projekt zur ökologischen Begleitforschung und zum Umweltmonitoring, welches zwar keinen rechtsverbindlichen Charakter hat, aber als eine Empfehlung an den Gesetzgeber gelten soll (H. Gaugitsch, UBA Wien, mündliche Mitteilung). Im Rahmen des Projektes wird am 12.11.98 ein konkretes Fallbeispiel (Basta-resistenter Raps) in einem Workshop diskutiert.

Die heutige rechtliche Grundlage für Kontrollen nach Freisetzungen bietet Paragraph 101 des Gentechnikgesetzes:

§101. (1) die Organe der Behörde sind befugt, an Orten, bei denen Grund zur Annahme besteht, dass

1. Arbeiten mit GVO durchgeführt werden,
2. GVO freigesetzt werden,
3. Erzeugnisse gemäss § 54 Abs. 1 in Verkehr gebracht werden,
4. Genanalysen am Menschen gemäss § 65 durchgeführt werden oder dabei gewonnene Daten automationsunterstützt verarbeitet und gespeichert werden, oder
5. Gentherapien am Menschen durchgeführt werden,

Nachschau zu halten und dabei zum Zweck der Überprüfung der Einhaltung der Bestimmungen dieses Bundesgesetzes und der auf Grund dieses Bundesgesetzes erlassenen Verordnungen und Bescheide Überprüfungen durchzuführen, Einschau in die gemäss §§ 34 und 52 zu führenden Aufzeichnungen zu nehmen, sowie Proben im erforderlichen Ausmass zu entnehmen.

4.4 USA

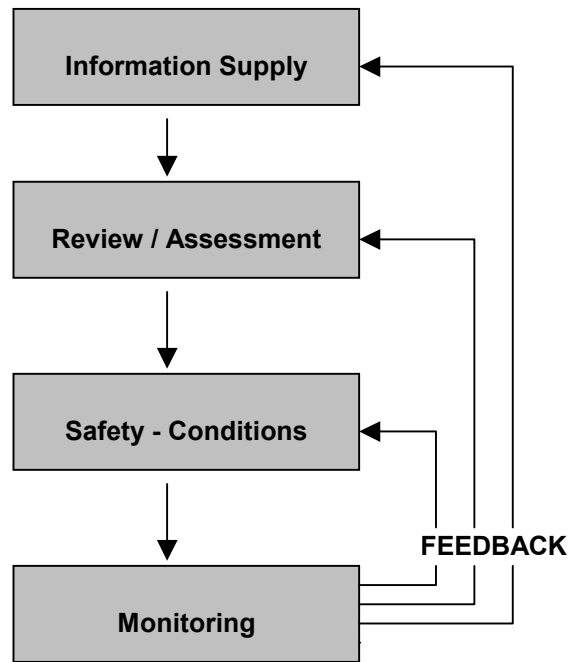
In den USA scheint das Langzeitmonitoring kein zentrales Thema der Regulierung zu sein. In einem 700-seitigen Dokument des Umweltbundesamtes Berlin über die *Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA* gibt es keine Hinweise über Regulierungsbestrebung zum Langzeitmonitoring in den USA (Schütte et al. 1998).

4.5 Europarat

Der Europarat hat bereits 1993 zu einer *Pan-European Conference on the potential long-term ecological impacts of the dissemination of G.M.O.* eingeladen. Im Grundlagenpapier zu dieser Konferenz kommt das eingesetzte Steering Committee zum Schluss, dass im Zuge des Stufenkonzepts zwei Schritte zum *risk assessment* und zwei Schritte zum *risk management* eingehalten werden müssen:

«The management of risk should be proportional to the assessment of that risk. Most of the safety procedures proceed according to four steps, of which the first two steps from the risk assessment and the last two steps from the risk management:

- 1) Supply of information
- 2) Review prior to experimental release
- 3) Application of safety conditions
- 4) Monitoring during and after the experiment.»



In der Conclusion heisst es:

«A survey of existing procedures on risk assessment shows that emphasis is placed on the first steps in the sequence from the initial to the final possible long term ecological effects. However, there is a need also to consider these potential long term ecological effects.»

4.6 EU

In der EU wird zurzeit die Richtlinie 90/220/EWG novelliert. Der Vorschlag vom 23. Februar 1998 (Kommission der Europäischen Gemeinschaft 98) überprüft im Zusammenhang mit dem Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Produkte die Bewertung von Freisetzen. Die Einführung eines Überwachungsprogramms wird als eines wichtigsten Elemente gesehen. Die Kommission schlägt vor im wesentlichen folgendes vor:

«(...) die Einführung einer verbindlichen Überwachung nach dem Inverkehrbringen von Produkten, für die eine befristete Zustimmung erteilt wurde. Da es sehr schwierig ist, im voraus den Inhalt von Überwachungsplänen, die verschiedene Arten von GO (Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen) abdecken, festzulegen, wurden in dem Vorschlag nur die Überwachungsziele festgelegt. Die jeweiligen Überwachungspläne für die Zeit nach dem Inverkehrbringen werden von Fall zu Fall erstellt und unterliegen der Aufsicht der zuständigen Behörde des einzelnen Mitgliedstaats. Die Überwachungsziele sind in Anhang VII aufgeführt. Der Überwachungsplan ist Teil der Zustimmung, nachdem die zuständige Behörde des Mitgliedstaates geprüft hat, dass die vorgeschlagene Überwachung den Bestimmungen dieses Anhangs genügt. Im Falle einer Verlängerung der Zustimmung werden die Ergebnisse der Überwachung von den zuständigen Behörden der Mitgliedstaaten daraufhin geprüft, ob die bestehenden Bedingungen und/oder der Überwachungsplan geändert werden müssen.»

Das verbindliche Überwachungsprogramm stützt im Vorschlag auf Artikel 11, Absatz 2d ab:

«Die Anmeldung muss folgendes erhalten: (...) einen detaillierten Überwachungsplan gemäss Anhang VII, um etwaige direkte, indirekte, unmittelbare oder spätere Folgen der GVO für die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt feststellen zu können.»

Im Anhang VII (neu) sind allerdings nur die Überwachungsziele formuliert:

«Der gemäss Artikel 11 Absatz 2 zu erstellende Überwachungsplan muss geeignete Verfahren und Massnahmen vorgeben, mit denen etwaige direkte, indirekte, unmittelbare oder spätere Folgen für die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt festgestellt werden können, wobei ggf. insbesondere folgende Aspekte Berücksichtigung finden:

- Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit
 - potentielle pathogene, toxische oder allergene Wirkungen der GVO
 - Kolonisierungspotential der GVO
 - Fähigkeit der GVO, die Wirksamkeit von Therapie, Prophylaxe oder Diagnose zu verringern
- Auswirkungen auf die Umwelt
 - Überlebensfähigkeit und Ausbreitungsfähigkeit der GVO in der Umwelt
 - Fähigkeit der GVO, mit Ziel- und Nicht-Zielorganismen in Wechselwirkungen zu treten
 - Fähigkeit der GVO, die Populationsdynamik zu beeinträchtigen
 - Folgen des potentiellen horizontalen Gentransfers
 - Phänotypische und genetische Stabilität der GVO.»

Eine Arbeitsgruppe Umwelt der EU-Mitgliedstaaten bearbeitet zur Zeit den Kommissionsvorschlag. Der Anhang VII soll präzisiert werden (differenzierte Monitoringvarianten, Verantwortlichkeiten etc.). Über die Arbeitsgruppendifkussionen liegen aber keine offiziellen Papiere vor (H. Gaugitsch, UBA Wien, Privatmitteilung, 28.10.98).

Empfehlung «Gesetzgebung»

Marktzulassungen, die nach Stand des Wissens ein Langzeitmonitoring verlangen würden, sind bis zur Etablierung des Langzeitmonitoringprogramms unter ein Moratorium zu stellen.

5. Durchführungskonzept

Was es für die Durchführung eines Langzeitmonitorings alles braucht, wird in diesem Kapitel ausschliesslich an transgenen Pflanzen dargestellt. Viele der unten aufgeführten Punkte sind jedoch auch für das Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Mikroorganismen von Bedeutung. Eine nähere Darstellung einer Überwachung gentechnisch veränderter Mikroorganismen findet sich in Abschnitt 8.2..

Wer ein Langzeitmonitoringprogramm für transgene Pflanzen plant, kann kaum auf Erfahrungen aufbauen. Weder bei konventionell gezüchteten Pflanzensorten noch bei Pflanzenschutzmitteln existieren Monitoringprogramme im strengen Sinn. Konventionelle Sorten werden zwar zum Teil in drei- bis vierjährigen, mehrrätigen und wiederholten Test geprüft, bevor sie die Zulassung erhalten, aber untersucht werden vor allem agronomische Kriterien⁶. Umweltrelevante Fragen spielen nur eine geringe Rolle. Ähnlich sieht die Situation bei den Pflanzenschutzmitteln aus. Die Chemikalien werden vor der Zulassung ökotoxikologisch getestet, ein Langzeitmonitoring ist jedoch nicht vorgeschrieben⁷. Wenig bietet auch die Begleitforschung transgener Pflanzen. Da bisher nur sehr wenige Freisetzungsversuche mit ökologischen Fragestellungen durchgeführt wurden, liegen kaum Erfahrungen vor, die für die Planung eines Langzeitmonitorings von Nutzen sind.

Einige allgemeine Punkte für das Langzeitmonitoring transgener Pflanzen lassen sich aus den Monitoringprogrammen ableiten, die im Umweltschutz zu einem wichtigen Instrument geworden sind (vgl. Abschnitt 5.7). So sollte ein Monitoringkonzept im wesentlichen drei Aspekte beinhalten (Braun et al., in Vorbereitung):

1. die wiederholte Erfassung des Zustandes von Natur und Landschaft oder deren Bestandteile sowie darauf einwirkender menschlicher Aktivitäten;
2. das Wahrnehmen von Veränderungen;
3. die Ausrichtung auf feste Zielsetzungen (z.B. als Grenzwert) oder Fragestellungen, die einen Anwendungsbezug haben.

Zudem sind für die sachgerechte Durchführung eines Langzeitmonitorings transgener Pflanzen folgende Punkte zu berücksichtigen (Braun et al., in Vorbereitung):

- die Anwendung standardisierter Methoden für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse;
- die geschickte Organisation von Datensammlung, Datenaustausch und Datenverknüpfung;
- eine statistische sinnvolle und aussagekräftige Auswertung der erfassten Daten;
- ein je nach Fragestellung ausreichend langer ggf. unbefristeter Beobachtungszeitraum.

Ein Langzeitmonitoring müsste im Prinzip die gesamte Fläche der Schweiz umfassen. Sie müsste zudem zeitlich unbegrenzt sein und sie müsste die komplexe Vielfalt aller Organismen und aller Umweltfaktoren berücksichtigen (SRU 1998).

Diese Maximalforderung scheint nicht umsetzbar. Beschränkungen sind notwendig. Es wird daher darum gehen, ein Projekt zu entwerfen, das sich auf das Wesentlichste konzentriert und machbar ist. Wer ein Langzeitmonitoringprogramm konzipiert, muss daher entsprechende Kriterien festlegen, bevor er die Durchführung auf Einzelfallebene plant (5.1. bis 5.9).

⁶ Der Auswuchs beim Getreide ist ein Kriterium, das auch nach der Zulassung überwacht wird. Das langfristige Monitoring geschieht dabei in der Praxis: Die Landwirte melden der Sortenprüfstation unerwünschte Auswuchseigenschaften des Getreides (Fried et al., mündliche Mitteilung).

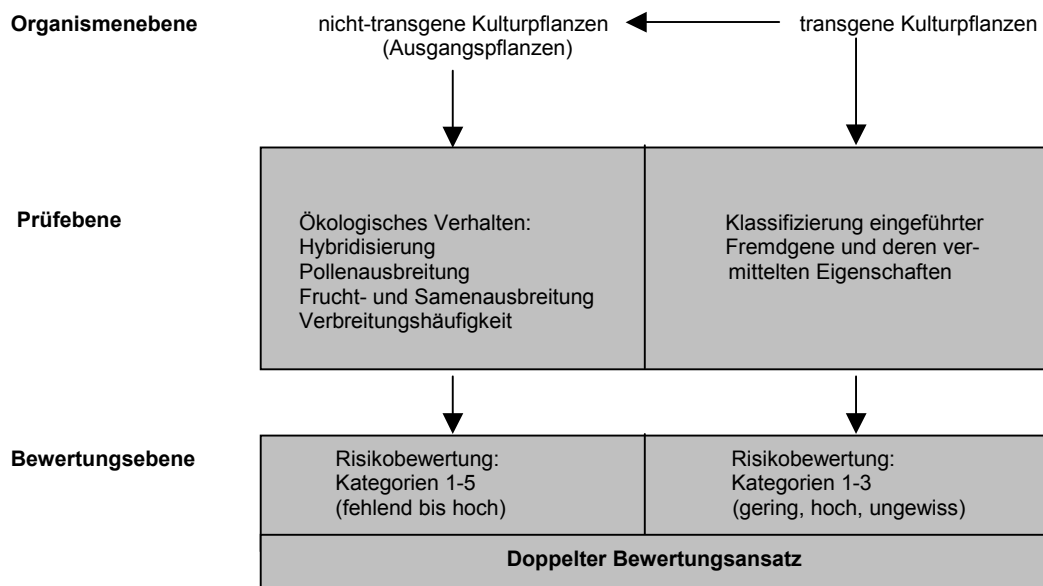
⁷ Nach der Zulassung der Pflanzenschutzmittel wird die Entwicklung von resistenten Schädlingen oder Krankheitserregern überwacht. Die Firmen müssen hierzu einen jährlichen Bericht abliefern. An der Resistenzüberwachung sind auch die Landwirte beteiligt. Sie erhalten Papiersäcke, in denen sie Feldproben an die Firmen schicken (Fried et al., mündliche Mitteilung).

5.1 Welche transgenen Pflanzen sollen überwacht werden?

«...*Murphy's law* sollte nicht vergessen werden. Es besagt, dass die grössten Probleme von jenen gentechnisch veränderten Organismen ausgehen, die am sichersten aussehen (d.h. von jenen, bei denen wir überhaupt kein Risiko wahrnehmen).»
M.J. Crawley

Soll eine Antimatch-Tomate genauso überwacht werden, wie eine schädlingsresistente Rapsorte? Und was macht man, wenn zwei Saatgutfirmen die gleiche Nutzpflanzenart mit dem gleichen Genkonstrukt bestücken und in den Verkehr bringen? Sollen beide Sorten überwacht werden?

Ein solides Überwachungsprogramm ist aufwendig. Die Anzahl neuer transgener Pflanzensorten nimmt stetig zu. Die Forderung, alle neuen transgenen Sorten in das Überwachungsprogramm aufzunehmen, dürfte langfristig an der Machbarkeit scheitern. Das Programm wird sich auf ausgewählte Sorten beschränken müssen (SRU 1998; Parker & Bartsch 1996). Die verantwortlichen Ämter werden daher von Fall zu Fall entscheiden. Nach welchen Kriterien der Entscheid getroffen wird, bleibt vorerst unklar. Eine Bewertung der neuen Sorten in „sichere“, nicht-überwachungspflichtige und „unsichere“, überwachungspflichtige drängt sich auf. Der SRU schlägt einen Ansatz vor, der sowohl ökologische Ausbreitungsindizes als auch eine Klassifizierung der Fremdgene miteinbezieht (SRU 1998; vgl. Schema 4).



Schema 4: Ökologische Risikobewertung transgener Kulturpflanzen (verändert nach Sukopp 1998)

Für die Bewertung des ökologischen Verhaltens empfiehlt der SRU, die von Frietema de Vries (1996), de Vries et al. (1992) und Ammann et al. (1996) entwickelten Ausbreitungsindizes zu übernehmen und für das Zulassungsverfahren nutzbar zu machen (SRU 1998). Während man bei den Ausbreitungsindizes bereits auf einen Code zurückgreifen kann (vgl. Tabellen 3 und 4), steht man bei der Risikobewertung der eingeführten Fremdgene noch weitgehend am Anfang. Der SRU schreibt hierzu (SRU 1998, Paragraph 817, S. 286): «Da durch das Einführen von Fremdgenen in Pflanzen das ökologische Verhalten verändert werden kann, bedürfen auch die eingeführten Genkonstrukte und die dadurch vermittelten Eigenschaften einer Risikobewertung. Dies ist vor allem im Hinblick auf eine weitere und unkontrollierte Ausbreitung transgener Eigenschaften im Verlaufe von Züchtungen neuer Sorten mit transgenen Nutzpflanzen und wegen des Risikos möglicher Auskreuzungen auf Wildpflanzen von Bedeutung. Eigenschaften, wie Toleranz gegen Trockenheit, Hitze, Kälte oder hohen Salzgehalt, werden sicherlich das ökologische Verhalten des Ausgangspflanzen verändern. (...) Zu bewerten wären also Fremdgene und von ihnen vermittelte Eigenschaften nach ihrem Potential, die Hybridisierung zu beeinflussen, die Pollenausbreitung zu verändern und die Diasporenausbreitung zu variieren. Auch

vermittelte Fitnessvorteile, wie Kälte- oder Trockenheitsresistenz, erhöhtes oder verringertes Durchsetzungsvermögen, veränderte Fortpflanzung usw., müssten berücksichtigt werden. Die Erarbeitung eines solchen Schemas sollte umgehend begonnen werden. Noch vorhandene Wissenslücken müssten im Rahmen einer gezielten Grundlagen- und Wirkungsforschung zügig geschlossen werden.»

Dp	Hybridisierungs- und Pollenausbreitungsindex
Dp0	keine verwandten Wildarten vorhanden
Dp1	keine kompatiblen verwandten Wildarten vorhanden
Dp2	keine Berichte über spontane Hybriden vorhanden
Dp3	Auftreten zufälliger, natürlicher Hybride, keine Rückkreuzungen beobachtet
Dp4	Natürliche Hybridisierung, Hybride sind fertil und zeigen Rückkreuzung
Dp5	Natürliche Hybridisierung häufig, Hybride sind fertil und zeigen häufig Rückkreuzungen
Dd	Diasporenausbreitungsindex
Dd0	keine Diasporenausbreitung Samen sind steril
Dd1	Diasporenausbreitung unter Ausnahmebedingungen manchmal möglich
Dd2	Diasporenausbreitung unter günstigen Bedingungen möglich
Dd3	Diasporenausbreitung findet statt, Fruchtbildung normalerweise unterdrückt
Dd4	Diasporenausbreitung ist bedeutend, Fruchtbildung erfolgt bei Kultivierung
Dd5	Diasporenausbreitung ist die Regel, Fruchtbildung erfolgt häufig und mit hoher Effektivität.
Df	Verbreitungsfrequenz
Df0	keine verwandten Wildpflanzen vorhanden
Df1	verwandte Wildpflanzen äusserst rar
Df2	verwandte Wildpflanzen sehr rar
Df3	verwandte Wildpflanzen nicht sehr häufig
Df4	verwandte Wildpflanzen nicht sehr häufig, aber gleichmässig vorkommend
Df5	verwandte Wildpflanzen häufig und gleichmässig vorkommend

Tabelle 3: Code-Tabelle zur Erfassung ökologischer Parameter von Pflanzen (aus SRU 1998; verändert nach Ammann et al. 1996).

Art	Deutscher Name	Index Df.Dd.Dp	Risikokategorie
Festuca arundinacea	Rohrschwingel	5.5.5	stark und weitverbreitet
Festuca pratensis	Wiesenschwingel	5.5.5	stark und weitverbreitet
Lolium multiflorum	Vielblütiger Lolch	5.5.5	stark und weitverbreitet
Lolium perenne	Ausdauernder Lolch	5.5.5	stark und weitverbreitet
Medicago sativa	Luzerne	5.4.5	stark und weitverbreitet
Lactuca sativa	Kopfsalat	2.5.5	stark, aber lokal
Daucus carota spp. sativus	Möhre	4.2.4	stark, aber lokal
Brassica napus	Raps	2.5.3	niedrig, aber lokal
Brassica rapa	Rübsen	2.4.3	niedrig, aber lokal
Raphanus sativus	Garten-Rettich	3.3.3	niedrig, aber lokal
Cichorium intybus	Salat-Zichorie	4.3.3	niedrig, aber lokal
Secale cereale	Roggen	4.3.2	minimale Wirkung
Cichorium endivia	Endivie	2.2.3	minimale Wirkung
Brassica oleracea	Gemüse-Kohl	3.3.3	minimale Wirkung
Trifolium pratense	Roter Wiesenklees	5.3.1	keine Wirkung
Trifolium repens	Kriechender Klee	5.3.1	keine Wirkung
Beta vulgaris	Rübe	1.2.1	keine Wirkung
Solanum tuberosum	Kartoffel	5.1.0	keine Wirkung
Lycopersicon esculentum	Tomate	0.1.0	keine Wirkung
Triticum aestivum	Saatweizen	4.2.2	keine Wirkung
Hordeum vulgare	Mehrzeilige Gerste	4.2.2	keine Wirkung
Zea mays	Mais	4.0.0	keine Wirkung

Tabelle 4: Ausbreitungsindex und Risikokategorien einiger Kulturpflanzen in der Schweiz (aus SRU 1998; verändert nach Ammann et al. 1996).

Auch bei Sinemus (1994) findet sich ein Vorschlag zur Klassifizierung von transgenen Pflanzen. Anlehnend an die Einteilung rekombinanter Mikroorganismen empfiehlt sie vier Sicherheitsstufen. Die Klassifizierung erfolgt dabei aufgrund folgendem (vorläufigen) Fragenkatalog (Sinemus 1994, S. 172):

- Ist die Pflanze in ihrem ökologischen Verhalten streng an die standortbedingten, landwirtschaftlichen Flächen gebunden, oder handelt es sich um eine schwach domestizierte Kulturpflanze, die leicht verwildert und optimal an die Kulturbedingungen angepasst ist, so dass sie zu einem schwer bekämpfbaren Unkraut werden kann?
- Ist aus der biologischen Invasionsforschung bekannt, ob es bei einer Einführung dieser Pflanzenspecies in andere Habitate zu unerwarteten Entwicklungen gekommen ist?
- Ist eine Rückholbarkeit der freigesetzten transgenen Pflanze möglich?
- Handelt es sich bei den kommerziell freizusetzenden Pflanzen um solche, die im Anbau nicht generativ vermehrbar sind?
- Handelt es sich bei den kommerziell freizusetzenden transgenen Pflanzen um Pflanzen, welche die Möglichkeit der vegetativen Fortpflanzung besitzen?
- Handelt es sich um eine endemische Pflanzenart?
- Sind Hybridbildungen mit verwandten Wildkräutern bekannt?
- Handelt es sich um einen Selbst- oder Fremdbestäuber?

Sinemus (1994) schlägt weiter vor, dass die Sicherheitseinstufung einer transgenen Pflanze nach der Kommerzialisierung alle drei Jahre erneut überprüft werden soll.

Parker & Bartsch (1996) verknüpfen den Sicherheitsaspekt mit dem Nutzen transgener Pflanzen. Sie schlagen vor, dass «riskante» Sorten nur dann kommerzialisiert werden sollten, wenn ihr Nutzen gross genug ist, ein gutes (*sound*) Monitoring zu rechtfertigen und zu finanzieren.

Ammann et al. (1998) empfehlen, das Langzeitmonitoring mindestens in der Einführungsphase für jedes Genkonstrukt und jede Nutzpflanze durchzuführen.

Sind die Kriterien für die Auswahl der transgenen Nutzpflanzen festgelegt, so gilt es die konkrete Durchführung für eine bestimmte Sorte zu planen. Noch ist unklar, wer letztendlich den Ausführungsplan für die Überwachung einer bestimmten Sorte formulieren wird. Verschiedene Möglichkeiten sind denkbar. So schlägt zum Beispiel Hans Hosbach (BUWAL; mündliche Mitteilung) vor, dass der Antragsteller selbst ein Konzept erarbeiten sollte, weil er über das notwendige Wissen und ausreichend finanzielle Ressourcen verfüge. Eine andere Möglichkeit wäre, dass die zuständige Bundesstelle die Konzeptarbeit öffentlich ausschreibt (Urs Niggli, FiBL; mündliche Mitteilung). In beiden Fällen bestände die Aufgabe des BUWAL oder des BLW darin, die verfassten Konzepte kritisch zu beurteilen und ev. Änderungen zu beantragen. Als dritten Weg könnten die zuständigen Behörden den Auftrag auch direkt an landwirtschaftliche Forschungsanstalten, Universitätsinstitute oder Fachhochschulen vergeben.

Empfehlungen «Welche GVO?»

So lange die Erfahrungen über das Umweltverhalten von GVO nicht ausreichen, um ein geeignetes Klassifizierungssystem aufzustellen, werden alle in Verkehr gebrachten GVO einem Langzeitmonitoring unterstellt.

Die Bundesverwaltung erarbeitet Kriterien zur Bewertung von GVO, die eine Selektion von monitoringpflichtigen GVO erlauben.

5.2 Anforderungen an die räumliche Auflösung

«...the performance of transgenic plants must be tested over the range of conditions they are likely to experience.»
Linder (1998)

Das Langzeitmonitoring transgener Pflanzen wird auf den Feldern stattfinden, auf denen die Pflanzen angebaut werden. Ein erstes Kriterium für die räumliche Auflösung ergibt sich somit aus den regionalen Anbauschwerpunkten. So wird sich zum Beispiel ein Langzeitmonitoring transgener Winterrapssorten vor allem auf die Nordschweiz beschränken, während die Überwachung von Sommerrapssorten in der Südschweiz stattfinden wird. Da sich kaum jedes Feld beobachten lässt, auf dem transgene Sorten angebaut werden, sind weitere Einschränkungen nötig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass verschiedene Beobachtungsgrössen – wie z.B. Gentransfer und Verwilderung – stark von lokalen Umweltbedingungen und der regional vorherrschenden landwirtschaftlichen Praxis abhängen (Torgersen 1996). Ein Langzeitmonitoring muss daher grundsätzlich überregional angelegt sein. Eine Auswahl repräsentativer Testgebiete drängt sich auf. Die Testgebiete sollten dabei in Räumen liegen, die geologisch, pedologisch, orographisch und klimatisch einen repräsentativen Querschnitt der Verhältnisse darstellen, die in der Schweiz vorherrschen. In Anlehnung an das Biodiversitätsmonitoring Schweiz (BDM) könnten die Testgebiete die folgenden Einheiten abdecken (Hintermann et al. 1996)⁸:

Biogeographische Regionen: Jura, Mittelland, Nordalpen, Zentralalpen und Südalpen.

Höhenstufen: collin (bis 600 müM), montan (600 – 1200 müM), subalpin (1200 – 1800 müM), alpin (über 1800 müM).

In den repräsentativen Testgebieten sind Felder auszuwählen, auf denen transgene Pflanzen angebaut werden. Dabei ist zu beachten, dass nur Felder mit vergleichbarer Grösse und mit identischer Fruchtfolge sinnvoll miteinander verglichen werden können.

Das Langzeitmonitoring darf sich nicht allein auf die Felder und Äcker beschränken, auf denen transgene Pflanzen angebaut werden (Ziel-Ökosysteme). Es muss auch deren physiko-chemischen und biologischen Einflusszonen umfassen (Nichtziel-Ökosysteme) (Ammann et al. 1998; Braun et al., in Vorbereitung). Jedes repräsentative Testgebiet wird damit ein bis mehrere Nutzflächen sowie die in deren Umfeld liegenden Ökosysteme umfassen. Zu den Nichtziel-Ökosystemen gehören auch anliegende Felder, unabhängig ob diese mit transgenen oder herkömmlichen Kulturpflanzen bestellt sind. Der Radius des Umfelds, der in das Langzeitmonitoring einbezogen wird, hängt von der zu beobachteten Pflanzensorte ab. Für transgene Pflanzen ist die Grenze des Untersuchungsraumes anhand der Ausbreitungsdistanz der Diasporen und Pollen festzulegen (Braun et al., in Vorbereitung).

Für ein vollständiges Langzeitmonitoring sollte ein repräsentativer Querschnitt der im Testgebiet vertretenen Lebensraumtypen – Naturschutzgebiete, Moore, Ufer, Wald, Siedlungen usw. – in die Untersuchung mit einbezogen werden (Braun et al., in Vorbereitung).

Kulturpflanzen breiten sich eher in Biotope aus, die ähnliche Standortverhältnisse besitzen wie landwirtschaftliche Nutzflächen. Aus diesem Grund sollten Biotope wie Ackerränder, Wege, Brachflächen, Gewässerufer oder Schuttplätze im Langzeitmonitoring besonders berücksichtigt werden (Braun et al., in Vorbereitung).

Empfehlung «räumliche Anforderung»

Die Anzahl der Testgebiete richtet sich nach dem Grundsatz: Je feiner die räumliche Auflösung, desto grösser der Nutzen.

⁸ Das BDM richtet sich nach dem offiziellen Raumsystem des BUWAL aus. Da auch andere Studien dieses System verwenden, scheint es aus Gründen der Kompatibilität sinnvoll, dass sich das Langzeitmonitoringprogramm hier anschliesst.

5.3 Wie lange soll ein Langzeitmonitoring dauern?

«Long-term can not be defined in terms of years: it may vary from month to decades, depending on the organisms and environment involved.» van der Meer (1993)

Was heisst langfristig? Zehn, zwanzig, hundert Jahre oder mehr? Konkrete Antworten, wie lange ein Langzeitmonitoring dauern soll, finden sich kaum. Vermutlich lässt sich eine pauschale Antwort auch nicht geben. So dürfte langfristig bei einer transgenen Fichte etwas anderes bedeuten als bei einer transgenen Rapssorte. Vielleicht finden sich aber auch keine konkreten Angaben, weil man sich insgeheim darüber klar ist, dass es eigentlich keine obere Grenze gibt. Da sich bleibende Veränderungen in Ökosystemen nur in langen Zeiträumen manifestieren (Kowarik 1996, Sukopp & Sukopp 1993), muss ein auf die Dokumentation derartiger Veränderungen abzielendes Monitoring grundsätzlich über Jahrzehnte angelegt sein (Neemann & Braun 1997). Das zeigen zum Beispiel die Erfahrungen, die man mit der Einbürgerung nicht-einheimischer Arten gemacht hat. So betrug die zeitliche Verzögerung zwischen Einführung und Beginn der spontanen Ausbreitung bei Gehölzarten im Durchschnitt 147 Jahre, bei ausdauernden Stauden 68 Jahre und bei ein- und zweijährigen Pflanzenarten im Durchschnitt 32 Jahre (Sukopp & Sukopp 1993). Nach Hintermann et al. (1996) liegt die biologisch sinnvolle zeitliche Untergrenze, die eine Aussage über gerichtete Veränderungen einer Art erlaubt, bei zehn Jahren.

Ammann et al. (1998) unterteilen das Langzeitmonitoring in ein dreijähriges Intensiv-Monitoring zu Beginn der Kommerzialisierung und ein anschliessendes extensives Folge-Monitoring ohne Zeitlimite.

Dass nicht nur ökologische Kriterien die Zeitdauer des Langzeitmonitorings bestimmen könnten, zeigt der SRU. Er schlägt vor, die Zeitdauer der Überwachung den Laufzeiten von DFG-Schwerpunktprogrammen (6 Jahre) oder von DFG-Sonderforschungsbereichen (12 Jahre) anzugleichen. Ein weiterer Orientierungspunkt könnte auch die Haftpflicht-Verjährungsfrist sein. Zudem wäre es denkbar, das Langzeitmonitoring mit der Zeitdauer abzustimmen, in der eine transgene Pflanze sich im Verkehr befindet⁹.

Ob ein Langzeitmonitoring ohne Zeitlimite machbar ist, bleibt offen. Sollte das Programm zeitlich begrenzt werden, so gilt es den Grundsatz zu befolgen: Je länger das Programm, desto grösser der Nutzen.

5.4 Definition des Referenzzustandes

Das Langzeitmonitoring will Veränderungen in der Umwelt beobachten, die von gentechnisch veränderter Organismen verursacht werden. Relevante Veränderungen sind jedoch nur dann erkennbar, wenn die erhobenen Daten mit einem Referenzzustand verglichen werden können. Auch die Bewertung der beobachteten Veränderungen gelingt nur durch einen Vergleich. Ein effizientes Langzeitmonitoring setzt daher voraus, dass Referenzdaten des jetzigen, von gentechnische veränderten Organismen noch unbeeinflussten Zustandes vorhanden sind (SRU 1998; Sukopp 1998). Somit ist es notwendig, bereits vor dem Beginn des Langzeitmonitorings Daten zu sammeln: Eine möglichst rasche Etablierung drängt sich auf.

Die Resultate des Langzeitmonitorings können auch mit Daten verglichen werden, die man auf einem Referenzfeld mit nicht-transgenen Kulturpflanzen erhebt (Braun et al., in Vorbereitung). Dadurch könnte man Unterschiede im ökologischen Verhalten direkt aufzeigen.

Welcher Ansatz gewählt wird, hängt von den Beobachtungsparametern ab. Während etwa bei der Beobachtung der Bodenfruchtbarkeit ein Referenzfeld mit nicht-transgenen Sorten für die Bewertung dient, ist bei der Verwilderung oder Auskreuzung der Zustand vor dem GVO-Anbau von Interesse.

⁹ Auch wenn eine transgene Pflanzensorte wieder vom Markt genommen wird, in der Umwelt könnte sie weiter vorhanden sein. Ruderalpflanzen und ruhende Samen verschwinden nicht mit dem Ende der Vermarktung. Rapssamen zum Beispiel können bis zu 15 Jahren im Boden überdauern (Lange 1985; zitiert in Gerdemann-Knörck & Tegeder 1997).

Ammann et al. (1998) schlagen vor, das Langzeitmonitoring auf nicht-transgene Nutzpflanzen im integrierten Anbau zu beziehen. Als wünschenswert erachten sie zudem, dass mindestens teilweise eine Vergleichsmöglichkeit mit dem Biolandbau geschaffen wird.

Empfehlung «Referenzzustand»

Solange die nötigen Daten über den Ausgangszustand nicht aufgenommen sind, sollten Bewilligungen für das Inverkehrbringen von GVO zurückhaltend gehandhabt oder vorerst untersagt werden (Moratorium).

5.5 Anforderungen an die Datenerhebung

Eigentliche Methodenbeschriebe (in Zukunft vielleicht in Form von „Handbüchern“) fehlen bisher. Sie können erst formuliert werden, wenn die offenen Fragen zu Felderhebungen, Definitionen, Stichprobenkonzepten und Arbeitsabläufen geklärt sind. Hierzu werden vermutlich spezifische Vorprojekte notwendig sein.

Einige allgemeine Kriterien lassen sich jedoch bereits jetzt formulieren (nach Hintermann et al. 1997):

- die Methoden müssen standardisiert sein
- Offenheit für neue Analysen
- permanente Überwachung der Datenqualität
- Wahl berarbeiterunabhängiger Methoden (fehlertolerante Methoden mit möglichst geringem Spielraum für Berarbeitereinflüsse)
- keine Datenerhebung, die von Einzelpersonen abhängig ist
- konsequente Trennung von Datenerhebung und Interpretation / Bewertung
- soweit möglich nicht-destruktive Erhebungsmethoden anwenden
- die Daten so oft wie möglich erheben (je feiner die zeitliche Auflösung der Ergebnisse, desto besser)

5.6 Was soll beobachtet werden?

Wie transgene Pflanzen in der Umwelt langfristig wirken, weiss niemand genau. Dennoch muss man festlegen, was man in einem Langzeitmonitoring beobachten will. Einen Anhaltspunkt geben die Erfahrungen, die man im Anbau konventioneller Kulturpflanzen gewonnen hat. Und auch die Resultate aus Freisetzungsexperimenten lassen erahnen, wie transgene Pflanzen auf ihre Umwelt einwirken könnten. Denkbar ist, dass sie sich ausserhalb der Äcker verbreiten, zu einem lästigen Unkraut werden, die Rhizosphäre beeinflussen, den Eintrag von Pflanzenschutzmitteln verringern, Nützlinge schädigen, die genetische Diversität schmälern, neue Viren kombinieren, ihre Transgene auf Wildpflanzen übertragen, Bioprodukte verschmutzen, Antibiotikaresistenzgene in Mikroorganismen verbreiten oder die landwirtschaftliche Anbaupraxis verbessern. Diese potentiellen Einflüsse, die zum Teil bereits Gegenstand der Risikoabschätzung und der Begleitforschung sind, werden die Beobachtungsgrössen im Langzeitmonitoring sein. Der Schwerpunkt der Beobachtung wird dabei je nach Pflanze und eingeführtem Genkonstrukt unterschiedlich gelegt werden. Das Langzeitmonitoring sollte sich jedoch nicht allein auf die Wirkungen konzentrieren, die für eine bestimmte transgene Pflanze denkbar sind. Das Programm muss so konzipiert sein, dass auch unerwartete Effekte festgestellt werden können. Welche der Wirkungen für die Beobachtung ausgewählt werden, hängt ab von der Zielsetzung des Langzeitmonitorings, sowie den zur Verfügung stehenden finanziellen und personellen Ressourcen.

Die **Genflucht** in Wildpopulationen sollte bei allen transgenen Pflanzen eine Beobachtungsgrösse sein, die auskreuzen können, wind- oder insektenbestäubt sind und verwandte Wildarten besitzen. Das sind (Ammann et al. 1996): Raps, Rübsen, Radieschen, Gerste, Möhre, Hafer, Luzerne, Apfel, Birne, Pflaume, Erdbeere, Kürbis, Bohne, Lattich, Fenchel, Petersilie, Kleearten, Knoblauch, Zwiebel, Lupinie und Spargel. Bei Kulturpflanzen, die hierzulande keine verwandten Wildarten besitzen, besteht die Möglichkeit, dass der transgene Pollen artgleiche Pflanzen befruchtet, die biologisch angebaut werden. Ob diese «Verschmutzung» der biologischen Ernte zum Gegenstand der langfristigen Beobachtung wird, ist ungewiss. Es hängt ab vom Stellenwert, dem man einem «gentechnikfreien» Biolandbau beimisst, sowie von den Zielsetzungen des Langzeitmonitorings.

Wie die Genflucht wird auch die **Verwildерung** transgener Sorten in Pflanzengemeinschaften bzw. Ökosystemen als mögliches Risiko eingestuft. Grund genug also, während des Langzeitmonitorings ausserhalb der Äcker und Felder nach transgenen Kulturflüchtlingen Ausschau zu halten (Braun et al., in Vorbereitung; Ammann et al. 1998; SRU 1998). Wie intensiv das geschieht, kommt vermutlich auf die jeweils beobachtete transgene Pflanze an. Nach gängiger Meinung bergen einheimische Pflanzen – wie etwa Raps, Zuckerrübe oder Fichte – ein höheres Verwildерungsrisiko als Exoten – wie zum Beispiel Mais oder Kartoffel. Zudem wird auch das eingeführte Genkonstrukt eine entscheidende Rolle spielen. Eine Insektenresistenz dürfte die Überlebenschancen ausserhalb des Ackers eher vergrössern als eine Herbizidtoleranz.

Das Schicksal transgener Pflanzen sollte auch auf den Äckern und Feldern verfolgt werden. Die Samen vieler Kulturpflanzen können nach der Ernte im Boden überdauern und in der Folgefrucht keimen. Dieser **Durchwuchs** macht den Landwirten zum Teil Probleme. Transgene Pflanzen sind denn auch auf diese Eigenschaft hin zu überwachen. Die Entstehung neuer Unkräuter ist zu verhindern.

Effekte transgener Pflanzen auf **Nichtziel-Organismen** sind im allgemeinen Gegenstand der Untersuchungen, die Saatguthersteller vor der Lancierung ihres Produktes durchführen. Doch die experimentellen Methoden, die in diesen Untersuchungen verwendet werden, fokussieren die kurzfristigen Effekte und die vernachlässigen langfristigen Einflüsse (Parker & Bartsch 1996). Zudem werden die Versuche selten in einer angemessenen Grösse durchgeführt. Damit lässt sich keine Gewissheit gewinnen, dass Nichtziel-Organismen auch langfristig heil davon kommen. Resultate aus der Risikoforschung belegen zudem, dass unerwartete und unerwünschte Effekte auf Nichtziel-Organismen möglich sind (Hilbeck et al. 1998; Birch et al. 1997). In einem Langzeitmonitoring sollte man also beobachten, wie transgene Pflanzen auf Nichtziel-Organismen wirken (Braun et al., in Vorbereitung; Ammann et al. 1998).

Auch die Wirkung auf Zielorganismen wird Gegenstand des Langzeitmonitorings sein (Ammann et al. 1998). Im Vordergrund steht dabei das **Resistenzmonitoring** bei schädlings- und krankheitsresistenten

transgenen Pflanzen. Diese Resistenzüberwachung ist eingebettet in ein allgemeines «pest management» und dient dazu, die Entwicklung von resistenten Schädlingen oder Krankheitserregern zu verzögern. Mit der Kommerzialisierung des transgenen Bt-Mais gewinnt das Resistenzproblem an Brisanz. So hat eine EU-Expertenkommission bereits ein Biomonitoring für ein gezieltes «pest management» entworfen (Pohl-Orf & Schuphan 1998). Der Entwurf wird zur Zeit von den Mitgliedsstaaten und der Industrie geprüft. Die Expertenkommission schlägt vor, dass die Einzelstaaten das Resistenzmonitoring übernehmen, bevor Bt-Mais angebaut wird. Die nationalen Behörden sollen zudem verpflichtet werden, auftretende Resistenzen an die Europäische Kommission in Brüssel zu melden (Pohl-Orf & Schuphan 1998). Auch Ammann et al. (1998) empfehlen, die Entwicklung von Resistenzen im Langzeitmonitoring zu beobachten.

Transgene virusresistente Pflanzen bergen die Risiken der heterologen **Enkapsidierung** und **Rekombination** (Eckelkamp et al. 1997b). Aus natürlich vorkommenden Mischinfektionen ist bekannt, dass durch Rekombination zweier viraler Gensequenzen ein neues, aggressiveres Virus entstehen kann (Zhou et al. 1997). Um die Ausbreitung ev. neu entstandener Viren zu verhindern, sollten Rekombinationsereignisse im Langzeitmonitoring beobachtet werden. Zudem gilt es auch zu prüfen, ob die heterologe Enkapsidierung bei einem grossflächigen Anbau transgener Pflanzen, die virale Hüllproteingene exprimieren, Probleme verursacht.

Die **phäno- und genotypische Stabilität** der transgenen Pflanzen ist ein weiterer Punkt, der in das Langzeitmonitoring aufgenommen werden sollte (Ammann et al. 1998). Es ist bekannt, dass die Genexpression unter Umweltbedingungen variieren kann. Das kann unter Umständen unerwünschte Effekte auslösen. Hat das Transgen zum Beispiel die Aufgabe, die Bildung von Allergenen zu unterdrücken, so hätte sein Ausfall negative Folgen für die Gesundheit (Dale 1995). Auch der umgekehrte Fall ist denkbar: Ein Transgen könnte unerwartet in einem Gewebe (z.B. Pollen) exprimiert werden, wo das Vorhandensein des Genproduktes nicht erwünscht ist.

Soll auch der **horizontale Gentransfer** in das Langzeitmonitoringprogramm aufgenommen werden? Am Umweltbundesamt (UBA) in Berlin wird die Frage verneint. Der Transfer pflanzlicher Transgene auf Mikroorganismen sei ein zu seltenes Ereignis, als dass sich der grosse Aufwand lohne, der für die Beobachtung notwendig wäre; der horizontale Gentransfer sei daher Sache der Begleitforschung (Ingrid Nöh & Anne Miehe, persönliche Mitteilung). Auch bei Ammann et al. (1998) fehlt die Empfehlung, den horizontalen Gentransfer zum Gegenstand des Langzeitmonitorings zu machen. Vergessen geht dabei die Diskussion um die Antibiotikaresistenzgene. Bei transgenen Pflanzen, die mit diesen Markern ausgestattet sind, wäre eine Beobachtung des Gentransfers unbedingt notwendig. Denn aus Gründen der Vorsorge gilt es, die Übertragung von Antibiotikaresistenzgenen auf tierische und menschliche Krankheitserreger zu verhindern. So hat sich der Bundesrat in seiner Antwort auf eine Motion der Grünen kritisch gegen die Verwendung von Antibiotikaresistenzgenen geäussert (Nationalrat, Motion Grüne Fraktion, 98.3605, 16.12.98): «Nicht zu befürworten ist die Verwendung von Resistenzgenen als Marker in Organismen, welche zur Vermehrung oder Verbreitung freigesetzt werden, wenn diese Gene Resistenz gegen Antibiotika erzeugen können, die zu human- oder veterinärmedizinischen Zwecken in der Schweiz Verwendung finden, und wenn diese Gene in einem allfälligen Empfängerorganismus exprimiert werden könnten oder sich auf mobilen genetischen Elementen befinden.» Antibiotikaresistenzgene waren denn auch mit ein Grund, weshalb das BUWAL die Freisetzungsanträge von Offfringen und Changins ablehnte.

Bei herbizidresistenten transgenen Pflanzen fällt dem Langzeitmonitoring u.a. die Aufgabe zu, den langfristigen Einfluss von Totalherbiziden auf **Ackerflora und -fauna** zu verfolgen (Braun et al., in Vorbereitung). Der Einsatz der herbizidresistenten Pflanzen ist dabei an den Zielen einer nachhaltigen Landwirtschaft zu messen.

Das Langzeitmonitoring darf sich nicht darauf beschränken, nur die absehbaren Wirkungen transgener Pflanzen zu untersuchen, es muss auch **unerwartete Effekte** aufzeigen können (Braun et al., in Vorbereitung). Für die Beobachtung nicht vorhersehbarer Wirkungen fehlen natürlich die Methoden. So wird es notwendig sein, die während des Langzeitmonitorings gewonnen Daten sorgfältig auf unerwartete Effekte hin zu prüfen.

Es ist umstritten, ob die Einführung transgener Sorten die **genetische Vielfalt** der Kulturpflanzen einengen oder vergrössern wird (Schmid et al. 1996). Das Langzeitmonitoring könnte hier die Aufgabe

erfüllen, eine Verringerung der Sortenvielfalt frühzeitig zu erkennen. Dieses Warnsystem müsste in Zusammenarbeit mit internationalen Organisationen aufgebaut werden¹⁰.

Der Anbau transgener Pflanzen wird in einzelnen Fällen die **landwirtschaftliche Praxis** verändern. Die resultierenden Konsequenzen sind im Langzeitmonitoring zu überwachen (Braun et al., in Vorbereitung). Neben den biologischen und risikoorientierten Beobachtungsgrössen könnten auch **gesellschaftliche Aspekte** zum Gegenstand des Langzeitmonitorings werden – wie zum Beispiel die Convenience der Landwirte, die transgene Pflanzen anbauen.

Empfehlung «Beobachtungsparameter»

Das Langzeitmonitoring darf sich nicht allein auf die Wirkungen konzentrieren, die für eine bestimmte transgene Pflanze und ihrem Genkonstrukt denkbar sind. Das Programm sollte so konzipiert sein, dass auch unerwartete Effekte festgestellt werden können.

5.7 Marker

Der Nachweis der transgenen Genkonstrukte ist ein notwendiger Bestandteil des Langzeitmonitoring, da er die Beobachtung von Verwilderung, Auskreuzung und horizontalem Gentransfer ermöglicht. Gegenwärtig sind die meisten transgenen Pflanzen noch mit Antibiotikaresistenzgenen bestückt. Diese Gene erlauben, verwilderte Kultur- oder hybride Wildpflanzen via Selektion phänotypisch zu entdecken. Die Antibiotikaresistenzgene sind aber umstritten. Es ist absehbar, dass diese Gene in Zukunft nicht mehr als Marker verwendet werden. Damit wird sich auch die Frage neu stellen, wie das Schicksal von Transgen in der Umwelt verfolgt werden kann. Sind die Transgene nicht mit phänotypischer Selektion aufzuspüren, müssen sie mit destruktiven Methoden – Isolation der DNA, PCR – gesucht werden. Diese Methoden sind teuer und zeitaufwendig. Zudem wird auch die Vielzahl der verschiedenen Transgene, die in Zukunft kommerzialisiert werden, den Nachweis erschweren. Eine Erleichterung böte die Einführung eines universellen Markergens (Stewart 1996; Rogers & Parkes 1995). Stewart (1996) schlägt vor, ein Gen der Qualle *Aequora victoria* zu verwenden, das für ein grün fluoreszierendes Protein (GFP) codiert. Dieses Gen – so Stewart – würde das Monitoring erheblich vereinfachen. Der Grund: Setzt man transgene Pflanzen, die das GFP-Gen konstitutiv exprimieren, ultraviolettem oder blauem Licht aus, beginnen sie zu fluoreszieren. Damit könnte der Nachweis direkt auf dem Feld erfolgen.

5.8 Bioindikatoren

Nach Schubert (1985; zitiert in Maas 1996) sind Bioindikatoren «Organismen oder Organismengemeinschaften, deren Lebensfunktionen sich mit bestimmten Umweltfaktoren so eng korrelieren lassen, dass sie als Zeiger dafür verwendet werden können.» Diese «Zeigerorganismen» werden beim Langzeitmonitoring eine wichtige Rolle spielen (Barbara Weber, Öko-Institut; Klaus Ammann, Universität Bern; mündliche Mitteilungen). Da es nicht möglich sein wird, jedes denkbare Ursache-Wirkungs-Gefüge direkt zu verfolgen und jeden Organismus zu beobachten, der in der Einflusszone transgener Pflanzen lebt, wird sich das Langzeitmonitoring auf Bioindikatoren abstützen.

Die Bioindikatoren sind so zu wählen, dass sie als Warninstrumente dienen: Sie sollen rechtzeitig negative Entwicklungen anzeigen, damit geeignete Gegenmassnahmen ergriffen werden können (Maas

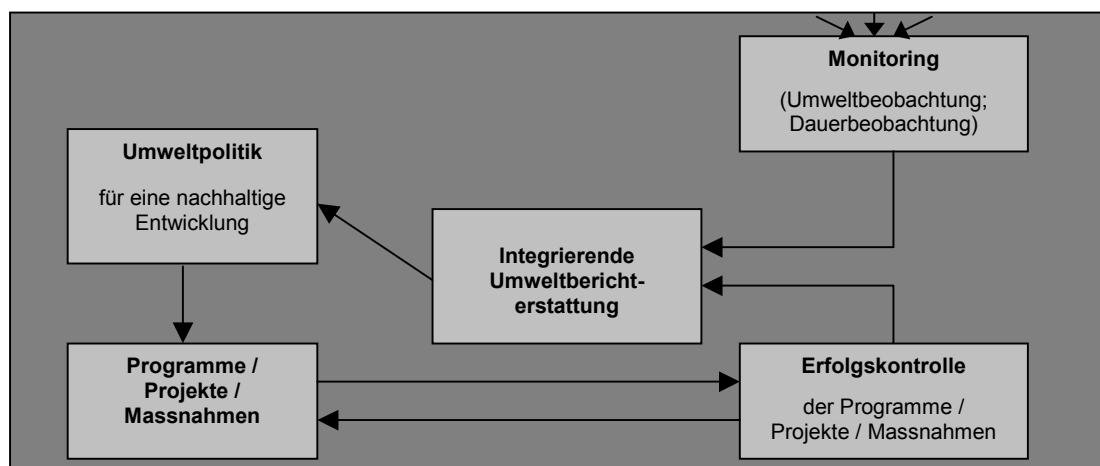
¹⁰ Die Food and Agricultural Organization (FAO) hat einen globalen Aktionsplan gestartet, um die genetischen Ressourcen in Ernährung und Landwirtschaft zu erhalten und nachhaltig zu Nutzen (FAO 1996). Das BLW hat eine Umsetzungsvariante dieses Monitorings erarbeitet.

1996). Bei der Auswahl der Zeiger geht es nicht nur darum, Organismen zu finden, die auf die direkten und kurzfristigen Wirkungen transgener Pflanzen reagieren. Ebenso wichtig ist es, Organismen zu wählen, die schleichende, chronische Effekte und Kombinationswirkungen anzeigen (Weber 1999). Wenn Bioindikatoren so zu wählen sind, dass sie ökologische Schäden frühzeitig bemerkbar machen, muss bei der Auswahl bereits klar sein, welche Schäden denn zu verhindern sind. Die Bestimmung der Bioindikatoren ist damit eng verknüpft mit der Zielsetzung des Langzeitmonitorings sowie mit den Abbruchkriterien (vgl. Kapitel 6).

5.9 Integration in bestehende Monitoringprogramme

Monitoring im Umweltschutz

Monitoring und Erfolgskontrollen sind zu wichtigen Instrumenten der Umweltpolitik geworden¹¹. Während die Erfolgskontrolle die Auswirkungen konkreter Programme, Projekte und Massnahmen bewertet, steht das Monitoring für die wiederholte Beobachtung von Zuständen (Schema 5). Die Monitoringprogramme zur Überwachung von Luft, Boden, Gewässern, Landschaft und Wäldern dienen dabei nicht dem Nachweis von Kausalitäten. Sie erlauben vielmehr die Früherkennung von Problemen, die dann mit anderen Methoden untersucht werden (Kohli 1998a).



Schema 5: Wechselwirkung zwischen Projekt, Erfolgskontrolle, Monitoring und Umweltpolitik (nach Kohli 1998a)

Auf Bundesebene sind verschiedene Programme fest installiert und einige befinden sich in der Aufbauphase (Tabelle 5). Auch die Kantone haben begonnen, eigene Erfolgskontrollen und Dauerbeobachtungen einzurichten (Maurer 1998; Maurer et al. 1997).

Der Bundesrat hat 1996 ein Informations- und Koordinationsorgan Umweltbeobachtung (IKUB) eingesetzt. In diesem Organ sind Datenproduzenten und Datennutzer von Bund und Kantonen vertreten. Die wichtigsten Ziele des IKUB sind (BFS & BUWAL 1997):

- Informations- und Koordinationsplattform für nationale, kantonale und internationale Beobachtungs- und Erhebungsaktivitäten;
- Aufzeigen von Lücken, Datenzugangswegen und Abgabepaxen, Doppelspurigkeiten oder methodischen Problemen bestehender Beobachtungseinrichtungen; Abgabe von Empfehlungen;
- Unterstützung der Auswertungen fachübergreifender Art.

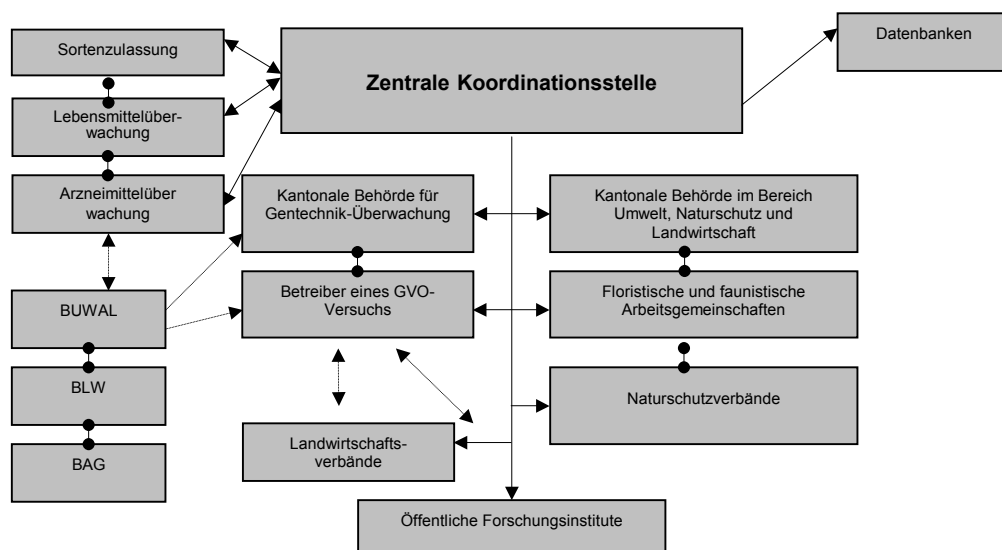
¹¹ Monitoring und Erfolgskontrolle sind das Schwerpunktthema der BUWAL Publikation «Umweltschutz» Nr. 4/98.

Luft & Klima	• NABEL (Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe) • Einträge in naturnahe Ökosysteme. • Klima und Wetter allgemein (SMA, Schweizerische Meteorologische Anstalt)
Boden	• NABO (Nationales Bodenbeobachtungsnetz) • Einzelstudien • Landnutzung
Gewässer	• NADUF (Nationales Programm für die analytische Datenuntersuchung der schweizerischen Fließgewässer) • NAQUA (Nationales Netz zur Qualitätsbeobachtung des Grundwassers) • Fischereistatistik • Restwasserinventar
Wald	• LFI (Landesforstinventar) • Sanasilva (Erhebung zum Waldzustand) • PBMD (Phytophytisanitärer Beobachtungs- und Meldedienst) • LWF (Langfristige Waldökosystem-Forschung)
Natur und Landschaft	• BDM (Biodiversitätsmonitoring) • Landschaftsbeobachtung • BLN (Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler nationaler Bedeutung) • Erfolgskontrolle von Mooren, Auen, Trockenwiesen und -weiden, ökologischer Ausgleich in der Landwirtschaft • Rote Listen

Tabelle 5: Erfolgskontrolle und Monitoring im Umweltschutz: Beispiele von Aktivitäten auf nationaler Ebene (nach Kohli 1998a; verändert).

Eingliederung des GVO-Langzeitmonitoring in Zweitprogramme

Eine Zusammenarbeit mit bereits bestehenden Monitoringprogrammen ist in zweifacher Weise sinnvoll. Einerseits können die bereits vorhandenen Erfahrungen helfen, das GVO-Langzeitmonitoring zu planen. Andererseits könnten Zweitprogramme auch Daten liefern, die für die Überwachung transgener Pflanzen von Bedeutung sind. Die Frage nach einer möglichen Zusammenarbeit mit Zweitprogrammen nimmt in der deutschen Diskussion einen wichtigen Platz ein (Braun et al., in Vorbereitung; Sukopp 1998; SRU 1998; Knetsch 1998; Köppel 1998; Benzler 1998; Verbücheln 1998; Wicke 1998; Maas 1996; Mathes 1996; Bredemeier 1996; sowie verschiedene Beiträge in den Diskussionen in Mieke 1998 und Bartsch & Haag 1996). Übertragen auf die Schweiz bedeutet dies: Wer das Konzept für das hiesige Langzeitmonitoring ausarbeitet, sollte überprüfen, ob Synergien mit bestehenden Monitoringprogrammen (Tabelle 5) möglich sind. Hierzu wäre es notwendig, die Verantwortlichen der konventionellen Programme in die Planung miteinzubeziehen (vgl. Schema 6).



Schema 6: Verknüpfung gentechnischer Überwachungs- und konventioneller Umweltmonitoringsysteme (nach SRU 1998).

Empfehlung «Integration in bestehende Monitoringprogramme»

Wer das Konzept für ein Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Organismen ausarbeitet, sollte überprüfen, ob Synergien mit bereits bestehenden konventionellen Monitoringprogrammen möglich sind.

5.10 Gen- und Flächenregister

Eine Sammlung und Dokumentation aller kommerzialisierten transgenen Nukleotidsequenzen ist unerlässlich (SRU 1998). Erst dieses Genregister macht es möglich, Transgene nachzuweisen und zu identifizieren. Das Register ist also notwendig für die Überprüfung der Lebensmittelkennzeichnung und für das Auffinden von Transgenen, die in der Umwelt verbleiben. Letzteres ist für das Langzeitmonitoring wesentlich.

Die Daten über die Gensequenzen sollten länger aufbewahrt werden, als eine transgene Nutzpflanze auf dem Markt erhältlich ist. Ein Beispiel: Eine insektenresistente Luzerne wird während zehn Jahren angebaut und verschwindet dann wieder vom Saatgutmarkt. Einige Jahre später beobachtet man, wie Sichelklee neue Lebensräume erobert. Damit die Hybridisierung zwischen der Luzerne und dem Sichelklee nachgewiesen werden kann, müssen die transgenen Nukleotidsequenzen zur Verfügung stehen. Ein Genregister erleichtert es zudem, gentechnische Veränderungen auch dann zu verfolgen, wenn kommerzialisierte transgene Sorten weiter gezüchtet werden.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen empfiehlt, «alle Möglichkeiten zum Nachweis von Herkunft und Verbleib transgener Nukleotidsequenzen zu wahren.» Und er hält es für erforderlich, «ein Register für alle transgenen Gensequenzen anzulegen.» (SRU 1998, Paragraph 836).

Zusätzlich zu einem Genregister sollten gesamtschweizerisch auch alle Flächen registriert werden, auf denen Landwirte transgene Pflanzen anbauen (Fried et al., mündliche Mitteilung). Dies setzt voraus, dass die Landwirte verpflichtet werden, den Anbau von GVO zu melden.

6. Abbruchkriterien

Eine der wichtigsten Aufgaben des Langzeitmonitorings wird es sein, negative Entwicklungen frühzeitig wahrzunehmen und entsprechend Gegenmassnahmen einzuleiten. Nur so lassen sich ökologische Schäden verhindern oder verringern. Das Langzeitmonitoring enthält damit neben der kognitiven auch eine normative Bedeutung. Die kognitive Komponente des Frühwarnsystems liegt im frühen *Erkennen* der Probleme. Die normative Komponente hingegen betrifft das rechtzeitige *Anerkennen* der sich entwickelnden Probleme (Bechmann et al. 1988). Das Anerkennen von Problemen ist nun nicht allein die Sache der Naturwissenschaft. Sie kann zwar die Methoden liefern, die für die Beobachtung notwendig sind, sie ist aber nicht fähig, Schäden objektiv zu definieren. Was eine negative Entwicklung, was ein ökologischer Schaden ist, das entzieht sich einer objektiven, naturwissenschaftlichen Betrachtungsweise. Die Wahrnehmung von Schäden unterliegt gesellschaftlichen Wertvorstellungen.

Soll das Langzeitmonitoring als Frühwarnsystem konzipiert werden, so braucht es Zielgrössen, Schadensschwellen und Grenzwerte, auf die hin die beobachteten Veränderungen bewertet und Massnahmen getroffen werden können (Schulte 1998). In anderen Worten: Es braucht Abbruchkriterien. Diese Kriterien sollten soweit möglich bereits vor der Entscheidung, welche Monitoringverfahren eingesetzt werden, festgelegt sein (Maas 1996). Sie sollten zudem in einem möglichst breitem gesellschaftlichen Diskurs erarbeitet und verabschiedet werden (Bund, Kantone, Industrie, Landwirtschaftsverbände, Natur- und Umweltschutzorganisationen, Hochschulen, Forschungsanstalten).

Im Zusammenhang mit den Abbruchkriterien muss ein weiterer Punkt berücksichtigt werden: Der Entscheid zum Handeln darf sich nicht allein auf naturwissenschaftliche Normen stützen. Die klassische Naturwissenschaft tut sich nämlich schwer, bei ökologischen Fragen abschliessende und gültige Aussagen zu treffen, «weil für die Anerkennung naturwissenschaftlicher Arbeiten bestimmte Normen, wie zum Beispiel experimentelle Wiederholbarkeit, Nachweis kausaler Verknüpfung, statistischer Signifikanznachweis, Widerspruchsfreiheit und Bewertung durch die Wissenschaftsgemeinde, gelten. Müsste Frühwarnung diesen Normen genügen, so kämen Warnungen wahrscheinlich oft zu spät. Der Sinn der Frühwarnung liegt ja gerade darin, Prophylaxe schon aufgrund von Verdachtsmomenten und Indizien zu stimulieren, die nach diesen wissenschaftlichen Normen nur als Hypothesen gelten.» (Bechmann et al. 1988)

Die Verantwortlichen des Langzeitmonitorings müssen also den Mut haben, bereits in Verdachtsmomenten zu handeln. Barbara Weber schreibt hierzu (Weber 1999): «Schliesslich stellt sich die Frage nach den Konsequenzen, d.h. den Kriterien für Auflagen oder den Abbruch von Projekten. Die Problemfälle sind weniger die offensichtlichen, in denen eine starke, direkt und kurzfristig wirksam werdende Gefährdung vorliegt. Eine giftige transgene Pflanze z.B. sollte den Prüfroutinen nicht entgehen. Problematisch sind schleichende, chronische Effekte oder Kombinationswirkungen, sowohl ökologisch als auch gesundheitlich. Sie erfordern absolut, dass Voranzeichen ernst genommen werden und im Zweifel für den Schutz der VerbraucherInnen und der Umwelt entschieden wird.»

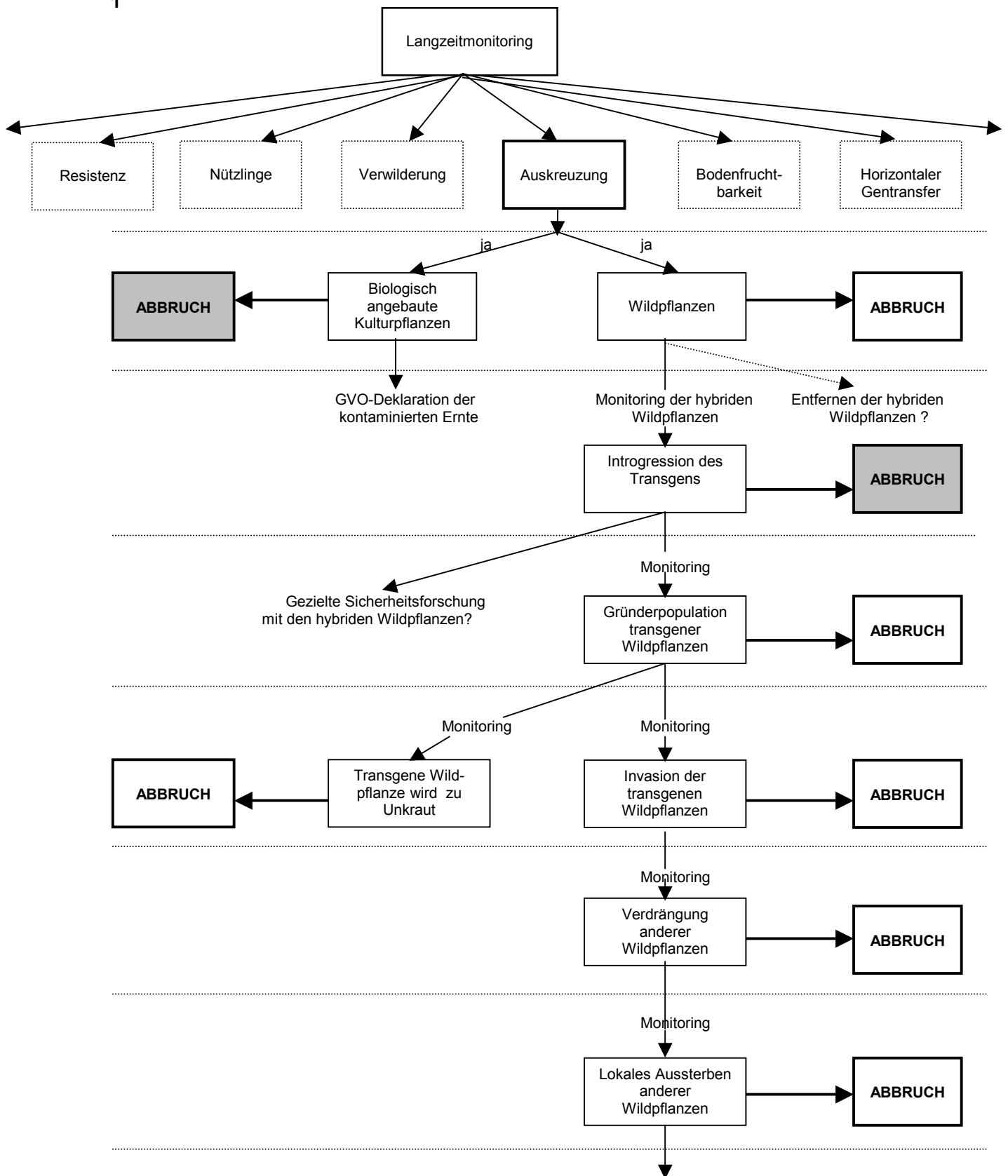
Sinnvoll wäre, «verdächtige» GVO-Produkte vorübergehend vom Markt zu nehmen und erneut in Sicherheitsuntersuchungen zu prüfen. Und im Extremfall sollte die Möglichkeit bestehen, den Abbruch der Vermarktung eines Produktes zu verfügen.

Welche neuen Erkenntnisse Massnahmen erfordern, das wird noch zu diskutieren sein. Einen Ansatz für einen entsprechenden Kriterienkatalog findet man bei Amman et al. (1998). Sie schlagen in ihrem Monitoringkonzept folgende Schadensdefinitionen vor:

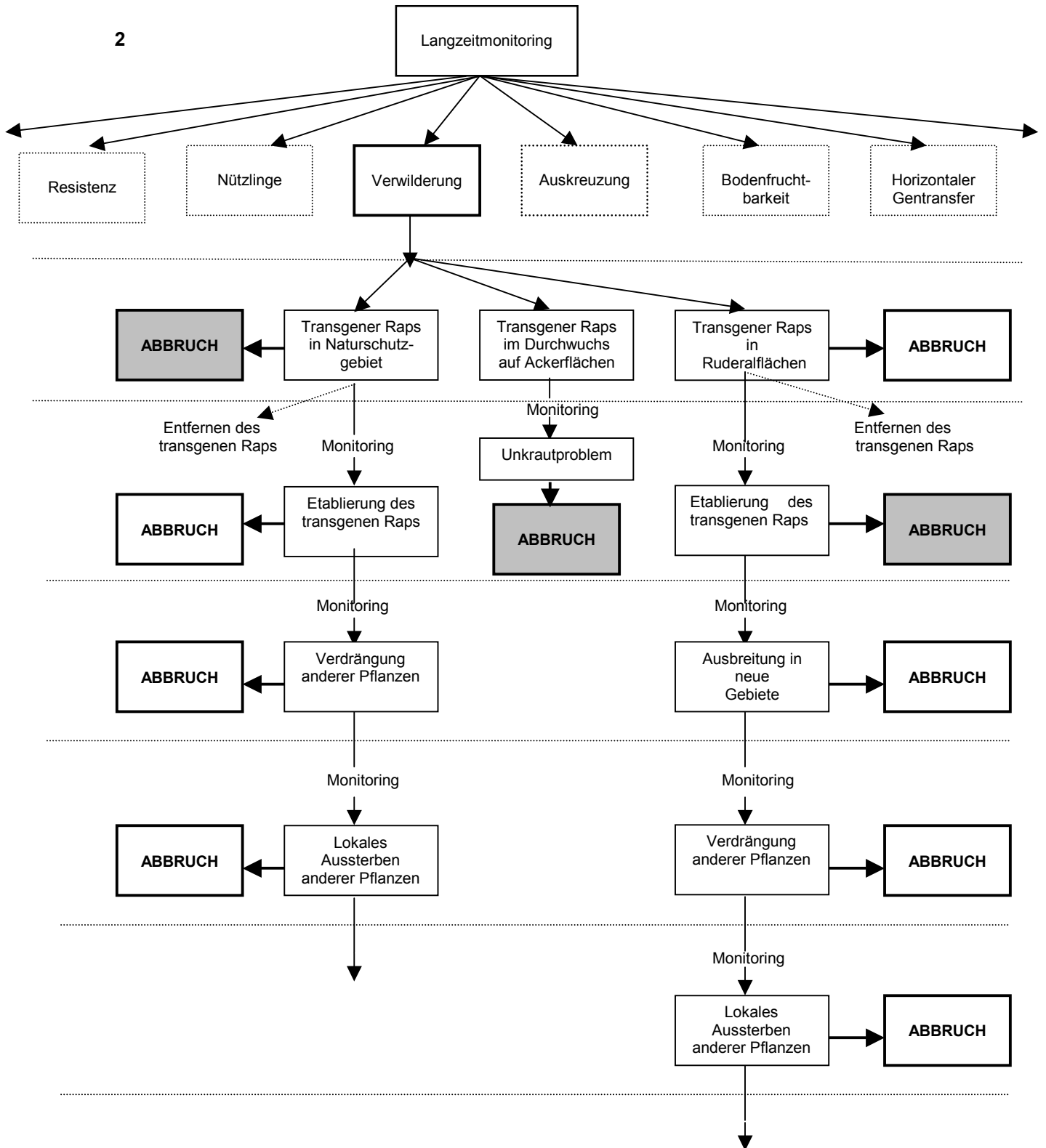
- Schwere Schäden: Wesentliche Veränderungen in Populationsdichten, Populationszusammensetzungen (Artenverdrängungen), Funktionsverluste in Ökosystemen.
- Mittlere Schäden: Wesentliche Veränderungen von Populationsdichten, und Populationszusammensetzungen (funktionelle Veränderungen).
- Geringe Schäden: Populationsveränderungen, die keine Funktionsverluste hervorrufen.
- Vernachlässigbare Schäden beeinträchtigen lediglich Individuen, sind kurzfristig und in ihrer Wirkung reversibel.

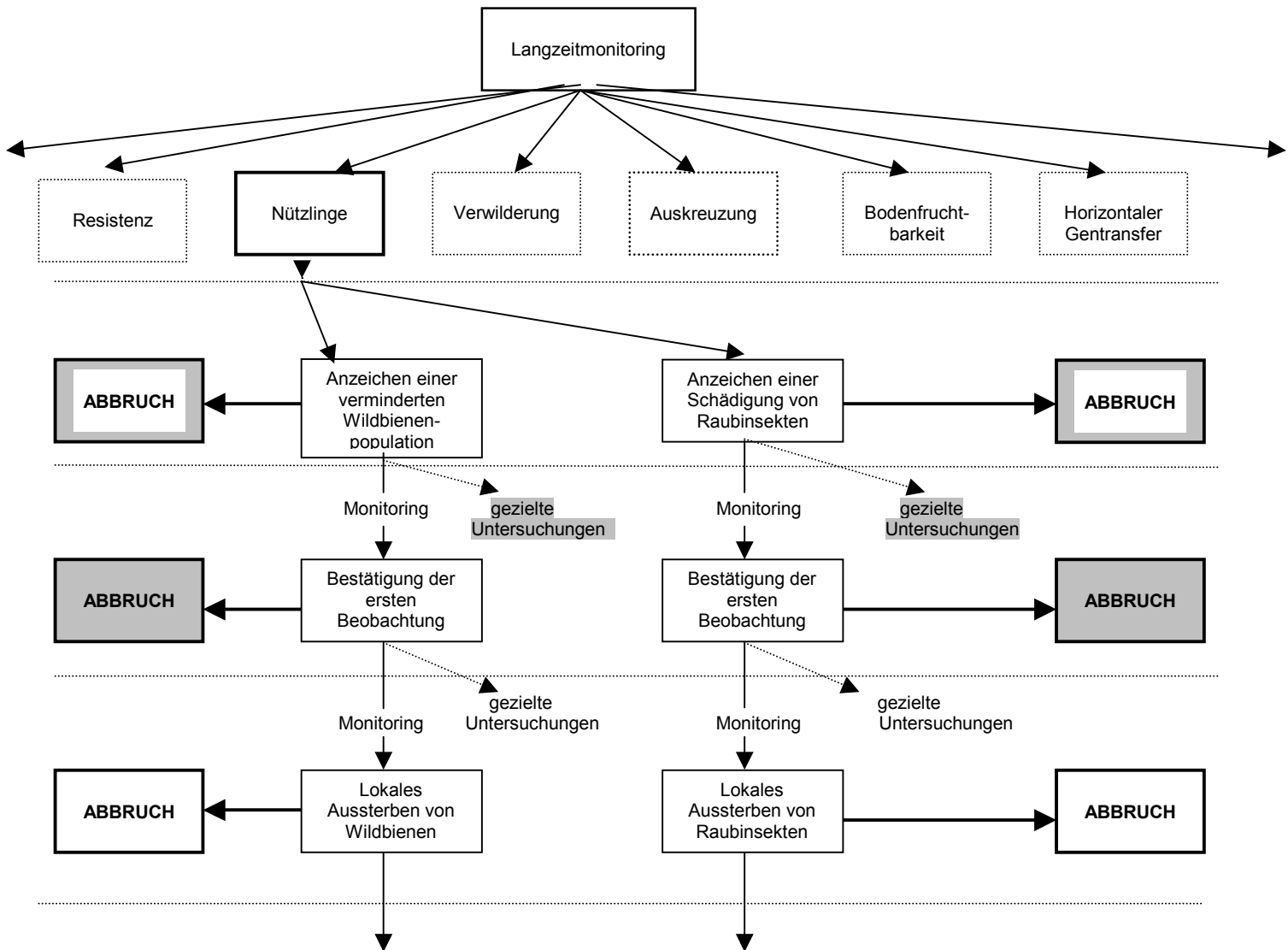
Ein erster Schritt ist damit getan. Vieles bleibt jedoch offen. Wann soll gehandelt werden? Bereits bei geringen Schäden oder erst bei den schweren? Was ist eine wesentliche Veränderung? Wie weis man, dass aus einem anfänglich geringen Schaden kein schwerer wird? Konkrete Antworten zu finden ist schwierig, das Festlegen von Grenzwerten und Schadensschwellen fällt schwer. Dennoch sollte man im Vorfeld des Langzeitmonitorings zumindest einige Fragen konkret beantworten. Zum Beispiel: Welche Auskreuzungsraten in Wild- und «Bio»pflanzen sind akzeptierbar? Sind transgene Kulturflüchtlinge in Naturschutzgebieten tolerierbar? Dürfen Arten durch den Einsatz von Totalherbiziden verdrängt werden?

Es wird in jedem Fall sehr anspruchsvoll sein, Abbruchkriterien oder Grenzwerte festzulegen. Die Kriterien können risikoorientiert ausfallen (z.B. Verhinderung der Ausbildung von Gründerpopulationen hybrider Wildpflanzen oder transgener Kultursorten) oder sie können vielmehr ein Schutzziel unterstützen (z.B. Schutz von Naturschutzräumen oder Bioagrarsystemen vor Transgenen). Schliesslich könnte auch das unerwünschte Auftreten der Transgene in einem Produkt (z.B. Honig) zum Abbruch Anlass geben.



2





Schema 7: Mögliche Abbruchentscheidungen bei Auskreuzung (1), Verwilderung (2) und Nützlingen (3). Die ganz ausgefüllten Abbruchkästen entsprechen den Empfehlungen der Autoren. Bei den halb ausgefüllten Kästen empfehlen die Autoren, das Produkt vorübergehend vom Markt zuziehen und einer gezielten Sicherheitsforschung zu unterziehen.

Empfehlungen «Abbruchkriterien»

Der Gesetzgeber setzt ein Verfahren in Gang unter Beteiligung von Kantonen, Forschungsanstalten, Hochschulen, Industrie, Natur- und Umweltschutzorganisationen, Landwirtschaftsverbänden etc., um Schadensdefinitionen und Abbruchkriterien festzulegen.

Folgende Ereignisse führen zwangsläufig zu einem Rückruf und Verbot der in Verkehr gebrachten GVO:

- Beobachtung von gentechnisch eingeführten Fremdgenen in Naturschutzräumen.
- Beobachtung von gentechnisch eingeführten Fremdgenen in Anbauzonen des biologischen Landbaus.
- Beobachtung von gentechnisch eingeführten Fremdgenen bzw. deren Expressionsprodukten in biologischen Produkten.

7. Institutionalisierung

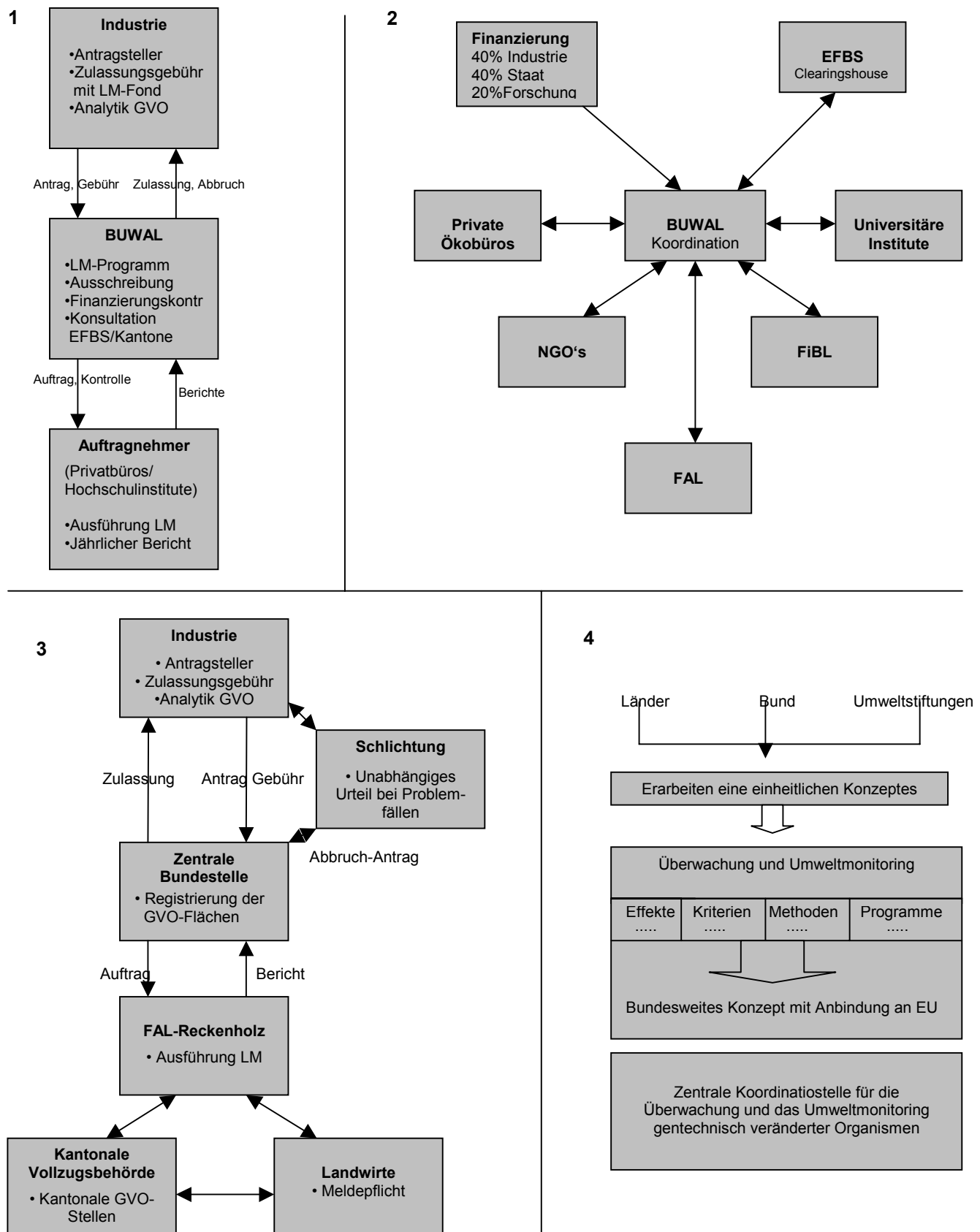
Es gibt weltweit noch kein institutionalisiertes Langzeitmonitoringprogramm für gentechnisch veränderte Organismen. Vereinzelt wird heute nach konkreten Organisationsstrukturen für die Durchführung von Langzeitmonitoringprojekten gesucht. Die Institutionalisierung wird wegen den spezifischen Gesetzgebungen und den bestehenden Strukturen auf nationaler Ebene gefunden werden müssen. Es wird allerdings betont, dass das Langzeitmonitoring eine übernationale Aufgabe ist, welche international harmonisiert werden muss.

In dieser Studie werden ausschliesslich Überlegungen zu einer Institutionalisierung in der Schweiz diskutiert. In der Schweiz wurde im Rahmen des Gen-Lex-Verfahrens und den neuen Verordnungen zum Umweltschutzgesetz bereits begonnen, eine rechtliche Grundlage für ein Langzeitmonitoring festzulegen. Ein Institutionalisierungsvorschlag ist aber erst mit schwachen Konturen ersichtlich.

Massgebend für die Institutionalisierung sind Fragen nach einer zentralen Stelle, nach den Durchführungsorganen, den Überwachungsorganen und den Finanzierungsmodellen. Schema 8 stellt die verschiedene Vorstellungen dar.

Es lassen sich folgende Gemeinsamkeiten und Divergenzen ablesen:

- Die Schaffung einer zentralen Bundesstelle scheint unumstritten. Eine Zuweisung an das BUWAL wird bevorzugt. Die Stelle organisiert, koordiniert, standardisiert und registriert.
- In der Ausführung des Langzeitmonitorings ist eine massgebende Funktion der Eidgenössischen Forschungsanstalten kaum bestritten. Namentlich das FAL-Reckenholz soll eine zentrale Aufgabe erhalten.
- Die Rolle der Bauern wird kontrovers interpretiert. Eine Meldepflicht erscheint angemessen.
- Die Industrie wird unbestritten zur Finanzierung verpflichtet. Ihre Rolle bei der Ausführung ist noch offen.
- Der Anschluss an heute bereits bestehende Monitoringprogramme erscheint wünschenswert. Die heutigen Strukturen (Sortenzulassung etc.) reichen aber nicht aus, um ein Langzeitmonitoring zu veranlassen.



Schema 8: Vorschläge zur Institutionalisierung: (1) Urs Niggli (FiBL); (2) Klaus Ammann (Botanischer Garten); (3) FAL-Reckenholz; (4) SRU (1998).

Empfehlungen «Institutionalisierung»

Die Organisationsstruktur des Langzeitmonitorings verlangt nach einer zentralen Bundesstelle, die beim BUWAL anzusiedeln ist. Die zentrale Bundesstelle organisiert, koordiniert, standardisiert und registriert die Langzeitmonitoringprogramme.

Es ist abzuklären, inwieweit mittels Fallstudien eine optimale Institutionalisierung und Detaildurchführung des Langzeitmonitoring zu evaluieren ist.

Zur Festlegung der Durchführungsorgane oder Überwachungsorgane bedarf es der Absprache zwischen massgebenden Akteuren (Bund, Kantone, Eidg. Forschungsanstalten, Verantwortliche bestehender Monitoringprogramme, Naturschutzverbände etc.).

Die Resultate des Langzeitmonitorings müssen der Öffentlichkeit jederzeit zugänglich sein.

8. Fallbeispiele

8.1 Insektenresistenter Raps

8.1.1 Agronomischer Bedarf

Raps (*Brassica napus*) ist in den letzten dreissig Jahren zu einer ökonomisch interessanten Pflanze geworden. In der Schweiz hat sich Anbaufläche seit 1960 verdreifacht. Die Ausdehnung hat jedoch das Schädlingsproblem verschärft. So verursachen Rapsglanzkäfer, Rapsstengelrüssler und Rapserdflöhen beträchtliche Schäden in den Rapskulturen¹². Die gegenwärtige Bekämpfung der Schadinsekten ist unbefriedigend, da breit wirksame Insektizide gespritzt werden, die auch Bienen und andere Nützlinge beeinträchtigen. Die Entwicklung von insektenresistenten Rapssorten verspricht, die Situation zu verbessern. Im integrierten Anbau werden diese Sorten eine wichtige Rolle spielen (Evans & Scarisbrick 1994) – nicht zuletzt auch deshalb, weil sie einen ökonomischen Vorteil bringen. Fallen die Spritzungen weg, sparen Landwirte Arbeitsstunden und die Kosten für die Insektizide. Schmid et al. (1996) gehen davon aus, dass die Landwirte in der Schweiz nach einer Zulassung die gentechnisch veränderten, insektenresistenten Sorten anbauen werden.

8.1.2 Insektenresistente Sorten in der Entwicklung

Raps ist nach Mais die Kulturpflanze, die am häufigsten gentechnisch verändert wird. Die ersten transgenen Rapssorten sind in den USA und Kanada bereits kommerzialisiert. Etliche weitere Sorten werden zur Zeit in Feldversuchen getestet – darunter auch insektenresistente. Die OECD-Datenbank gibt jedoch nur bei drei Sorten an, mit welchen Genen die Resistenz erzeugt werden soll (OECD 1998):

- Cysteinproteinase Inhibitor (INRA; Frankreich)
- Trypsin-Inhibitor von *Vigna unguiculata* (Agricultural Genetics; UK)
- NPTII – CryIAC – Proteinase-Inhibitor (University of Chicago, USA)

In der Literatur findet sich eine weitere transgene Rapssorte, die das CryIAC-Gen von *Bacillus thuringiensis* in ihrem Genom trägt (Stewart et al. 1996).

Das CryIAC-Toxin richtet sich vor allem gegen die Motte *Plutella xylostella*, die in den USA und Kanada zu den Hauptschädlingen von Raps zählt. In Europa spielt die Motte nur eine marginale Rolle (Hokkanen & Wearing 1995). Hier sind es fast ausschliesslich Käferarten, die Ernteverluste verursachen. Das CryIAC-Toxin ist jedoch Lepidopteren-spezifisch und wirkt nicht gegen Käfer (Schütte & Riede 1998). Endotoxine wie CryIB, CryIII oder CryV hingegen sind für Käfer giftig (Deml & Dettner 1998). Es ist daher anzunehmen, dass in Zukunft Bt-Rapssorten hergestellt werden, die für die Schädlingsprobleme in Europa eine Lösung bieten könnten.

Neben den Bt-Toxinen sollen auch Proteinase-Inhibitoren die Schädlinge in Schach halten. Diese pflanzlichen Proteine weisen ein breiteres Wirkspektrum auf als die Bt-Toxine und wirken auch gegen Käferarten. Rapssorten mit inserierten Proteinase-Inhibitor-Genen könnten daher für Schweizer Landwirte attraktiv sein.

¹² Rapsstengelrüssler (*Ceutorhynchus napi*), Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) und Rapserdflöhen (*Psylliodes chrysocephala*) sind in der Schweiz die wichtigsten Schädlinge in Rapskulturen. Eine geringere Rolle spielen Kohlerdflöhe (*Phyllotreta*-Arten), Rapsblattwespe (*Athalia rosae*), verschiedene Rüssler (*Ceutorhynchus*-Arten), Schotenmücke (*Dasineura brassicae*) und Mehlig Kohlblattlaus (*Brevicoryne brassicae*) (Häni et al. 1992).

8.1.3 Beobachtungsgrößen des Langzeitmonitorings

Verwilderung

Raps hat einen mediterranen Ursprung und ist gut angepasst an mitteleuropäische Bedingungen. Die Dormanz seiner Samen und die Anpassung der Keimfähigkeit an den Jahreszyklus erinnern an Eigenschaften von Wildpflanzen. So wächst Raps auch ausserhalb des Ackers. Ruderalraps findet man in unterschiedlichen geographischen Regionen wie der Schweiz (Lauber & Wagner 1992), Deutschland (Eckelkamp et al. 1997a), England (Crawley et al. 1993) oder USA (Hancock et al. 1996). Umstritten bleibt jedoch, ob Raps bereits ein von den Kulturlächen unabhängiges Areal besetzt. Die Neigung zur Verwilderung ist auf jeden Fall gegeben. Daher sollte mit der Möglichkeit einer Etablierung gerechnet werden (Tomiuk et al. 1996).

Wenn bereits konventionelle Rapssorten zur Auswilderung tendieren, stellt sich bei gentechnisch veränderten Sorten die Frage, ob Transgene diese Neigung noch verstärken. Linder (1998) und Linder & Schmitt (1995) zeigen für Rapssorten, deren Ölzusammensetzung verändert ist, dass Transgene Samenruhe und Keimrate beeinflussen können – zwei Eigenschaften, die auch auf die Verwilderungstendenz einwirken. Crawley et al. (1993) und Fredshavn et al. (1995) verglichen die Fitness von herbizidtoleranten, antibiotikaresistenten bzw. männlich-sterilen Rapssorten mit der Kondition der nicht-transformierten Sorten. In keinem der Fälle konnten sie eine signifikant erhöhte Fitness der transgenen Sorten beobachten¹³. Die untersuchten Transgene haben jedoch kaum eine ökologische Bedeutung. Eine Insektenresistenz dürfte in dieser Hinsicht weitaus problematischer sein. Stewart et al. (1997) verglichen Bt-Raps mit der herkömmlichen Sorte. Sie fanden, dass die transgenen Pflanzen bei Schädlingsbefall in natürlicher Vegetation besser überlebten als die Elter-Pflanzen. Die Autoren der Studie schliessen mit den Worten: «An effect seen in a small experiment such as this raises concern about the large-scale releases into the environment of commercialized plants. A system for monitoring the effects of fitness related transgenes may be desirable to assay long-term effects.»

Pollenflugdistanzen

Rapspollen werden via Wind und Insekten¹⁴ verbreitet, wobei die Windbestäubung eher unbedeutend ist (Hancock et al. 1996; Rogers & Parkes 1995). Verschiedene Arbeitsgruppen haben untersucht, wie weit Rapspollen transportiert werden. Während die einen Wissenschaftler die Pollenkonzentration in der Luft massen (Timmons et al. 1995; McCartney & Lacey 1991) ermittelten andere die Auskreuzungsfrequenzen in verschiedenen Distanzen vom Rapsfeld (vgl. Tabelle 6). Die Resultate sind unterschiedlich und aus methodischen Gründen auch kaum vergleichbar. Dennoch lässt sich sagen, dass ein grosser Teil der Pollen in der nächsten Nähe des Feldes niedergeht. So fanden Lavigne et al. (1998), dass die Hälfte der Pollen, die eine einzelne Rapspflanze bildet, innerhalb von drei Metern Entfernung niedergeht. McCartney & Lacey (1991) massen sechs Meter vom Feldrand entfernt eine Pollenkonzentration, die um 77 % reduziert war gegenüber der Konzentration am Feldrand. Diese Resultate können aber nicht darüber hinweg täuschen, dass das Extrem der Verbreitung sehr viel weiter ist und kaum exakt bestimmt werden kann. Das zeigen einerseits die Versuche von Timmons et al. (1995) und Darmency & Renard (1992), die auch in 800 bzw 2500 Metern Entfernung noch Auskreuzungen feststellten (vgl. Tabelle 6). Andererseits ist Raps vor allem insektenbestäubt. Und Insekten können Pollen bis zu einem Kilometer weit transportieren (Devlin & Ellstrand 1990; Ellstrand & Marshall 1985; beide zitiert in Hancock et al. 1996). Zudem kann der Samen des Rapses durch Tiere oder auch durch Verluste beim Transport der Ernte weit verbreitet werden und somit an Orten keimen, die der Pollen nie erreichen würden.

Pollenflugdistanzen und Auskreuzungsfrequenzen sind nicht im Rahmen des Langzeitmonitorings zu bestimmen. Das geschieht auf der Ebene der Begleitforschung. Die Daten geben jedoch einen Anhaltspunkt, in welchem Umkreis des Rapsfeldes man nach hybriden Wildpflanzen suchen sollte (vgl. Abschnitt 5.2).

¹³ Eine Kritik der Crawley Versuche findet sich bei Weber (1995), Parker & Bartsch (1996) und Sinemus (1994).

¹⁴ Rapsblüten werden vor allem von Honigbienen besucht. Imker stellen ihre Bienenkästen häufig neben Rapsfelder, da die Ölpflanze eine besonders gute Tracht bietet. Neben Honigbienen tragen auch Schmal- und Mauerbienen sowie Schwebfliegen und Schmetterlinge Rapspollen von Blüte zu Blüte (Eckelkamp et al. 1997a).

Experiment	Distanz (m)	Auskreuzungs- frequenz (%)	Transgen	Quelle
Mantelsaat	1m 3m 12m 24m 36m 47m	1.5 % 0.4 % 0.02 % 0.004 % 0.001 % 0.0003 %	Ja	Scheffler et al. 1993
Mantelsaat	11m	0.012 %	Ja	Paul et al. 1995
Mantelsaat	1m 16m 32m	0.1 % 0.001 % 0.001 %	Ja	Pauk et al. 1995
Isolation	46m 137m 366m	(2.1 %) (1.1 %) (0.6 %)	Nein	Stringham & Downey 1982
Isolation	200m 400m	0.016 % 0.004 %	Ja	Scheffler et al. 1995
Isolation	100m 360m	0.5 % 3.7 %	Nein	Timmons et al. 1996
Isolation	1500m 2500m	(1.2 %) (0.08 %)	Nein	Timmons et al. 1995
Isolation	800m	0.1 %	Nein	Darmency & Renard 1992

Tabelle 6: Auskreuzungsdistanzen bei Raps (aus Schütte 1998; verändert). *Mantelsaat:* Die Flächen um die Pollendonorpflanzen sind kontinuierlich bewachsen, in der Regel mit den Rezeptorpflanzen; *Isolation:* Zwischen Pollendonor- und Rezeptorpflanzen befindet sich eine freie, abgemähte Fläche; *Klammer:* Auskreuzungsraten, die als wenig abgesichert angesehen werden und vorsichtig zu bewerten sind.

Auskreuzung, Bildung von Hybriden

Raps ist hinsichtlich der Ausbreitung der Transgene eine problematische Kulturpflanze. Das können auch die Meinungen von Ammann et al. (1996) und Raybold & Gray (1993) nicht wettmachen. Sie halten die Hybridisierungswahrscheinlichkeit bei Raps für gering¹⁵. Betrachtet man jedoch die mittlerweile zahlreich vorhandenen Daten (zusammengefasst in Gerdemann-Knörck & Tegeder 1997; OECD 1997; Eckelkamp et al. 1997a; Scheffler & Dale 1994), so lässt sich folgendes sagen: Wird transgener Raps über mehrere Jahre hinweg grossflächig angebaut, muss mit der Bildung von Hybriden gerechnet werden.

¹⁵ Raybold & Gray (1993) machen eine dreiteilige Einstufung: minimale (I), geringe (II) und hohe (III) Hybridisierungswahrscheinlichkeit. Raps fällt bei ihnen in Gruppe II. Amman et al. (1996) teilen die Kulturpflanzen in fünf Risikokategorien: Kein Effekt (1), minimaler Effekt (2), geringer aber lokaler Effekt (3), beträchtlicher aber lokaler Effekt (4) und beträchtlicher und weitverbreiteter Effekt (5). Raps fällt hier in die Kategorie 3.

Potentieller Kreuzungspartner	Literatur
Ackersenf (<i>Sinapis arvensis</i>)	Lefol et al. (1996); Bing et al. (1996a); Bing et al. (1995); Chèvre et al. (1995); Leckie et al. (1993), Kerlan et al. (1992); Bing et al. (1991)
Französische Rampe (<i>Erucastrum gallicum</i>)	Warwick & Wall (1998); Lefol et al. (1997)
Garten-Rettich (<i>Raphanus sativus</i>)	Jacot & Jacot (1994); Scheffler & Dale (1994)
Gemüse-Kohl (<i>Brassica oleracea</i>)	Kerlan et al. (1992)
Graukohl (<i>Brassica adpressa</i>)	Lefol et al. (1995); Eber et al. (1994); Lefol et al. (1991)
Hederich (<i>Raphanus raphanistrum</i>)	Darmency et al. (1998); Chèvre et al. (1998); Chèvre et al. (1997); Lefol et al. (1997); Baranger et al. (1995); Darmency et al. (1995); Eber et al. (1994)
Mauer-Doppelsame (<i>Diplotaxis muralis</i>)	Ringdahl et al. (1987)
Raukenarten (<i>Sisymbrium spec.</i>)	Förster et al. (1998); Schütte (1998)
Rübsen (<i>Brassica rapa</i>)	Scott & Wilkinson (1998); Metz et al. (1997); Jorgensen et al. (1996); Mikkelsen et al. (1996); Jorgensen & Andersen (1994)
Salatrauke (<i>Eruca sativa</i>)	Scheffler & Dale (1994); Jacot (1994)
Sareptasenf (<i>Brassica juncea</i>)	Jorgensen et al. (1996); Frello et al. (1995); Bing et al. (1991)
Schwarzer Senf (<i>Brassica nigra</i>)	Kerlan et al. (1992)
Weisser Senf (<i>Sinapis alba</i>)	Jacot & Jacot (1994); Scheffler & Dale (1994)

Tabelle 7: Kreuzblütler, die als mögliche Hybridisierungspartner von Raps diskutiert werden.

Raps ist eine Problempflanze, weil es viele verwandten Wildarten gibt, die potentielle Hybridisierungspartner sind. Jacot & Jacot (1994) erwähnen elf in der Schweiz wachsende Kreuzblütengewächse, die mögliche Kreuzungspartner des Raps sind. Die Liste muss aufgrund neuerer Erkenntnisse erweitert werden. Nach Warwick & Wall (1998) und Lefol et al. (1997) kann Raps auch mit der Französischen Rampe (*Erucastrum gallicum*) hybridisieren. Zudem werden auch Raukenarten als mögliche Kreuzungspartner diskutiert (Förster et al. 1998; Schütte 1998). Nicht alle der in Tabelle 7 aufgeführten Brassicaceae-Arten hybridisieren gleich erfolgreich mit Raps (siehe Daten in Gerdemann-Knörck & Tegeder 1997; OECD 1997; Eckelkamp et al. 1997a; Scheffler & Dale 1994). Dennoch sollten alle potentiellen Hybridisierungspartner während des Langzeitmonitorings untersucht werden. Brückenbildungen zwischen den Arten könnten nämlich erlauben, dass Transgene sich auch in Partnern ausbreiten, die mit Raps nur schlecht oder gar nicht hybridisieren. Welche Transferbrücken zwischen Arten der Familie Brassicaceae bestehen, ist jedoch nicht genau bekannt.

Horizontaler Gentransfer

Ob sich Raps bezüglich horizontalem Gentransfer von anderen Arten unterscheidet, lässt sich kaum beantworten. Vermutlich ist es Zufall, dass gerade bei Raps Resultate vorliegen, die auf einen möglichen Gentransfer auf Mikroorganismen hinweisen. So berichten Hoffmann et al. (1994) von einer möglichen Genübertragung auf *Aspergillus niger*. In einem weiteren Pilz (*Plasmidiophora brassicae*) ist

man ebenfalls auf Rapssequenzen gestossen (Buhariwalla & Mithen 1995; Bryngelsson et al. 1988). Und schliesslich fand man Rapstransgene auch schon in Mikroorganismen, die man aus dem Darm von Honigbienen isolierte (Braun et al., in Vorbereitung).

Es wird angenommen, dass der Gentransfer pflanzlicher Transgene auf Mikroorganismen ein seltenes Ereignis sei (Nielsen et al. 1998). Dies und die Vielzahl denkbarer Empfängerorganismen machen es schwierig, den horizontalen Gentransfer direkt zu monitoren (vgl. Abschnitt 5.6).

Zielorganismen

Der Anbau transgener insektenresistenter Rapsorten wird von einem «pest management» begleitet, das die Entwicklung resistenter Schädlinge verhindern soll. Hierzu gehört ein Resistenzmonitoring (vgl. Abschnitt 5.6). Das heisst, dass während der ganzen Anbauphase die Zielorganismen untersucht werden müssen.

Einfluss auf Nichtziel-Organismen

Die Wirkung des insektenresistenten Raps auf Nichtziel-Organismen wird ebenfalls Bestandteil des Langzeitmonitorings sein (vgl. Abschnitt 5.6.). Dabei sollten verschiedene Organismen beobachtet werden.

Raps ist für Honig- und Wildbienen eine wichtige Honigquelle. Da Bienen mit ihren Bestäubungsleistungen eine wichtige Funktion in Agrar- und Ökosystemen besetzen, sollte der Einfluss der Transgene auf die Bestäuber beobachtet werden. Die Wirkung auf Honigbienen wird zwar bereits vor der Zulassung untersucht, aber diese Versuche lassen keine Aussagen über Langzeitr Risiken zu.

Wie Resultate aus der Risikoforschung zeigen, kann das Transgen unter Umständen über die Nahrungskette auf Nützlinge wirken (Hilbeck et al. 1998; Birch et al. 1997). Deshalb sollten auch das Schicksal von Organismen, die sich von Rapsschädlingen ernähren, verfolgt werden.

Auch Bodenorganismen sind zu beobachten. Das Produkt des Transgens könnte auch hier unerwünscht wirken und die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigen.

Da der transgene Raps bzw. seine Samen von grösseren Tieren gefressen werden z.B. Rehe und verschiedene Vögel), sollten diese Tiere im Langzeitmonitoring berücksichtigt werden. Zudem gilt es auch die Tiere (karnivore Kleinsäuger, Vögel) zu berücksichtigen, die die Rapsschädlinge fressen.

Parameter	Phäno- und genotypische Stabilität	Verwilderung	Auskreuzung	Resistenz	Nützlinge	Nichtziel-Organismen	Bodenfruchtbarkeit	Horizontaler Gentransfer
Wen	Transgener Raps	Transgener Raps	Ackersenf, Rübsen, Kohl, Hederich usw., Nichttransgener Raps	Rapsglanzkäfer, Rapsstengelrüssler, Rapserdfloh	Honig-, Wildbienen, weitere Bestäuber,	Rehe, Vögel, Bodentiere, Mikroorganismen	Bioindikatoren: Collembolen, Nematoden, Lumbriziden, Mikroorganismen	Bodenbakterien, Endophyten, Bodenpilze, Krankheitserreger, Magendarmbakterien von Bienen und anderen Nützlingen
Wo	Auf dem Testfeld	Auf dem Feld: Ausfallraps Grossräumig: Distanz, die von Samen zurückgelegt werden kann	Auf dem Testfeld / 2.5 km um das Testfeld (Reichweite der Pollen)	Testfeld und anliegende Bereiche	Testfeld; Auskreuzungspopulationen	Grossräumig	Testfeld, insbesondere Rhizosphäre	Testfeld, Boden, Rhizosphäre, Phyllosphäre; Magendarmtrakt von Rehen, Vögeln, Bienen, Nützlingen...
Wann	Ab Inverkehrbringen/ regelmässig bei unterschiedlichen Bedingungen	Ab erstem Jahr nach Inverkehrbringen	Vor Inverkehrbringen: Kartierung Ab Inverkehrbringen: während Reifezeit; während ganzem Monitoringprogramm	Ab Inverkehrbringen während den verschiedenen Zyklen der Schädlinge	Ab Inverkehrbringen	Ab Inverkehrbringen	Vor Inverkehrbringen: Aufnahme des Zustandes Ab Inverkehrbringen: regelmässig	Ab Inverkehrbringen
Wie	Molekularbiologische Methoden	Kartierung	Phänotypische und molekularbiologische Methoden	Abundanz; Einsammeln von Schädlingen, dann Test im Labor	Abundanz, Reproduktionserfolg	Abundanz, Verhalten, Reproduktionserfolg	Bodenzusammensetzung, Indikatoren für mikrobielle Aktivität	Molekularbiologische Methoden

Tabelle 8: Beobachtungsparameter für ein Langzeitmonitoring transgener insektenresistenter Rapsorten.

8.1.4 Szenario einer langfristigen Überwachung

Januar 2006:

Das Bundeamt für Landwirtschaft gibt grünes Licht für den Anbau einer gentechnisch veränderten insektenresistenten Rapsorte, verknüpft seine Zustimmung jedoch mit der Auflage, dass der Gesuchsteller ein geeignetes Überwachungsprogramm ausarbeitet. Das BLW verfügt, dass der transgene Raps erst dann ausgebracht werden darf, wenn die Voraussetzungen für das Langzeitmonitoring geschaffen sind.

Zusammen mit den Landwirtschaftsverbänden sucht das BLW Landwirte, die sich bereit erklären, ihre Flächen für das Langzeitmonitoring zur Verfügung zu stellen. Die Landwirte werden vertraglich verpflichtet, während der ganzen Dauer des Langzeitmonitorings in der vereinbarten Fruchtfolge den transgenen Raps anzubauen. Zudem wird festgehalten, dass sie auf einem vergleichbaren Feld nicht-gentechnisch veränderten Raps in derselben Fruchtfolge aussäen.

März 2006:

Der Gesuchsteller reicht dem BUWAL, der zentralen Koordinationsstelle, einen Vorschlag für ein Überwachungsprogramm ein. BUWAL, EFBS und das Durchführungsorgan beurteilen den eingereichten Vorschlag, bringen Änderungen an und verabschieden letztendlich ein Programm. Die Planung wird in Angriff genommen, die ersten Vorbereitungen werden getroffen. Konventionelle Monitoringprogramme und bereits laufende Überwachungen transgener Pflanzen werden auf ihre Eignung überprüft, dem Langzeitmonitoring des transgenen Raps nützliche Daten zu liefern.

April – September 2006:

Die Datenerhebung beginnt: Die vertraglich festgelegten Anbauflächen und ihre Umgebung werden floristisch, faunistisch und bodenkundlich charakterisiert und kartiert. Die Daten werden zentral vom BUWAL gesammelt.

Die Datenerhebung erfolgt so breit wie möglich. Schwerpunkte liegen in den folgenden Bereichen:

Resistenzmonitoring: Das Grundniveau der Suszeptibilität innerhalb der Schädlingspopulationen (Rapsglanzkäfer, Rapsstengelrüssler oder Rapsdelfloh) wird bestimmt. Dazu sammelt man eine ausreichende Anzahl dieser Schadinsekten und setzt sie im Labor unterschiedlichen Dosen des Toxins aus (nach Pohl-Orf & Schuphan 1998).

Auskreuzung: Die Testfelder sowie deren Umgebung werden floristisch kartiert. Der Raster ist dabei möglichst eng zu legen, der Radius der Umgebung der Felder möglichst gross. Besondere Aufmerksamkeit wird den Kreuzblütlern geschenkt, die mit dem transgenen Raps hybridisieren könnten (inklusive «verwilderte» Rapsbestände).

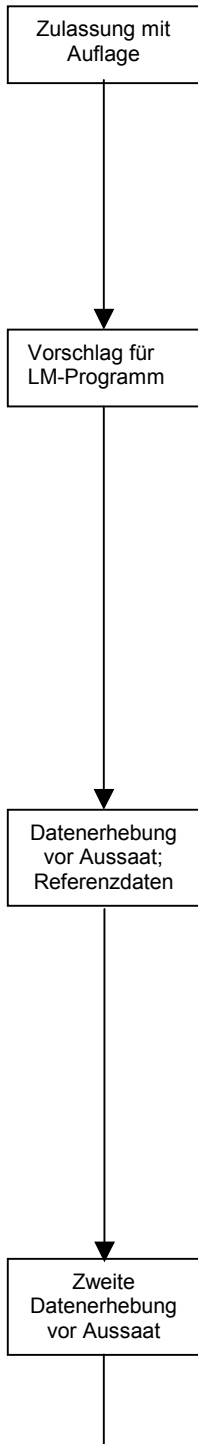
Nichtziel-Organismen: Die im Testgebiet (Feld plus Umgebung) lebenden Tierpopulationen werden aufgenommen.

August/September 2006:

Aussaattermin des Raps: Das BLW bestimmt, mit der Aussaat des transgenen Raps noch ein Jahr zu warten, um noch mehr Daten zu sammeln bzw. die Datenerhebung abzuschliessen¹⁶.

Januar – September 2007:

Wie ein Jahr zuvor werden die vertraglich festgelegten Anbauflächen und ihre Umgebung floristisch, faunistisch und bodenkundlich charakterisiert und kartiert. Die gesammelten Daten werden verarbeitet und in einer zentralen Datenbank, die übers Internet auch der Öffentlichkeit zugänglich ist, archiviert. Die Daten dienen als Referenz, um eventuelle Veränderungen beobachten und bewerten zu können.



¹⁶ Eine nur zweijährige Aufnahme des Zustandes, der vor dem Anbau herrscht, ist unbefriedigend. Aber vermutlich dürfte eine länger dauernde Charakterisierung und Kartierung, die auch natürliche Schwankungen feststellen könnte, an der Machbarkeit scheitern.



August/September 2007:

Der transgene Raps wird erstmals ausgesät. In der Nähe der Testfelder werden Referenzflächen mit nicht-gentechnisch verändertem Raps angelegt.

Raps läuft im September auf und beginnt im Oktober und November Rosetten zu bilden. In diesem Entwicklungsstadium verbringt er den Winter. Während dieser Zeit werden vermutlich noch keine Daten erhoben.

März – August 2008:

Der Raps beginnt im März wieder zu wachsen, bildet im April die ersten Knospen, blüht im Mai und macht im Juni dann Schoten, die einen Monat später reif sind.

Wie in den vorangegangenen beiden Jahren werden die vertraglich festgelegten Anbauflächen und ihre Umgebung wiederholt floristisch, faunistisch und bodenkundlich charakterisiert und kartiert.

Während dieser ganzen Periode wird die phänotypische Stabilität der transgenen Pflanzen gemessen. Dazu wird mit molekularbiologischen Methoden ermittelt, wie das Transgen in den relevanten Geweben zu verschiedenen Zeitpunkten und bei unterschiedlichen Umweltbedingungen exprimiert wird.

Wie in den Erhebungen vor der erstmaligen Aussaat des transgenen Raps wird wiederum die Suszeptibilität der Schädlingspopulationen bestimmt. Dies geschieht auf der Test- und Referenzfläche sowie in der Umgebung dieser Felder.

Im Testfeld selbst wird die Populationsdichte der Schädlinge erhoben. Um sicher zu gehen, dass das Transgen nicht auch andere Insekten schädigt, werden auch eventuelle Änderungen in der Abundanz von Nichtziel-Organismen untersucht. Dazu gehören zum Beispiel die Erhebung der Populationsdichte blütenbesuchender Insekten und der Abundanz relevanter zoophager Käfer oder Spinnen. Die erhobenen Daten werden mit den Referenzdaten verglichen.

Für die Untersuchung der Wirkung auf Honigbienen stellen Imker Bienenstöcke möglichst nah an die Rapsfelder. Die Abundanz und der Reproduktionserfolg der Honigbienen am transgenen Raps werden mit den entsprechenden Daten der Referenzfläche verglichen.

Im Testfeld wird beobachtet, ob Sekundärparasiten die Nische der erfolgreich bekämpften Schädlinge einnehmen können.

Ausserhalb der Testfläche wird beobachtet, ob die zu bekämpfenden Schädlinge ausweichen und einen erhöhten Druck auf nichttransgene Rapsfelder und Ruderalgesellschaften¹⁷ bewirken.

Zum Zeitpunkt der Ernte: Liegen in der Umgebung der Testfelder Äcker, die mit nicht-gentechnisch verändertem Raps bebaut sind, so werden Samen dieser Rapspflanzen gesammelt und im Labor auf das Vorhandensein des Transgens überprüft. Das gleiche wird mit Samen aus Rapsbeständen gemacht, die sich ausserhalb der Kulturlächen befinden.

Nach der Blüte: In den Testfeldern sowie deren Umgebung werden Samen von Kreuzblütlern gewonnen, die mögliche Hybridisierungspartner des Raps sind. Mit molekularbiologischen Methoden kann das Transgen in diesen Samen nachgewiesen werden.

Um die Wirkung auf den Boden zu überprüfen, werden im Test- sowie im Referenzfeld entsprechende Daten erhoben (Populationsdichte von Bioindikatoren; Persistenz des Transgenprodukts, usw.).

September - Dezember 2008:

Verschiedene Organismen aus der Umgebung der Testfelder werden untersucht, ob sie das Transgen aufgenommen haben: z.B. Bodenbakterien und -pilze aus den Testfeldern, Darmbakterien von Honigbienen, die mit dem transgenen Raps Kontakt hatten.

Die während des ersten Jahres gesammelten Daten werden ausgewertet und auf der Langzeitmonitoring-Homepage veröffentlicht.

¹⁷ Da Rapsstengelrüssler, Rapserrdfloh und Rapsglanzkäfer polyphag sind, könnten auch Wildpflanzen von einem Ausweichen der Schädlinge betroffen sein.

Zweites Jahr der
Überwachung

Verwilderung

Durchwuchs

Genflucht in
Wildarten

Innerartlicher
Genfluss

Drittes Jahr der
Überwachung

Verwilderung

Durchwuchs

Genflucht in
Wildarten

Inner. Genfluss

März – August 2009:

Auf den Test- und Referenzfeldern des letzten Jahres wachsen die für die Fruchtfolge vereinbarten Kulturpflanzen. Transgener Raps wird hier in diesem Jahr nicht angepflanzt. Denkbar ist, dass zusätzliche Test- und Referenzfelder gewählt werden, die die Lücke schliessen. Auf diesen Feldern würde dann das Programm des vorangegangenen Jahres wiederholt.

In der Umgebung der Testfelder sowie entlang der Transportwege der Rapserten wird nach kulturflüchtigen Rapspflanzen gesucht. Gewebe aus diesen Pflanzen wird im Labor molekularbiologisch untersucht und auf das Vorhandensein des Transgens getestet.

Auf den Testfeldern wird beobachtet, ob der transgene Raps zu einem Durchwuchsproblem werden könnte. Der in der Folgefrucht wachsende transgene Raps wird zudem daraufhin untersucht, ob er im Vorjahr mit verwandten Wildpflanzen hybridisiert hatte. Sind geeignete Marker vorhanden, geschieht dies mit molekularbiologischen Methoden. Andernfalls werden phänotypische Merkmale herangezogen.

In den Testfeldern sowie deren Umgebung werden Gewebeproben von potentiellen Kreuzungspartnern des Raps gesammelt. Die Proben werden im Labor molekularbiologisch untersucht. Mitarbeiter konventioneller Monitoringprogramme (z.B. Biodiversitätsmonitoring oder Monitoring der landwirtschaftlichen Ausgleichsflächen) sowie Mitglieder floristischer Arbeitsgemeinschaften sammeln in «ihren Gebieten» ebenfalls Gewebeproben von Kreuzblütlern und senden diese Proben zur molekularbiologischen Untersuchung ein.

Es ist anzunehmen, dass der transgene insektenresistente Raps grossflächig angebaut wird. Deshalb wird auch in den Jahren, in denen auf den Testfeldern selbst kein Raps wächst, der innerartliche Genfluss ermittelt. Dazu werden zum Erntezeitpunkt Samen von nichtgentechnisch veränderten Rapspflanzen gesammelt und molekularbiologisch untersucht. Das gleiche wird mit Samen aus Rapsbeständen gemacht, die sich ausserhalb der Kulturfleichen befinden.

September – Dezember 2009:

Die Daten werden ausgewertet und im Internet publiziert.

März – August 2010:

Auf den Test- und Referenzfeldern wachsen wiederum die für die Fruchtfolge vereinbarten Kulturpflanzen. Transgener Raps wird erst im August wieder ausgesät.

Wie in den Jahren 2006-08 werden die Test- und Referenzfelder sowie ihre Umgebung floristisch, faunistisch und bodenkundlich charakterisiert und kartiert. Die neu gewonnenen Daten werden mit den Erstaufnahmen verglichen, wesentliche Veränderungen festgehalten und beurteilt.

In der Umgebung der Testfelder sowie entlang der Transportwege der Rapserten wird nach kulturflüchtigen Rapspflanzen gesucht. Gewebe aus diesen Pflanzen wird im Labor molekularbiologisch untersucht und auf das Vorhandensein des Transgens getestet. Zudem werden die Orte, an denen bereits im Jahr zuvor kulturflüchtiger transgener Raps beobachtet wurde, auf das Wiederauftreten der Flüchtlinge hin untersucht. Tritt der transgene Raps hier wieder und ev. gehäuft in Erscheinung, so sind diese Orte in Zukunft intensiv zu überwachen und ähnlich wie ein Testfeld zu beobachten.

In den Testflächen wird wiederum nach durchwüchsigem transgenem Raps Ausschau gehalten. Dazu werden Gewebeproben molekularbiologisch untersucht.

In den Testfeldern sowie deren Umgebung werden Gewebeproben von potentiellen Kreuzungspartnern des Raps gesammelt. Die Proben werden im Labor molekularbiologisch untersucht. Mitarbeiter konventioneller Monitoringprogramme sowie Mitglieder floristischer Arbeitsgemeinschaften sammeln in «ihren Untersuchungsgebieten» ebenfalls Gewebeproben von Kreuzblütlern und senden diese Proben zur molekularbiologischen Untersuchung ein.

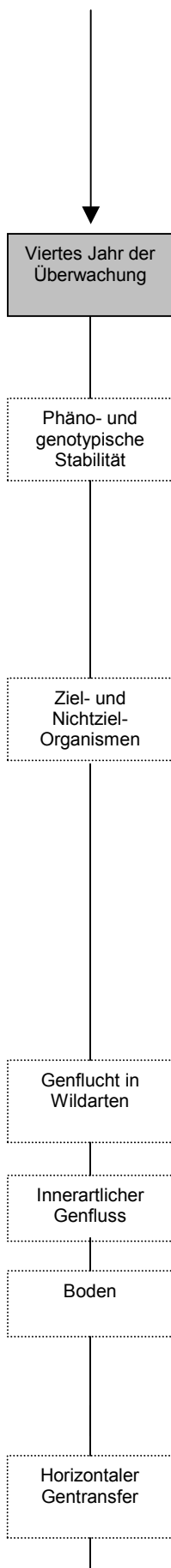
Wie in den vorangegangenen Jahren wird auch in diesem Jahr der innerartliche Genfluss beobachtet.

August/September 2010:

Auf den Testfeldern wird der transgene Raps ausgesät. Konventioneller Raps wächst auf den Referenzflächen.

September – Dezember 2010:

Die Daten werden ausgewertet und im Internet publiziert.



März – August 2011:

Auf den Test- und Referenzfeldern wächst nun wiederum Raps.

Wie in den Jahren 2006-08 und 2010 werden Test- und Referenzfelder sowie ihre Umgebung wiederum floristisch, faunistisch und bodenkundlich charakterisiert und kartiert. Die neu gewonnenen Daten werden mit den vorhandenen Daten verglichen. Wesentliche Veränderungen werden festgehalten und beurteilt.

Neben der phänotypischen wird auch die genotypische Stabilität ermittelt. Gewebe des transgenen Raps wird dazu im Labor untersucht (Kopienzahl des Transgens, Vorhandensein von Mutationen im Transgen, Expressionsmuster usw.).

Auf den Test- und Referenzflächen wird die Populationsdichte der Schädlinge gemessen. Ausgewählte Individuen werden im Labor unterschiedlichen Dosen des Toxins ausgesetzt (Bestimmung der Suszeptibilität der Schädlingspopulationen). Im Testfeld selbst wird die Populationsdichte der Schädlinge erhoben. Um sicher zu gehen, dass das Transgen nicht auch andere Insekten schädigt, werden auch eventuelle Änderungen in der Abundanz von Nichtziel-Organismen untersucht. Dazu gehören zum Beispiel die Erhebung der Populationsdichte blütenbesuchender Insekten und der Abundanz relevanter zoophager Käfer oder Spinnen. Die erhobenen Daten werden mit den Referenzdaten verglichen.

Für die Untersuchung der Wirkung auf Honigbienen stellen Imker Bienenstöcke möglichst nah an die Rapsfelder. Die Abundanz und der Reproduktionserfolg der Honigbienen am transgenen Raps werden mit den entsprechenden Daten der Referenzfläche verglichen.

Im Testfeld wird beobachtet, ob Sekundärparasiten die Nische der erfolgreich bekämpften Schädlinge einnehmen können.

Ausserhalb der Testfläche wird beobachtet, ob die zu bekämpfenden Schädlinge ausweichen und einen erhöhten Druck auf nicht-transgene Rapsfelder und Ruderalgesellschaften bewirken.

An Orten, wo in den Vorjahren kulturflüchtige Rapsbestände beobachtet wurden, werden die Wirkungen auf Ziel- und Nichtziel-Organismen ebenfalls untersucht.

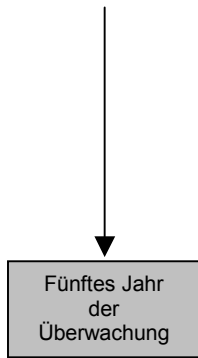
In den Testfeldern sowie deren Umgebung werden Gewebeproben sowie nach der Blüte Samen von potentiellen Kreuzungspartnern des Raps gesammelt. Die Proben werden im Labor molekularbiologisch untersucht. Mitarbeiter konventioneller Monitoringprogramme sowie Mitglieder floristischer Arbeitsgemeinschaften sammeln in «ihren Untersuchungsgebieten» ebenfalls Gewebeproben von Kreuzblütlern und senden diese Proben zur molekularbiologischen Untersuchung ein.

Zum Zeitpunkt der Ernte: Samen nicht-gentechnisch veränderter Rapspflanzen aus der Umgebung werden gesammelt und im Labor auf das Vorhandensein des Transgens überprüft.

Um die Wirkung auf den Boden zu überprüfen, werden im Test- sowie im Referenzfeld entsprechende Daten erhoben (Populationsdichte von Bioindikatoren; Persistenz des Transgenprodukts, usw.).

September - Dezember 2011:

Verschiedene Organismen aus der Umgebung der Testfelder werden untersucht, ob sie das Transgen aufgenommen haben: z.B. Bodenbakterien und -pilze aus den



Testfeldern, Darmbakterien von Honigbienen, die mit dem transgenen Raps Kontakt hatten.

Die erhobenen Daten werden ausgewertet und auf der Langzeitmonitoring-Homepage veröffentlicht. Zudem werden in einer Publikation die Daten aus den ersten vier Jahren veröffentlicht.

Das Programm wiederholt sich nun.

8.2 Sinorhizobium meliloti RMBPC-2

8.2.1 Allgemeines zum Langzeitmonitoring rekombinanter Mikroorganismen

Anders als bei transgenen Pflanzen steckt die Diskussion über ein Langzeitmonitoring mikrobieller Produkte noch gänzlich in den Anfängen. Wenn über eine langfristige Überwachung rekombinanter Mikroorganismen nachgedacht wurde oder wird, dann am ehesten im Sinne eines Freiwerdungsmonitorings¹⁸. Dem Langzeitmonitoring fehle es jedoch an Aktualität (Ingrid Nöh & Anne Miehe; mündliche Mitteilung). Tatsächlich werden in Europa erst zwei transgene Mikroorganismen vermarktet¹⁹ (Stand November 1998; RKI 1998). Und ein Blick auf die Datenbank der OECD bestätigt: rekombinante Mikroorganismen drängen nicht en masse auf den Markt; nur gerade zwei Prozent aller Freilandversuche mit gentechnisch veränderten Organismen betreffen Mikroorganismen (OECD 1998).

Dass es für kommerzialisierte rekombinante Mikroorganismen eine langfristige Überwachung braucht, dürfte unbestritten sein. Denn risikolos sind die gentechnisch veränderten Kleinstlebewesen kaum (Giddings 1998; Doyle et al. 1995). Und ihr Verhalten in der Umwelt kann weder richtig getestet noch schlüssig vorausgesagt werden – selbst wenn Mikrokosmen- und Freilandversuche so realistisch wie möglich konzipiert sind (De Lej et al. 1998). So wird das Langzeitmonitoring auch bei Mikroorganismen der letzte Schritt im Risikomanagement sein und aus einer unkontrollierten Vermarktung eine kontrollierte bzw. eine überwachte machen. (vgl. Kapitel 2). Die Zielsetzungen werden die gleichen sein, wie beim Langzeitmonitoring transgener Pflanzen: Orientierung an umwelt- und landwirtschaftspolitischen Zielen, Frühwarnsystem, Überprüfung wissenschaftlicher Hypothesen usw. (vgl. Kapitel 3). Die gesetzlichen Voraussetzungen für eine Überwachung kommerzialisierter Mikroorganismen werden vermutlich mit der Freisetzungsverordnung (FSV) gegeben sein (vgl. Kapitel 4). Ob sich das Langzeitmonitoring rekombinanter Mikroorganismen unter dem gleichen Dach institutionalisieren lässt, wie die Überwachung transgener Pflanzen, wird sich erst noch zeigen müssen. Da die Anwendungen rekombinanter Mikroorganismen vielfältig sind, dürften sie auch unterschiedliche Protagonisten auf den Platz rufen. Produkte für die Landwirtschaft – z.B. transgene Knöllchenbakterien oder *Bacillus thuringiensis*-Präparate – kann man im Rahmen des Langzeitmonitoringprogramms für transgene Pflanze überwachen. Doch wie steht es mit rekombinanten Lebendimpfstoffen, transgenen Yogurtbakterien²⁰ oder gentechnisch veränderten Mikroorganismen, die Böden sanieren und Abwasser reinigen? Wollte man auch diese Organismen überwachen, so müsste man vermutlich erst eigene Programme entwerfen.

Es ist sehr schwierig, das Überleben und die Ausbreitung von Mikroorganismen in der Umwelt zu überwachen. Mikroorganismen sind unsichtbar. Sie können Lebensformen annehmen, in denen sie nicht mehr kultivierbar sind. Und sie können eine Populationsgrösse aufweisen, die jenseits der Nachweisgrenze liegt²¹. Für ein Langzeitmonitoring ist es jedoch notwendig, Pilze, Bakterien, Viren oder Nukleinsäuren in der Umwelt zuverlässig nachweisen zu können. Entsprechende Methoden müssen also zur Verfügung stehen. Da sich das Nachweisproblem bereits beim Freisetzungsmonitoring stellt, hat man in den letzten Jahren die Entwicklung von Nachweismethoden stark gefördert (z.B. OECD 1994a/b). Ein Überblick vorhandener Methoden findet sich bei Heidenreich (1998a), Smalla & van Elsas (1996) und Bende & Lopez-Pila (1993).

¹⁸ Das Freiwerdungsmonitoring betrifft die Überwachung rekombinanter Mikroorganismen, die unabsichtlich aus Laboratorien und Produktionsanlagen entwichen sind (Siehe hierzu auch Hambleton et al. 1992).

¹⁹ Beide Produkte sind Impfstoffe (Tollwut und Pesudorabies). In den USA wurden bis zum September 1997 bereits dreizehn rekombinante Mikroorganismen kommerzialisiert (van Aken & Heidenreich 1998).

²⁰ Ein *post-Marketing* Monitoring wird auch beim Einsatz gentechnischer Methoden im Lebensmittelbereich gefordert (Katzek & Gassen 1998).

²¹ Es gibt denn auch Beispiele von Versuchen, in denen Mikroorganismen zuerst «verschwanden», dann aber überraschend wieder auftauchten (z.B. Thompson et al. 1995; Tschaepe 1994).

In Freisetzungsversuchen werden heute oft Marker verwendet, die das Monitoring erleichtern. Ob das auch bei der Vermarktung der Fall sein wird, bleibt unklar.

Das Langzeitmonitoring transgener Mikroorganismen birgt noch eine weitere methodische Schwierigkeit. Es ist nämlich unklar, wie man die Effekte beobachten soll, die von den freigesetzten Mikroorganismen ausgelöst werden könnten. Da es kaum Untersuchungen über mögliche Effekte gibt, fehlen auch die Methoden noch weitgehend (Smalla & van Elsas 1996; Doyle et al. 1995; Leung et al. 1994; Doyle & Stotzky 1993). Ohne solche Methoden wird das Langzeitmonitoring seine Aufgabe nie erfüllen können. Selbst wenn die Methoden vorhanden wären, bliebe noch ein Problem: Die Auswahl der Parameter, die überwacht werden müssen, um ökologische Effekte wahrzunehmen. Um eine richtige Auswahl treffen zu können, wären detaillierte Kenntnisse der natürlichen Ökosysteme nötig. Diese Kenntnisse fehlen aber gerade im Bereich der mikrobiellen Ökologie weitgehend. Daher dürften einige der denkbaren Effekte kaum zu entdecken sein (Smit et al. 1992). Solange eine treffende Auswahl nicht möglich ist, wird man dieses Manko dadurch kompensieren müssen, dass man möglichst viele ökologische Parameter im Langzeitmonitoring überwacht. Vermutlich wird es auch sonst nötig sein, sehr viele Parameter zu beobachten. Denn nur so kann man die unerwarteten Effekte monitoren (Doyle et al. 1991).

8.2.2 Einsatz und Risiken rekombinanter Rhizobien

Bakterien der Gattungen *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azorhizobium* und *Sinorhizobium* leben in Symbiose mit Leguminosen. Sie binden während ihrer symbiontischen Lebensweise molekularen Stickstoff aus der Luft, reduzieren ihn und machen ihn so für die Leguminosen verfügbar. Die Symbiose kann damit als Gründüngung verwendet werden und gilt in der Landwirtschaft als Alternative zu Mineral- und organischem Dünger.

Wegen ihrer grossen Bedeutung in der Nahrungsmittelproduktion sind Rhizobien ein wichtiges biotechnologisches Forschungsobjekt (OECD 1995). Seit Mitte der 80er Jahre versucht man auch mit gentechnischen Methoden Rhizobien-Stämme herzustellen, die produktiver, effizienter und kompetitiver sind als ihre Elter-Stämme (Maier & Triplet 1996). Mit Hilfe der Gentechnik will man die Fähigkeiten der Bakterien jedoch nicht nur verbessern, sondern auch erweitern. Durch das Einfügen von Toxingenen sollen die Rhizobien nun auch zu Schädlingsbekämpfungsmitteln werden (z.B. Skøt et al. 1994).

Art	Ziel
<i>Rhizobium meliloti</i>	Erhöhte N-Fixierung (54x) Monitoring (20x) Erhöhte Konkurrenzfähigkeit (1x)
<i>Rhizobium leguminosarum</i>	Erhöhte Konkurrenzfähigkeit (3x)
<i>Rhizobium fredii</i>	Erhöhte Konkurrenzfähigkeit (1x)
<i>Rhizobium etli</i>	Erhöhte Konkurrenzfähigkeit (1x)
<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	Erhöhte N-Fixierung (16x) Monitoring (8x)

Tabelle 9: Züchtungsziele, die bei den Freisetzungsversuchen mit Rhizobien in den USA angegeben werden (van Aken & Heidenreich 1998)

In den USA sind zwischen 1987 und 1997 über 100 Freilandversuche mit transgenen Knöllchenbakterien durchgeführt worden (Heidenreich 1998b, vgl. Tabelle 9). Die Datenbank des Robert-Koch-Institutes listet zehn Versuche auf, die in Europa gemacht wurden (RKI 1998). Einige dieser Freisetzungsversuche widmen sich dem Monitoring von Rhizobien. Um Daten über das Überleben, die Ausbreitung und den Gentransfer auf indigene Mikroben zu erhalten, werden den Rhizobien geeignete Marker eingeführt (Cullen et al. 1998; Schwieger et al. 1997; Dammann et al. 1996; Selbitschka et al. 1995, 1994; Cresswell et al. 1994; Sieber et al. 1994; Lentzsch & Ulrich 1994; Cebolla et al. 1993; Palomares et al. 1989).

Im September 1997 ist in den USA der erste transgene Rhizobienstamm kommerzialisiert worden: *Sinorhizobium meliloti* RPMBC-2 (ehemals *Rhizobium meliloti* RPMBC-2). Der rekombinante Stamm wird von der Firma Research Seeds vertrieben. Er enthält zusätzliche Gene von *R. leguminosarum* und *Bradyrhizobium japonicum* sowie Extrakopien eigener Gene (Heidenreich 1998b). Zudem enthält er zwei Antibiotikaresistenzgene (gegen Spectinomycin und Streptomycin). Der rekombinante Stamm wird zur Inokulation von Luzerne (*Medicago sativa*) verwendet und soll die Stickstofffixierung erhöhen. Research Seeds darf vorläufig nur eine beschränkte Menge des rekombinanten Stammes verkaufen. Die Zulassung von *S. meliloti* RMBPC-2 war innerhalb der Environmental Protection Agency (EPA; Zulassungsbehörde) sehr umstritten. In einem Bericht kritisierten EPA-Mitarbeiter, dass die mit einer Freisetzung verbundenen Risiken für die Umwelt und menschliche Gesundheit nicht adäquat abgeschätzt wurden (PEER 1995; zitiert in Schütte et al. 1998). Die Autoren des PEER-Berichts²² bemängelten vor allem, dass folgende Punkte nicht genügend untersucht wurden:

- Der Transfer der Antibiotikaresistenzgene auf Pathogene.
- Mögliche Toxizität für Menschen, die mit den Rhizobien in Berührung kommen.
- Besiedlung wilder Leguminosen durch den rekombinanten Rhizobien-Stamm, was zu invasiven Unkräutern führen könnte.
- Verlust gefährdeter Pflanzenarten und reduzierte Biodiversität als Folge konkurrenzstärkerer Unkrautarten.
- Irreversible Veränderungen in Bodenökologie und -fruchtbarkeit.

Trotz der internen Kritik hat das EPA den rekombinanten Stamm RMBPC-2 für eine beschränkte Vermarktung zugelassen. Ein Langzeitmonitoring der Umwelteffekte ist unseres Wissens nicht vorgesehen. Angesichts der bestehenden Unsicherheit wäre eine langfristige Überwachung von *S. meliloti* RMBPC-2 jedoch wünschenswert. Dabei könnten folgende Punkte berücksichtigt werden:

Persistenz und Verbreitung

S. meliloti RMBPC-2 wird zusammen mit Luzernesamen in die Felder gebracht. Damit die Bakterie ihre Aufgabe erfüllen kann, muss sie im Boden des Feldes überleben und die indigenen Rhizobienpopulationen erfolgreich konkurrenzieren. Nach getaner Arbeit dürfte *S. meliloti* RMBPC-2 weiter in den Feldern persistieren. Rhizobien können nämlich auch ohne ihre Wirtspflanzen überleben (Hirsch 1996; Hirsch & Spokes 1994). In luftgetrocknetem Boden zum Beispiel verblieben sie 19 Jahre lebensfähig. Und in sterilen Böden, die mit Nährstoffen versetzt waren, überlebten sie sogar bis zu 45 Jahre lang (Giddings 1998). Dass eine Etablierung auch unter Freilandbedingungen möglich ist, zeigt folgendes Beispiel: Im mittleren Westen der USA wurden Soja-Felder über mehrere Jahre hinweg mit einem nicht-einheimischen *Bradyrhizobium japonicum*-Stamm inokuliert. Der Stamm hat sich mittlerweile fest etabliert und verdrängt alle anderen Bradyrhizobien. Zum Schaden der Landwirte bewirkt er zudem, dass Inokulationen mit besser Stickstoff fixierenden Stämmen fehlschlagen (Heidenreich 1998a). Auch gentechnisch veränderte Rhizobien können zu einem festen Bestandteil der Bodenmikroflora werden, wie Resultate aus England zeigen: Dort überlebte *R. leguminosarum* bv. *viciae*, die ein Antibiotikaresistenzgen trägt, mehr als sechs Jahre im Feld (Hirsch 1996). Die Bakterie verblieb sogar in der Umwelt, wenn ihre Wirtspflanze (Erbse) nicht angebaut wurde. Der gleiche *R. leguminosarum* bv. *viciae*-Stamm wurde auch in Deutschland und Frankreich getestet (Döhler & Klingmüller 1988; Amarger 1988). Hier überlebte die rekombinante Bakterie nur für kurze Zeit (vgl. Tabelle 10).

²² PEER = «Public Employees for Environmental Responsibility»

Organismus	Transgen	Anfangs-zellzahl	End-zellzahl	Über-lebensdauer	Literatur
<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>trifolii</i>	luc	10^7	10^2	150	Cresswell et al. 1994
<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>	Tn5; Ar	10^4	nicht bestimmt	90	Amarger 1988
<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>	Tn5; Ar	10^4	10^2 - 10^3	>6x365	Hirsch 1996
<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>	Tn5; Ar	10^4	$<5 \times 10^2$	ca. 270	Döhler & Klingmüller 1988
<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>	Gus	10^5	10^4	>365	Hirsch 1996

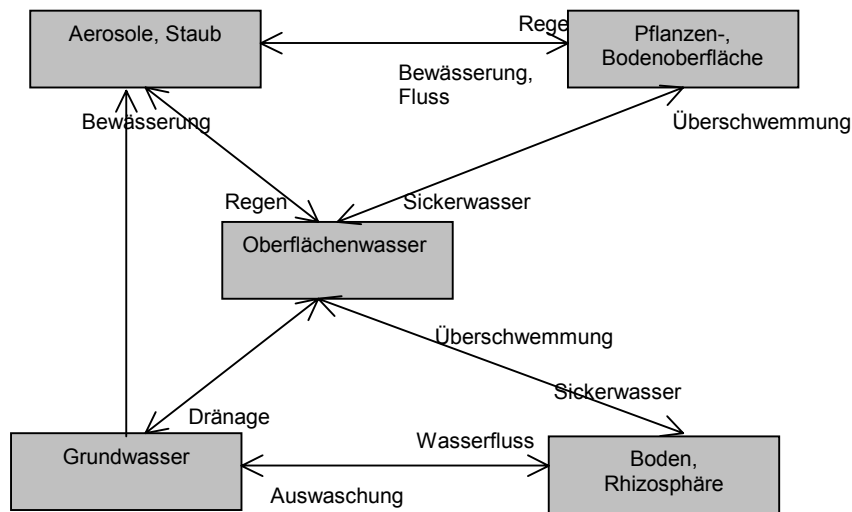
Tabelle 10: Überleben gentechnisch veränderter Rhizobien im Boden im Freiland (nach Heidenreich 1998a). Die Überlebensdauer ist in Tagen, die Zellzahl in koloniebildenden Einheit pro Gramm angegeben. Ar = Antibiotikaresistenz; luc = Luciferase; Tn5 = Transposon; Gus = alpha-Glucuronidase.

Persistiert *S. meliloti* RMBPC-2 in den landwirtschaftlichen Feldern, so erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sich der Stamm auch in Nichtziel-Ökosysteme ausbreitet. Schema 10 zeigt die abiotischen Wege, die Bakterien in einem landwirtschaftlichen Setting gehen könnten. Rhizobien wird im allgemeinen nur eine geringe Ausbreitungsfähigkeit zu gesprochen (OECD 1995, Wacek 1994; Erceg et al. 1994). *R. leguminosarum* bv. *viciae* zum Beispiel stiess 80 cm tief in den Boden vor und bewegte sich horizontal zwei Meter vom Inokulationsort fort (Hirsch & Spokes 1994). Letzteres steht im Widerspruch zu den Angaben der OECD, die meint, dass sich Rhizobien nur wenige Zentimeter vom Inokulationsort entfernen können (OECD 1995). Die rekombinanten Rhizobien dürften also kurzfristig und im «Normalfall» auf den Feldern bleiben, in die sie ausgesetzt wurden. Langfristig werden sie das kaum tun. Starke Regenfälle, Überschwemmungen oder der Abtransport von inokulierten Böden dürften dafür sorgen, dass die Rhizobien neues Gelände erobern.

Neben den abiotischen Ausbreitungswege existieren auch biotische Vektoren. Rhizobien könnten zum Beispiel von bodenlebenden Insekten verschleppt werden. Von Pseudomonaden ist bekannt, dass sie von Würmern aufgenommen und verbreitet werden können (Clegg et al. 1995, 1994). Grosse Entfernungen dürften die rekombinanten Bakterien damit noch nicht zurücklegen. Würde der Wurm aber von einem Vogel gefressen, könnten aus den Zentimetern Kilometer werden. Klar, dass dabei nur geringe Mengen Rhizobien verschleppt würden. Das gilt auch für die Verbreitung durch die Landwirte. Sie könnten die Bakterien ebenfalls über grössere Distanzen transportieren, wenn die Knöllchenbakterien an ihren Schuhen oder Kleidern kleben bleiben (OECD 1995).

Einen wichtigen Einfluss auf die Verbreitung der Rhizobien hat die Art und Weise, wie die Bakterien appliziert werden. So ist die Ausbreitungsmöglichkeit bei Sameninokula kleiner als bei einer Sprayapplikation.

Einmal ausgebracht dürfte sich *S. meliloti* RMBPC-2 im Laufe der Zeit auch in Nichtziel-Ökosysteme ausbreiten. Das Langzeitmonitoring darf sich daher nicht auf die landwirtschaftlichen Felder beschränken.



Schema 10: Mögliche Bewegungen von Mikroben in einem landwirtschaftlichen Setting (nach Lewis et al. 1996; siehe hierzu auch Natsch et al. 1996, Gillespie et al. 1995 und Handley & Webster 1995).

Horizontaler Gentransfer

Man weiss sehr wenig über die Häufigkeit, mit der stickstofffixierende Bakterien Gene austauschen (OECD 1995). Rhizobien besitzen Plasmide, sie werden von Bakteriophagen infiziert (Klaus et al. 1992) und sie können in der Umwelt Kompetenz entwickeln (Lorenz & Wackernagel 1994). Damit sind die Voraussetzungen für Konjugation, Transduktion und Transformation gegeben. Es gibt denn auch verschiedene Hinweise, dass Rhizobien eigene Gene weitergeben und fremde Gene aufnehmen können (Deng et al. 1995; Lorenz & Wackernagel 1994; Kinkle et al. 1993; Tirodimos et al. 1993; Pretorius-Guth et al. 1990; Richaume et al. 1989; Döhler & Klingmüller 1988; Schofield et al. 1987).

Bei der Überwachung von *S. meliloti* RMBPC-2 steht vermutlich nicht das Schicksal der Rhizobien-eigenen Gene im Zentrum, sondern die Verbreitung der beiden Antibiotikaresistenzgene.

Zieleffekte

Rhizobien können ihre Wirtspflanzen negativ beeinflussen, wenn sie die Ausbildung einer wirkungsvollen Symbiose verhindern (OECD 1995). Ein Beispiel aus dem OECD-Bericht: Ein ineffizienter *R. leguminosarum*-Stamm kann kompetitiver sein als seine effizienteren Verwandten. Damit verhindert er jedoch, dass eine wirkungsvolle Symbiose zu Stande kommt. Eine direkte Korrelation zwischen Kompetitivität und Effektivität gibt es nicht.

Pleiotrope Effekte können die Leistung der Rhizobien beeinflussen. So änderten sich nicht nur Morphologie und Physiologie eines *R. meliloti*-Stammes, der mit dem Transposon Tn5 mutagenisiert wurde, sondern auch seine Leistung: Die Insertion des Transposons verringerte die Stickstofffixierung und resultierte in kleinwüchsigen Luzernen (Lagares et al. 1992). Bei *B. japonicum* führte die Insertion von Tn5 zu einer reduzierten Nodulation der Sojabohnen (Liu et al. 1989). Auch die Einführung von Bt-Genen kann die Symbiose beeinflussen: Die rekombinanten *R. leguminosarum* besetzten die Nodulationstellen besser als ihre Eltern (Giddings et al. 1997).

Wie *S. meliloti* RMBPC-2 das Wachstum von Luzerne beeinflusst, wurde von Research Seeds im Vorfeld der Kommerzialisierung untersucht. Negative Einflüsse blieben unter den Versuchsbedingungen aus. Vermutlich lässt sich dieses Resultat nicht auf alle Umweltbedingungen oder alle Luzernesorten übertragen. Das Langzeitmonitoring sollte daher auch die Effektivität – den Ernteertrag – beobachten.

Der Einsatz von *S. meliloti* RMBPC-2 soll das Wachstum der Luzerne verbessern. Sollte sich der rekombinante *Sinorhizobium*-Stamm ausserhalb der Ackerflächen etablieren, so dürfte er auch hier die Wettbewerbsfähigkeit der Luzerne erhöhen. Die Luzerne, die bereits heute verwildert vorkommt (Lauber

& Wagner 1992), könnte sich noch mehr ausbreiten. Dieser Punkt sollte deshalb langfristig beobachtet werden.

Nichtzieleffekte

Bis jetzt gibt es keine Hinweise, dass gentechnische Eingriffe ungewollt den Wirtsbereich der Rhizobien ändern. Die Untersuchung eventueller Veränderungen sollte bereits vor der Kommerzialisierung stattfinden.

Was Bestandteil des Langzeitmonitoringprogrammes sein sollte, ist der Einfluss der Rhizobien auf Nichtziel-Pflanzen. Wilde Leguminosen leben ebenfalls in Symbiose mit Rhizobien. Breitet sich *S. meliloti* RMBPC-2 aus, so könnte er auch das Wachstum wilder Leguminosen beschleunigen. Die wiederum könnten zu invasiven Unkräutern werden oder andere Wildpflanzen verdrängen (PEER 1995). *S. meliloti* RMBPC-2 noduliert auch Gebräuchlicher Honigklee (*Melilotus officinalis*). Ob es noch weitere kompatible Wildarten gibt, ist uns nicht bekannt. Im Allgemeinen weiss man sehr wenig darüber, welche Rhizobienarten welche Wildleguminosen nodulieren. Dies erschwert die langfristige Überwachung wild lebender Leguminosen.

Im Allgemeinen wird angenommen, dass gentechnisch veränderte Bakterien, die über längere Zeit hinweg in grossen Mengen in der Umwelt persistieren, nützliche Mikroorganismen verdrängen könnten (Bentjen et al. 1989). Aufgrund der Erfahrungen, die mit herkömmlichen Rhizobien gemacht wurden, schätzt die OECD die Gefahr jedoch als klein ein, dass gentechnisch veränderte Rhizobien andere Mikroben verdrängen könnten (OECD 1995). Diese Einschätzung gilt aber nur für rekombinante Rhizobien, deren Leistung verbessert wurde. Wie sich toxinbildende Rhizobien verhalten, dazu existieren noch keine Erfahrungen. Da das Langzeitmonitoring auch unerwartete Effekte beobachten will, sollte der Einfluss von *S. meliloti* RMBPC-2 auf die Bodenfauna untersucht werden. Hierzu könnten Schlüsselorganismen der verschiedenen trophischen Ebenen als Bioindikatoren verwendet werden.

Eine erhöhte Stickstoffproduktion könnte die Nitratkonzentration in Grund- und Oberflächenwasser erhöhen (Tiedje et al. 1989). Zudem könnte ein verstärkter Eintrag von Stickstoff über die biologische Fixierung auch die Emission des Treibhausgases N₂O (Lachgas) beeinflussen. Wie der Einsatz rekombinanter Rhizobien Lachgasemission und Nitratauswaschung verändert, ist jedoch unklar (Heidenreich 1998b). Das Langzeitmonitoring könnte diese Wissenslücke füllen.

8.2.3 Szenario einer langfristigen Überwachung

Überwachungsstrategien für ein Freisetzungsmonitoring transgener Rhizobien finden sich bei Tappeser et al. (1995) und Selbitschka et al. (1994). Das folgende Szenario baut auf diesen beiden Arbeiten auf.

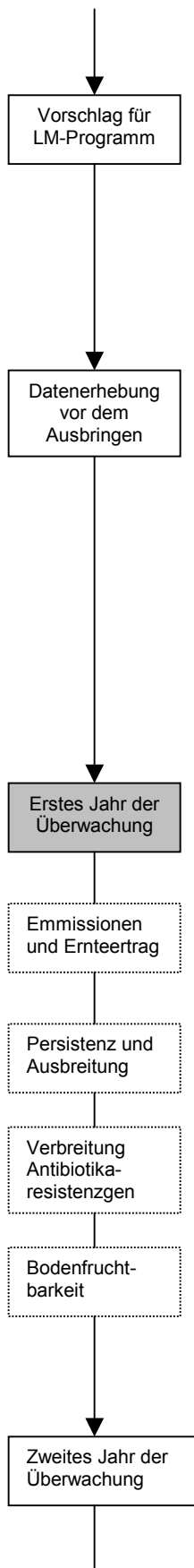
Januar 2010:

Das BUWAL gibt *S. meliloti* RMBPC-2 für die Vermakung frei, verknüpft die Zulassung jedoch mit der Auflage, dass der Gesuchsteller ein geeignetes Überwachungsprogramm ausarbeitet. Das BUWAL verfügt zudem, dass *S. meliloti* RMBPC-2 erst dann ausgebracht werden darf, wenn die Voraussetzungen für das Langzeitmonitoring geschaffen sind.

Zusammen mit den Landwirtschaftsverbänden sucht das BUWAL Landwirte, die sich bereit erklären, ihre Flächen für das Langzeitmonitoring zur Verfügung zu stellen. Die Landwirte werden vertraglich verpflichtet, während der ganzen Dauer des Langzeitmonitorings Luzerne mit *S. meliloti* RMBPC-2 anzubauen. Zudem wird festgehalten, dass sie auf einem vergleichbaren Feld Luzerne mit dem nicht-gentechnisch veränderten Parentalstamm beimpfen.

Die Vertragsflächen werden so ausgewählt, dass sie in Testgebieten liegen, die bereits im Rahmen von Langzeitmonitoringprogrammen floristisch, faunistisch und bodenkundlich charakterisiert und kartiert werden.

Zulassung mit
Auflagen



März 2010:

Der Gesuchsteller reicht dem BUWAL einen Vorschlag für ein Überwachungsprogramm ein. BUWAL, BLW, EFBS und das Durchführungsorgan beurteilen den eingereichten Vorschlag, bringen Änderungen an und verabschieden letztendlich ein Programm. Die Planung wird in Angriff genommen, die ersten Vorbereitungen werden getroffen. Konventionelle Monitoringprogramme und bereits laufende Überwachungen transgener Pflanzen und rekombinanter Mikroorganismen werden auf ihre Eignung überprüft, dem Langzeitmonitoring von *S. meliloti* RMBPC-2 nützliche Daten zu liefern.

April – September 2010:

Die Datenerhebung beginnt. Da sich die vertraglich festgelegten Anbauflächen in Testgebieten bereits laufender Monitoringprogramme befinden, reduziert sich die Datenaufnahme für den Referenzzustand vor dem Ausbringen von *S. meliloti* RMBPC-2 auf spezifische Parameter: In den Test- und Referenzfeldern sowie in ihrer Umgebung (100 Meter) werden die indigenen Rhizobienpopulationen sowie das Vorkommen von wilden Leguminosen-Arten (inklusive wilde Luzerne) ermittelt. Zudem wird untersucht, mit welcher Häufigkeit die Antibiotikaresistenzgene von *S. meliloti* RMBPC-2 (gegen Spectomycin und Streptomycin) bereits in den indigenen Bodenbakterien der Testfelder und ihrer Umgebung (inklusive Grundwasser) vorhanden sind.

In Zusammenarbeit mit Arzneimittelüberwachern werden ev. vorhandene Daten gesammelt, die die Häufigkeit von Human- und Tierpathogenen wiedergeben, die gegen die Antibiotika Spectomycin und Streptomycin resistent sind.

2011 – 2012:

Luzerne, beimpft mit *S. meliloti* RMBPC-2, wächst auf den Testfeldern. Die Referenzfelder sind mit Luzerne und dem gentechnisch unveränderten *S. meliloti* bewachsen.

Mit geeigneten Methoden werden auf den Test- und Referenzfeldern Nitratauswaschung und Lachgasemission ermittelt.

Die Ernteerträge der Testfelder werden ebenfalls mit denjenigen der Referenzfelder verglichen.

Nach der Ernte wird die Persistenz von *S. meliloti* RMBPC-2 im Boden der Testfelder ermittelt. Auch zur Ausbreitung von *S. meliloti* RMBPC-2 werden Daten gesammelt (Bodenproben der Umgebung, des Ablaufwassers). Zudem werden die Böden der Testfelder und ihrer Umgebung auf das Vorhandensein der Transgene untersucht.

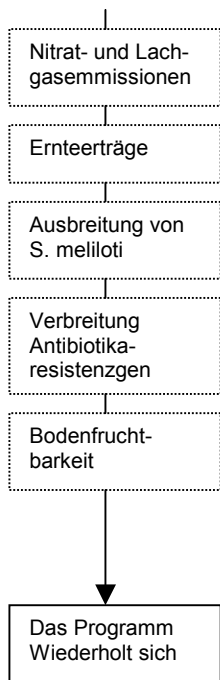
Die Verantwortlichen des NABO (Nationales Bodenbeobachtungsnetz) schicken Bodenproben an die Verantwortlichen des Langzeitmonitoring. Die Bodenproben werden auf das Vorhandensein von *S. meliloti* RMBPC-2 und der Antibiotikaresistenzgene untersucht (Daten zur Ausbreitung von *S. meliloti* RMBPC-2).

Mit geeigneten Bioindikatoren wird der Einfluss auf die Bodenlebewesen und die Bodenfruchtbarkeit überwacht.

2012 – 2013:

Luzerne, beimpft mit *S. meliloti* RMBPC-2, wächst auf den Testfeldern. Die Referenzfelder sind mit Luzerne und dem gentechnisch unveränderten *S. meliloti* bewachsen.

In den Test- und Referenzfeldern sowie in ihrer Umgebung (100 Meter) werden die indigenen Rhizobienpopulationen sowie das Vorkommen von wilden Leguminose-Arten (inklusive wilde Luzerne) ermittelt.



- { Mit geeigneten Methoden werden auf den Test- und Referenzfeldern Nitratauswaschung und Lachgasemission ermittelt.
- { Die Ernteerträge der Testfelder werden mit denjenigen der Referenzfelder verglichen.
- { Nach der Ernte wird die Persistenz von *S. meliloti* RMBPC-2 im Boden der Testfelder ermittelt. Auch zur Ausbreitung von *S. meliloti* RMBPC-2 werden Daten gesammelt (Bodenproben der Umgebung, des Ablaufwassers). Zudem werden die Böden der Testfelder und ihrer Umgebung auf das Vorhandensein der Transgene untersucht.
- { Die Verantwortlichen des NABO (Nationales Bodenbeobachtungsnetz) schicken Bodenproben an die Verantwortlichen des Langzeitmonitoring. Die Bodenproben werden auf das Vorhandensein von *S. meliloti* RMBPC-2 und der Antibiotikaresistenzgene untersucht (Daten zur Ausbreitung von *S. meliloti* RMBPC-2).
- { Mit geeigneten Bioindikatoren wird der Einfluss auf die Bodenlebewesen und die Bodenfruchtbarkeit überwacht.

Das Programm wiederholt sich. Im Laufe der Zeit wird jedoch die Umgebung der Testfelder, die in die Überwachung miteinbezogen wird, stetig vergrößert (Ausbreitung von *S. meliloti* RMBPC-2; Invasivität wilder Leguminosen und wilder Luzerne). Zudem werden in regelmässigen Abständen (vielleicht alle drei bis fünf Jahre) die Daten der Arzneimittelüberwacher aktualisiert (Ausbreitung der Antibiotikaresistenz). Weiter wird mit der Zeit auch die genotypische Stabilität der persistierenden *S. meliloti* RMBPC-2 überprüft.

Parameter	Genotypische Stabilität	Persistenz	Ausbreitung	Verwilderung Luzerne	Invasivität Wildleguminosen	Horizontaler Gentransfer	Nitrat und Lachgas-emissionen
Wen	Persistierende <i>S. meliloti</i>	<i>S. meliloti</i>	<i>S. meliloti</i>	<i>Medicago sativa</i>	<i>Melilotus officinalis</i> und andere Leguminosen	Bodenbakterien, Tier- und Humanpathogene	Luft, Gewässer...
Wo	Testfeld und Umgebung	Testfeld und Umgebung	Umgebung der Testfelder (100m); Radius wird jährlich erweitert	Umgebung der Testfelder (100m); Radius wird jährlich erweitert	Testfelder und ihre Umgebung	Schweizweit	Testfeld und Umgebung
Wann	Ab drittem Jahr der Überwachung jährlich	Ab Inverkehrbringen	Ab Inverkehrbringen	Ab Inverkehrbringen	Ab Inverkehrbringen	Ab Inverkehrbringen	Ab Inverkehrbringen
Wie	Molekularbiologische Methoden	Bodenproben, Kultivierung, Molekularbiologische Methoden	Bodenproben, Kultivierung, Molekularbiologische Methoden	Vegetationskundliche Aufnahmen	Vegetationskundliche Aufnahmen	Molekularbiologische Methoden	Physikalische Methoden

Tabelle11: Beobachtungsparameter für ein Langzeitmonitoring rekombinanter *S. meliloti* RMBPC-2.

9. Thesen

Die Studie hat den Stellenwert einer Bestandesaufnahme und gibt erste Empfehlungen zum Langzeitmonitoring ab. Beim heutigen Stand der Diskussionen zum Langzeitmonitoring bleiben noch zahlreiche Fragestellungen offen und Unsicherheiten bestehen. Insbesondere die Fragen nach der Praktikabilität verlangen noch nach umfassenden Abklärungen. Anstelle eines Schlusswortes werden hier deshalb fünf Thesen formuliert, welche problematische Aspekte des Langzeitmonitorings kritisch ansprechen und für den Fortgang der Diskussion zum Langzeitmonitoring von Bedeutung sein müssten.

I. Konsensthese:

Das Langzeitmonitoring ist zur Zeit im wesentlichen eine Worthölse und deshalb nur vorübergehend konsensfähig. Mit zunehmender Konkretisierung ist aufgrund unterschiedlicher Vorstellungen ein Dissens zu erwarten.

II. Registrierungsthese:

Ein Langzeitmonitoring setzt voraus, dass die Landwirte gesetzlich verpflichtet sind, ihre Anbauflächen zu registrieren.

III. Zulassungserleichterungsthese:

Die Einführung eines Langzeitmonitorings birgt die Gefahr, die Zulassungsdisziplin zu untergraben.

IV. Zielsetzungsthese:

Ohne strikt ökologisch orientierter Zielsetzung und Abbruchkriterien droht das Langzeitmonitoring zur Alibiübung zu werden.

V. Moratoriumsthese:

Ein wissenschaftlich hochstehendes Langzeitmonitoring setzt eine solide Kenntnis über den vorherrschenden Zustand der Ökosysteme voraus. Dieser Ausgangszustand kann nur während einem Moratorium für das Inverkehrbringen erhoben werden.

10. Literatur

- Adam, K.D. & Köhler, W.H.** (1996). Evolutionary genetic considerations on the goals and risks in releasing transgenic crops. *In: Tomiuk, J., Wöhrmann, K. & Sentker, A. (eds.), Transgenic Organisms – Biological and Social Implications*, p. 59 – 79. Birkhäuser, Basel.
- Amarger, N.** (1988). Introduction of *Rhizobium* into soils. *In: Klingmüller, W. (ed.), Risk Assessment for Deliberate Release*, p. 29 – 35. Berlin.
- Ammann, K., Rufener, P. & Jacot, Y.** (1998). Konzept und praktische Lösungsansätze zur ökologischen Begleitforschung. TA-Workshop BATS, 6.8.1998, Basel.
- Ammann, K., Jacot, Y. & Rufener Al Mazayad, P.** (1996). Field release of transgenic crop in Switzerland, an ecological risk assessment. *In: Schulte, E. & Käppeli, O. (Hrsg.), Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen*, S. 101 – 158. Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern.
- Baranger, A., Chèvre, A.M., Eber, F. & Renard, M.** (1995). Effect of oilseed rape genotype on the spontaneous hybridization rate with a weedy species: an assessment of transgene dispersal. *Theoretical and Applied Genetics* **91**: 956 – 963.
- Bartsch, D. & Haag, C.** (1996). Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen. UBA Texte 58/98, Berlin.
- Bartsch, D. & Hücking, C.** (1995). Future aspects of ecological biosafety research. *In: Landsmann, J. & Casper, R. (eds.), Key Biosafety Aspects of Genetically Modified Organisms*, p. 71 – 79. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 309.
- Bartsch, D.** (1995). Ökologische Begleitforschung zu rizomaniarresistenten Zuckerrüben. *In: Albrecht, S. & Beusmann, V. (Hrsg.), Ökologie transgener Nutzpflanzen*, S. 81 – 98. Campus, Frankfurt.
- Bechmann, G., Gloede, F. & Paschen, H.** (1988). Frühwarnung vor technickbedingten Gefahren? *In: Bungard, W. & Lenk, H. (Hrsg.), Technikbewertung*, S. 283 – 308. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- Bej, A.K., Perlin, M. & Atlas, R.M.** (1991). Effect of introducing genetically engineered microorganisms on soil microbial community diversity. *FEMS Microbiology Ecology* **86**: 169 – 172.
- Bende, M. & Lopez-Pila, J.** (1993). Lebens- und Vermehrungsfähigkeit von gentechnisch veränderten Mikroorganismen in der Umwelt: Nachweis und Wirkungen. Umweltbundesamt, Berlin.
- Bentjen, S.A., Frederickson, J.K., van Voris, P. & Li, S.W.** (1989). Intact soil-core microcosms for evaluating the fate and ecological impact of the release of genetically engineered micro-organisms. *Applied and Environmental Microbiology* **55**: 198 – 202.
- Benzler, A.** (1998). Artenmonitoring für den Naturschutz auf Bundesebene am Beispiel von Farn- und Blütenpflanzen. *In: Mieke, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen*, S. 54 – 60. UBA Berlin.
- BFS & BUWAL (Hrsg.)** (1997). Umwelt in der Schweiz 1997. EDMZ, Bern.
- Bing, D.J., Downey, R.K., Rakow, G.F.W.** (1996a). Hybridization among *Brassica napus*, *B. rapa* and *B. juncea* and their two weedy relatives *B. nigra* and *Sinapis arvensis* under open pollination conditions in the field. *Plant Breeding* **115**: 470 – 473.
- Bing, D.J., Downey, R.K., Rakow, G.F.W.** (1996b). Assessment of transgene escape from *Brassica rapa* (*B. campestris*) into *B. nigra* or *Sinapis arvensis*. *Plant Breeding* **115**: 1 – 4.
- Bing, D.J., Downey, R.K., Rakow, G.F.W.** (1995). An evaluation of the potential intergeneric gene transfer between *B. napus* and *S. arvensis*. *Plant Breeding* **114**: 481 – 484.
- Bing, D.J., Downey, R.K., Rakow, G.F.W.** (1991). Potential of gene transfer among oilseed *Brassica* and their weedy relatives. Group Consultatif International de Recherche sur la Colza GCIRC 8th International Rapeseed Congress 4, 1022 – 1027.
- Birch, A.N.E., Geoghegan, I.E., Majerus, M.E.N., Hackett, C. & Allen, J.** (1997). Interactions between plant resistance genes, pest aphid populations and beneficial aphid predators. *In: Scottish Crop Research Institute (ed.), Annual-Report 1996/97*, p. 68 – 72.
- Brandt, P.** (1998). Begleitforschung zu Freisetzungsexperimenten mit gentechnisch veränderten Pflanzen: «nice to know» oder «need to know»? *Bundesgesundheitsblatt* **12**: 530 – 535.
- Braun, P., Heimann, R., Neemann, G., Scherwass, R. & Vahabzadeh, A.** (in Vorbereitung). Konzept für ein Monitoring zu Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Nutzpflanzen. Erstellt im Auftrag des UBA Berlin.

- Braun, P.W.** (1996). Influence of transgenes on coevolutionary processes. *In: Tomiuk, J., Wöhrmann, K. & Sentker, A. (eds.), Transgenic Organisms – Biological and Social Implications*, p. 99 - 111. Birkhäuser, Basel.
- Bredemeier, M.** (1996). Langzeitbeobachtung und -bewertung von Umweltveränderungen – Methoden und Beiträge der Ökosystemforschung. *In: Bartsch, D. & Haag, C. (Red.), Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen*, S. 71 – 83. Umweltbundesamt, Texte 58/96, Berlin.
- Bryngelsson, T., Gustafson, M., Gréen, B. & Lind, C.** (1988). Uptake of host DNA by the parasitic fungus *Plasmidiophora brassicae*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* **33**: 163 – 171.
- Buhariwalla, H. & Mithen, R.** (1995). Cloning of a Brassica repetitive DNA element from resting spores of *Plasmidiophora brassicae*. *Physiol. Mol. Plant Pathol.* **47**: 95 – 101.
- Cebolla, A., Ruiz-Berraquero, F. & Palomares, A.J.** (1993). Stable tagging of *Rhizobium meliloti* with the firefly luciferase gene for environmental monitoring. *Applied and Environmental Microbiology* **59**: 2511 – 2519.
- Chèvre, A.M., Eber, F., Baranger, A., Hureau, G., Barret, P., Picault, H. & Renard, M.** (1998). Characterization of backcross generations obtained under field conditions from oilseed rape-wild radish F1 interspecific hybrids: an assessment of transgene dispersal. *Theoretical and Applied Genetics* **97**: 90 – 98.
- Chèvre, A.M., Eber, F., Baranger, A., Renard, M.** (1997). Gene flow from transgenic crops. *Nature* **389**: 924.
- Chèvre, A.M., Eber, F., Baranger, A., Kerlan, M.C., Barret, P., Festoc, G., Vallé, P. & Renard, M.** (1995). Interspecific gene flow as a component of risk assessment for transgenic Brassicas. *Acta Horticulturae* **407**: 169 – 179.
- Clegg, C.D., Anderson, J.M., Lappin-Scott, H.M., van Elsas, J.D. & Jolly, J.M.** (1995). Interaction of a genetically modified *Pseudomonas fluorescens* with the soil feeding earthworm *Octolasion cyaneum* (Lubricidae). *Soil Biology & Biochemistry* **27(11)**: 1423 – 1429.
- Clegg, C.D., van Elsas, J.D., Anderson, J.M. & Lappin-Scott, H.M.** (1994). Assessment of the role of a terrestrial isopod in the survival of a genetically modified pseudomonad and its detection using polymerase chain reaction. *FEMS Microbiology Ecology* **15**: 161 – 168.
- Crawley, M.J., Hails, R.S., Rees, M., Kohn, D., Buxton, J.** (1993). Ecology of transgenic oilseed rape in natural habitats. *Nature* **363**: 620 – 623.
- Cresswell, A., Skøt, L. & Cooksen, A.R.** (1994). The construction, detection and use of bioluminescent *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* strains. *Journal of Applied Bacteriology* **77**: 656 – 665.
- Cullen, D.W., Nicholson, P.S., Mendum, T.A. & Hirsch, P.R.** (1998). Monitoring genetically modified rhizobia in field soils using the polymerase chain reaction. *Journal of Applied Microbiology* **84(6)**: 1025 – 1034.
- Dale, P.J.** (1997). Potential impact from the release of transgenic plants into the environment. *Acta Physiologiae Plantarum* **19(4)**: 595 – 600.
- Dale, P.J.** (1995). From small-scale to large-scale releases of transgenic crops: Are there unresolved issues regarding impacts on the ecosystem? *In: BATS (Hrsg.), Safety of Transgenic Crops, Environmental and Agricultural Considerations*, p. 5 – 10. BATS, Basel.
- Dale, P.J., Scheffler, J.A. & Irwin, J.A.** (1994). The transition from small-scale field release of transgenic crop plants to their widespread use in agriculture. *In: Jones, D.D. (ed.), The Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms*, p. 57 - 67. University of California, Oakland, USA.
- Dammann-Kalinowski, T., Niemann, S., Keller, M., Selbitschka, W., Tebbe, C.C. & Pühler, A.** (1996). Characterization of two bioluminescent *Rhizobium meliloti* strains constructed for field releases. *Applied Microbiology and Biotechnology* **45**: 509 – 512.
- Darmency, H., Lefol, E. & Fleury, A.** (1998). Spontaneous hybridizations between oilseed rape and wild radish. *Molecular Ecology* **7(11)**: 1467 – 1473.
- Darmency, H., Fleury, A. & Lefol, E.** (1995). Effect of transgenic release on weed biodiversity: oilseed rape and wild radish. Brighton Crop Conference – Weeds: 433 – 438.
- Darmency, H. & Renard, M.** (1992). Efficiency of safety procedures in experiments with transgenic oilseed rape. *In: Casper, R. & Landsmann, J. (eds.), Biosafety Results of Field Test of Genetically Modified Plants and Microorganisms*, p. 54 – 60. BBA, Braunschweig.
- De Leij, F.A.A.M., Bailey, M.J., Whipps, J.M., Thompson, I.P., Bramwell, P.A. & Lynch, J.M.** (1998). Release of genetically modified micro-organisms and biomonitoring. *In: Lynch, J.M. & Wiseman, A.*

- (eds.), Environmental Biomonitoring: The Biotechnology Ecotoxicology Interface, p. 70 – 100. Cambridge University Press.
- Deml, R. & Dettner, K.** (1998). Wirkungen Bacillus thuringiensis-toxin-produzierender Pflanzen auf Ziel- und Nichtzielorganismen – eine Standortbestimmung. UBA-Texte 36/98, Berlin.
- Deng, W., Gordon, M.P., & Nester, E.W.** (1995). Sequence distribution of IS1312: Evidence for horizontal DNA transfer from Rhizobium meliloti to Agrobacterium tumefaciens. *Journal of Bacteriology* **177**: 2554 – 2559.
- Devlin, B. & Ellstrand, N.C.** (1990). The development and application of a refined method for estimating gene flow from angiosperm paternity analysis. *Evolution* **44**: 248 – 259.
- Döhler, K. & Klingmüller, W.** (1988). Genetic interaction of Rhizobium leguminosarum bv. viciae with gram-negative bacteria. In: Klingmüller, W. (ed.), Risk Assessment for Deliberate Release, p. 18 – 28. Berlin.
- Doyle, J.D., Stotzky, G. McClung, G. & Hendricks, C.W.** (1995). Effects of genetically engineered microorganisms on microbial populations and processes in natural habitats. *Advances in Applied Microbiology* **40**: 237 – 287.
- Doyle, J.D. & Stotzky, G.** (1993). Methods for the detection of changes in the microbial ecology of soil caused by the introduction of microorganisms. *Microbial Releasae* **2**: 63 – 72.
- Doyle, J.D., Short, K.A., Stotzky, G., King, R.J., Seidler, R.J. & Olsen, R.H.** (1991). Ecologically significant effects of Pesudomonas putida PPO301 (pRO103), genetically engineered to degrade 2,4-dichlorophenoxyacetate, on microbial populations and processes in soil. *Canadian Journal of Microbiology* **37**: 682 – 691.
- Eber, F., Chèvre, A.M., Baranger, A., Vallée, P., Tanguy, X., Renard, M.** (1994). Spontaneous hybridization between a male sterile oilseed rape and two weeds. *Theoretical and Applied Genetics* **88**: 362 – 368.
- Eckelkamp, C. Mayer, M. & Weber, B.** (1997a). BASTA-resistenter Raps. Vertikaler und horizontaler gentransfer unter besonderer Berücksichtigung des Standortes Wölfersheim-Melbach. Werkstattreihe 100, Öko-Institut e.V., Freiburg.
- Eckelkamp, C., Jäger, M. & Weber, B.** (1997b). Risikoüberlegungen zu transgenen virusresistenten Pflanzen. UBA Texte 59/97, Berlin.
- Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement** (1998). Bericht über die Ergebnisse des Vernehmlassungsverfahrens zum Vorentwurf der Gen-Lex-Vorlage, Bern.
- Ellstrand, N.C. & Marshall, D.L.** (1985). Interpopulation gene flow by pollen in wild radish, Raphanus sativus. *American Naturalist* **126**: 606 – 616.
- Erceg, D., O'Brien, P., Bulman, T. & Glenn, A.** (1994). Survival and movement of a recombinant strain of Rhizobium leguminosarum biovar trifolii in intact core microcosms. *Soil Biology Biochemistry* **26**: 1097 – 1098.
- Ernst, D., Rosenbrock, H., Hartmann, A., Kirchhof, G., Bauer, S., Ludwig, W., Schleifer, K.-H., Sandermann, H. & Fischbeck, G.** (1998). Sicherheitsforschung zu Freisetzungsversuchen in Roggenstein (Bayern). *Bundesgesundheitsblatt* **12**: 523 – 529.
- Evans, K.A. & Scarisbrick, D.H.** (1994). Integrated insect pest management in oilseed rape crops in Europe. *Crop Protection* **13**: 403 – 412.
- FAO** (1996). Conférence technique internationale sur les ressources phylogénétiques. Food and Agriculture Organization, New York.
- Feldmann, S.D., Brandes, S., Pfeilstetter, E., Matzk, A. & Schiemann, J.** (1998). Begleituntersuchungen des Landes Niedersachsen zur Freisetzung transgener, herbizidresistenter Rapspflanzen. *Bundesgesundheitsblatt* **12**: 536 – 541.
- Feldmann, S.D.** (1998). Ökologische Begleituntersuchungen zur Freisetzung gentechnisch veränderter, herbizidresistenter Rapspflanzen. In: Miehe, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, S. 83 - 92. UBA Berlin.
- Förster, K., Schuster, C., Belter, A. & Diepenbrock, W.** (1998). Agrarökologische Auswirkungen des Anbaus von transgenem herbizidtoleranten Raps (Brassica napus L.). *Bundesgesundheitsblatt* **12**: 547 – 552.
- Fredshavn, J.R., Poulsen, G.S., Huybrechts, I., Rudelsheim, P.** (1995). Competitiveness of transgenic oilseed rape. *Transgenic Research* **4**: 142 – 148.
- Frello, S., Hansen, K.R., Jensen, J., Jorgensen, R.B.** (1995). Inheritance of rapeseed (Brassica napus)-specific RAPD markers and a transgene in the cross B. juncea x (B. juncea x B. napus). *Theoretical and Applied Genetics* **91**: 236 – 241.

- Frietema de Vries**, F.T. (1996). Cultivated plants and the wild flora. Effect analysis by dispersal codes. Thesis. Rijksherbarium, Hortus Botanicus, Leiden.
- Gerdemann-Knörck**, M. & Tegeder, M. (1997). Kompendium der für Freisetzungen relevanten Pflanzen: Brassicaceae, Beta vulgaris, Linum usitatissimum. UBA-Texte 38/97, Berlin.
- Giddings**, G. (1998). The release of genetically engineered micro-organisms and viruses into the environment. *New Phytologist* **140**: 173 – 184.
- Giddings**, G., Mytton, L., Griffiths, M., McCarthy, A., Morgan, C. & Skøt, L. (1997). A secondary effect of transformation in *Rhizobium leguminosarum* transgenic for *Bacillus thuringiensis* subspecies *tenebrionis* delta-endotoxin (cryIIIA) genes. *Theoretical and Applied Genetics* **95**: 1062 – 1068.
- Gillespie**, K.M., Angle, J.S., & Hill, R.L. (1995). Runoff losses of *Pseudomonas aureofaciens* (lacZY) from soil. *FEMS Microbiology Ecology* **17**: 239 – 246.
- Hambleton**, P., Bennett, A.M. & Leaver, G. (1992). Biosafety monitoring devices for biotechnology processes. *TIBTECH* **10**: 192 – 199.
- Hancock**, J.F., Grumet, R. & Hokanson, S.C. (1996). The opportunity for escape of engineered genes from transgenic crops. *HortScience* **31(7)**: 1080 – 1085.
- Handley**, B.A. & Webster, A.J.F. (1995). Some factors affecting the airborne survival of bacteria outdoors. *Journal of Applied Bacteriology* **79**: 368 – 378.
- Häni**, F., Popow, G., Reinhard, H., Schwarz, A., Tanner, K. & Vorlet, M. (1992). Pflanzenschutz im Integrierten Ackerbau. LmZ Verlag, Zollikofen.
- Hankeln**, T., Feldmann, R.C. & Schmidt, E.R. (1998). Untersuchungen zum Gentransfer und zur Freisetzung von DNA aus transgenen Pflanzen. *Bundesgesundheitsblatt* **12**: 542 – 546.
- Heidenreich**, B. (1998a). Invasivität transgener Mikroorganismen. In: Schütte, G., Heidenreich, B. & Beusmann, V. (Hrsg.), Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA, S. 307 – 380. UBA Texte 47/98, Band 2, Berlin.
- Heidenreich**, B. (1998b). Der Einfluss transgener Rhizobien auf den Stickstoffkreislauf. In: Schütte, G., Heidenreich, B. & Beusmann, V. (Hrsg.), Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA, S. 677 – 696. UBA Texte 47/98, Band 2, Berlin.
- Hilbeck**, A., Baumgartner, M., Fried, P.M. & Bigler, F. (1998) Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology* **27(2)**: 480 – 487.
- Hintermann**, U., Locher, R., Plattner, M., Rohner, J., Weber, D. & Zangger, A. (1997). Biodiversitätsmonitoring Schweiz. Bericht über die Arbeiten 1997. Erhältlich bei: Hintermann & Weber AG, Hauptstr. 52, 4153 Reinach.
- Hintermann**, U., Locher, R., Rohner, J., Weber, D. & Zangger, A. (1996). Biodiversitätsmonitoring Schweiz. Bericht zum ersten Teil der Vorbereitungsphase. Erhältlich bei: Hintermann & Weber AG, Hauptstr. 52, 4153 Reinach.
- Hirsch**, P. (1996). Population dynamics of indigenous and genetically modified rhizobia in the field. *New Phytologist* **133**: 159 – 171.
- Hirsch**, P. & Spokes, J.D. (1994). Survival and dispersion of genetically modified rhizobia in the field and genetic interactions with native strains. *FEMS Microbiology Ecology* **15**: 147 – 160.
- Hoffmann**, T., Golz, C. & Schieder, O. (1994). Foreign DNA sequences are received by a wild-type strain of *Aspergillus niger* after co-culture with transgenic higher plants. *Current Genetics* **27**: 70 – 76.
- Hokkanen**, H.M.T. & Wearing, C.H. (1995). Assessing the risk of pest resistance evolution to *Bacillus thuringiensis* engineered into crop plants: a case study of oilseed rape. *Field Crop Research* **45**: 171 – 179.
- Jacot**, Y. & Jacot, P. (1994). Application du génie génétique à l'agriculture: Evaluation des dangers potentiels pour la flore suisse. Office fédéral de l'environne, des forêts et du paysage, Berne.
- Jacot**, Y. (1994). A bibliographical study of gene flow between crops and wild relatives in Switzerland. In: BUWAL (ed.), Gene transfer: Are wild species in danger?, p. 14 – 18. Environmental Documentation No. 12, Bern.
- Jorgensen**, R.B., Andersen, B., Landbo, L., Mikkelsen, T.R. (1996). Spontaneous hybridization between oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy relatives. *Acta Horticultura* **407**: 193 – 197.
- Jorgensen**, R.B. & Andersen, B. (1994). Spontaneous hybridization between oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy *B. campestris* (Brassicaceae): a risk of growing genetically modified oilseed rape. *American Journal of Botany* **81**: 1620 – 1626.

- Katzek, J. & Gassen, H.G.** (1998). Anforderungen an ein System zur Bewertung möglicher Langzeitschäden durch den Einsatz gentechnischer Methoden im Lebensmittelbereich. *Ernährungs-Umschau* **45(1)**: 4 – 7.
- Kerlan, M.C., Chèvre, A.M. & Eber, F.** (1993). Interspecific hybrids between a transgenic rapeseed (*Brassica napus* L.) and related species: cytogenetical characterization and detection of the transgene. *Genome* **36**: 1099 – 1106.
- Kerlan, M.C., Chèvre, A.M., Eber, F., Baranger, A., Renard, M.** (1992). Risk assessment of outcrossing of transgenic rapeseed to related species: 1. Interspecific hybrid production under optimal conditions with emphasis on pollination and fertilization. *Euphytica* **62**: 145 – 153.
- Kinkle, B.K., Sadowsky, M.J., Schmidt, E.L. & Koskinen, W.C.** (1993). Plasmids pJP4 and r68.45 can be transferred between populations of *Bradyrhizobia* in non-sterile soil. *Applied and Environmental Microbiology* **59**: 1762 – 1766.
- Kjellsson, G., Simonsen, V. & Ammann, K.** (1997). Methods for Risk Assessment of transgenic plants. II. Pollination, Gene-Transfer and Pollination Impacts. Birkhäuser, Basel.
- Kjellsson, G. & Simonsen, V.** (1994). Methods for Risk Assessment of Transgenic Plants. I. Competition, Establishment and Ecosystem Effects. Birkhäuser, Basel.
- Klaus, S., Krüger, D. & Meyer, J.** (1992). Bakterienviren. Stuttgart.
- Kluepfel, D.A., Lamb, T.G., Snyder, W.E. & Tonkyn, D.W.** (1994). Six years of field testing a lacZY modified fluorescent pseudomonad. In: Jones, D.D. (ed.), The Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms, p. 169 – 176. University of California, Oakland, USA.
- Knetsch, G.** (1998). Die Entwicklung von Umweltbeobachtungskonzepten beim Bund – Theorie und Praxis. In: Miehe, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, S. 27 – 33. UBA Berlin.
- Kohli, E.** (1998a). Natur- und Landschaftsschutz: Viel gemacht! Viel bewirkt? *Umweltschutz* 4/98: 4 – 7.
- Kohli, E.** (1998b). Veränderungen des biologischen Reichtums erfassen. *Umweltschutz* 4/98: 28 – 30.
- Köhler, W. & Braun, P.** (1995). Populationsgenetische und statistische Aspekte der Begleitforschung. In: Albrecht, S. & Beusmann, V. (Hrsg.), Ökologie transgener Nutzpflanzen, S. 163 – 181. Campus, Frankfurt.
- Köppel, J.** (1998). Modellhafte Umsetzung und Konkretisierung der ökosystemaren Umweltbeobachtung im länderübergreifenden Biosphärenreservat Rhön. In: Miehe, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, S. 34 – 53. UBA Berlin.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaft** (1998). Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 90/220/EWG über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt, KOM 85 endg., 98/0072 (COD), 23.02.1998.
- Korell, M., Schittenhelm, S. & Weigel, H.-J.** (1997). Aufstellen von Kriterien für die nachhaltige Nutzung gentechnisch veränderter Kulturpflanzensorten. UBA Texte 88/97, Berlin.
- Kowarik, I.** (1996). Auswirkungen von Neophyten auf Ökosysteme und deren Bedeutung. In: Bartsch, D. & Haag C., Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen, S. 119 – 155. UBA-Texte 58/96, Berlin.
- Krug, M.** (1998). Monitoringprogramm in Sachsen-Anhalt – Überblick und spezielle Aspekte des Biomonitoring bei transgenen Rapskulturen. In: Miehe, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, S. 93 – 96. UBA Berlin.
- Lagares, A., Caetano-Anollés, G., Niehaus, K., Lorenzen, J., Ljunggren, H.D., Pühler, A. & Favelukes, G.** (1992). A *Rhizobium meliloti* lipopolysaccharide mutant altered in competitiveness for nodulation of Alfalfa. *Journal of Bacteriology* **174(18)**: 5941 – 5952.
- Lange, D.** (1985). Erzeugung von Qualitätssaatgut im Hinblick auf Einführung von Doppelqualitätssorten. Rundschreiben Saatgut-Erzeuger-Gemeinschaft, S. 80 – 86, Kiel.
- Lavigne, C., Klein, E.K., Vallee, P., Pierre, J., Godelle, B. & Renard, M.** (1998). A pollen dispersal experiment with transgenic oilseed rape. Estimation of the average pollen dispersal of an individual plant within a field. *Theoretical and Applied Genetics* **96(6-7)**: 886 – 896.
- Lauber, K. & Wagner, G.** (1992). Flora des Kantons Bern. Haupt, Bern.
- Leckie, D., Smithson, A., Crute, I.R.** (1993). Gene movements from oilseed rape to weedy populations – a component of risk assessment for transgenic cultivars. *Aspects of Applied Biology* **35**: 61 – 66.
- Lefol, E., Séquin-Swartz, G. & Downey, R.K.** (1997). Sexual hybridisation in crosses of cultivated Brassica species with the crucifers *Erucastum gallicum* and *Raphanus raphanistrum*: potential for gene introgression. *Euphytica* **95**: 127 – 139.

- Lefol**, E., Danielou, V., Darmency, H. (1996). Predicting hybridization between transgenic oilseed rape and wild mustard. *Field Crop Research* **45**: 153 – 161.
- Lefol**, E., Danielou, V., Darmency, H., Boucher, F., Maillet, J. & Renard, M. (1995). Gene dispersal from transgenic crops. 1. Growth of interspecific hybrids between oilseed rape and the wild hoary mustard. *Journal of Applied Ecology* **32**: 803 – 808.
- Lefol**, E., Danielou, V., Darmency, H., Kerlan, M.C., Vallee, P., Chevre, A.M., Renard, M., Reboud, X. (1991). Escape of engineered genes from rapeseed to wild Brassiceae. *In: Proceedings of Brighton Crop Protection Conference, Weeds*, p. 1049 – 1056.
- Lentzsch**, P. & Ulrich, A. (1994). Entwicklung molekulargenetischer Monitoringverfahren für gentechnisch veränderte Rhizobium-Bakterien sowie Untersuchung ihrer genetischen Stabilität und Lebensfähigkeit. *In: Biologische Sicherheit*, Band 3, S. 189 – 198.
- Leung**, K., England, L.S., Cassidy, M.B., Trevors, J.T. & Weir, S. (1994). Microbial diversity in soil: Effect of releasing genetically engineered microorganisms. *Molecular Ecology* **3**: 413 – 422.
- Lewis**, M.A., Schmitz, G., Kareiva, P. & Trevors, J.T. (1996). Models to examine containment and spread of genetically engineered microbes. *Molecular Ecology* **5**: 165 – 175.
- Linder**, C.R. (1998). Potential persistence of transgenes: Seed performance of transgenic canola and wild x canola hybrids. *Ecological Applications* **8(4)**: 1180 – 1195.
- Linder**, C.R. & Schmitt, J. (1995). Potential persistence of escaped transgenic constructions: performance of transgenic, oil-modified Brassica seeds and seedlings. *Ecological Applications* **5**: 1056 – 1068.
- Liu**, R., Tran, V.M. & Schmidt, E.L. (1989). *Applied and Environmental Microbiology* **55**: 1895-1900.
- Lorenz**, M.G. & Wackernagel, W. (1994). Bacterial gene transfer by natural genetic transformation in the environment. *Microbiological Reviews* **58**: 563 – 602.
- Maas**, D. (1996). Möglichkeiten des Biomonitoring bei der Langzeitbeobachtung transgener Organismen. *In: Bartsch, D. & Haag, C. (Red.), Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen*, S. 47 – 60. Umweltbundesamt, Texte 58/96, Berlin.
- Maier**, R.J. & Triplett, E.W. (1996). Towards more productive, efficient and competitive nitrogen-fixing symbiotic bacteria. *Critical Reviews in Plant Sciences* **15**: 191 – 234.
- Mathes**, K. (1996). Langzeitbeobachtung und -bewertung von Umweltveränderungen transgener Organismen: Was hat die Ökotoxikologieforschung gebracht? *In: Bartsch, D. & Haag, C. (Red.), Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen*, S. 61 – 70. Umweltbundesamt, Texte 58/96, Berlin.
- Maurer**, R. (1998). Kanton Aargau baut Kontrollprogramm auf. *Umweltschutz* **4**: 25 – 28.
- Maurer**, R., Marti, F. & Stapfer, A. (1997). Kontrollprogramm Natur und Landschaft Kanton Aargau – Konzeption und Organisation von Erfolgskontrolle und Dauerbeobachtung. Grundlagen und Berichte zum Naturschutz Nr. 13. Baudepartement des Kantons Aargau, Aarau.
- McCartney**, H.A. & Lacey, M.E. (1991). Wind dispersal of pollen from crops of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Aerosol Science* **22**: 467 – 477.
- Metz**, P.L.J., Jacobsen, E., Nap., J.P., Pereira, A. & Stiekema, W.J. (1997). The impact on biosafety of the phosphinotricin-tolerance transgene in inter-specific *B. rapa* x *B. napus* hybrids and their successive backcrosses. *Theoretical and Applied Genetics* **95**: 442 – 450.
- Miehe**, A. (Red.) (1998). Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen. UBA Berlin.
- Mikkelsen**, T.R., Andersen, B. & Jorgensen, R.B. (1996). The risk of crop transgene spread. *Nature* **380**: 31.
- Möller**, A., Gustafsson, K. & Jansson, J.K. (1994). Specific monitoring by PCR amplification and bioluminescence of firefly luciferase gene-tagged bacteria added to environmental samples. *FEMS Microbiology Ecology* **15**: 193 – 206.
- Natsch**, A., Keel., C., Troxler, J., Zala., M., Albertini, N. & Défago, G. (1996). Importance of preferential flow and soil management in vertical transport of a biocontrol strain of *Pseudomonas fluorescens* in structured field soil. *Applied and Environmental Microbiology* **62(1)**: 33 – 40.
- Neemann**, G. & Schwerwass, R. (1998). Vorstellung des Monitoring-Konzeptes zu Umweltauswirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen. *In: Miehe, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen*, S. 138 - 162 . UBA Berlin.
- Neemann**, G. & Braun, P. (1997). Freisetzungspraxis und ökologische Begleitforschung. *In: Brandt, P (Hrsg.), Zukunft der Gentechnik*, S. 189 – 206. Birkhäuser, Basel.

- Nielsen**, K.M., Bones A., Smalla, K. & van Elsas, J.D. (1998). Horizontal gene transfer from transgenic plants to terrestrial bacteria – a rare event? *FEMS Microbiology Reviews* **22**: 79 – 103.
- OECD** (1998). BioTrack Database of Field Trials. <http://www.oilis.oecd.org/biotrack.nsf>
- OECD** (1997). Consensus document on the biology of *Brassica napus* L. OECD Environmental Health and Safety Publications. Series on Harmonization of Regulatory Oversight of Biotechnology No. 7, Paris.
- OECD** (1995). Safety considerations for biotechnology – scale-up of micro-organisms as biofertilizers. Paris.
- OECD** (1994a). Compendium of methods for monitoring organisms in the environment. Environment Monograph No. 91, Paris.
- OECD** (1994b). The OECD workshop on the methods für monitoring organisms in the environment. Environment Monograph No. 90, Paris.
- OECD** (1992). Report of the OECD workshop on the monitoring of organisms introduced into the environment. Environment Monograph No. 52, Paris.
- Orvos**, D.R., Lacy, G.H. & Cairns, J. Jr. (1990). Genetically engineered *Erwinia caratovora*: survival, intraspecific competition, and effects upon selected bacteria genera. *Applied and Environmental Microbiology* **56**: 1689 – 1694.
- Palomares**, A.J., DeLuca, M.A. & Helinski, D.R. (1989). Firefly luciferase as a reporter enzyme for measuring gene expression in vegetative and symbiotic *Rhizobium meliloti* and other gram-negative bacteria. *Gene* **81**: 55 – 64.
- Parker**, I.M. & Bartsch, D. (1996). Recent advances in ecological biosafety research on the risks of transgenic plants: A trans-continental perspective. In: Tomiuk, J., Wöhrmann, K. & Sentker, A. (eds.), *Transgenic Organisms – Biological and Social Implications*, p. 147 – 161. Birkhäuser, Basel.
- Pauk**, J., Stefanov, I., Fekete, S., Bögre, L., Karsai, I., Feher, A. & Dudits, D. (1995). A study of different (CaMV and mas) promotor activities and risk assessment of field use in transgenic rapeseed plants. *Euphytica* **85**: 411 – 416.
- Paul**, E.M., Thompson, C. & Dunwell, J.M. (1995). Gene dispersal from genetically modified oil seed rape in the field. *Euphytica* **81**: 283 – 289.
- PEER**, Genetic Genie: The premature commercial release of genetically engineered bacteria. Washington. D.C.
- Plachter**, H. (1991). Naturschutz. UTB für Wissenschaft / Uni-Taschenbücher 1563, Stuttgart.
- Plantholt**, U. (1996). Molekulare Methoden beim Monitoring von Pflanzen. In: Bartsch, D. & Haag, C. (Red.), *Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen*, S. 84 – 90. Umweltbundesamt, Texte 58/96, Berlin.
- Pellmann**, H., Reisser, W., Theophilou, S. & Schlegel, M. (1998). Begleitforschung zu Freisetzungen gentechnisch veränderter Pflanzen in Sachsen. *Bundesgesundheitsblatt* **12**: 552 – 559.
- Pohl-Orf**, M. & Schuphan, I. (1998). Bt-Expression in transgenen Kulturpflanzen – Vorstellung des geplanten Monitoring-Programms in der EU. In: Mieke, A. (Red.), *Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen*, S. 128 - 138. UBA Berlin.
- Pretorius-Guth**, I.M., Puhler, A. & Simon, R. (1990). Conjugal transfer of megaplasmid 2 between *Rhizobium meliloti* strains in alfalfa nodules. *Applied and Environmental Microbiology* **56**: 2354 – 2359.
- Raybold**, A.F. & Gray, A.J. (1993). Genetically modified crops and hybridization with wild relatives: a UK perspective. *Journal of Applied Ecology* **30**: 199 – 219.
- Richaume**, A., Angle, J.S. & Sadowsky, M.J. (1989). Influence of soil variables on in situ plasmid transfer from *Escherichia coli* to *Rhizobium fredii*. *Applied and Environmental Microbiology* **55**: 1730 – 1734.
- Ringdahl**, E.A., McVetty, P.B.E. & Sernyk, J.L. (1987). Intergeneric hybridization of *Diplotaxis* ssp. with *Brassica napus*: A source of new cms systems? *Canadian Journal of Plant Science* **67**: 239 – 243.
- RKI** (1998). <http://www.rki.de>
- Rogers**, H.J. & Parkes, H.C. (1995). Transgenic plants and the environment. *Journal of Experimental Botany* **46**(286): 467 – 488.
- Ryder**, M. (1994). Key issues in the deliberate release of genetically-manipulated bacteria. *FEMS Microbiology Ecology* **15**: 139 – 146.
- Scheffler**, J.A., Parkinson, R., Dale, P.J. (1995). Evaluating the effectiveness of isolation distances for field plots of oilseed rape (*Brassica napus*) using herbicide-resistance transgene as a selectable marker. *Plant Breeding* **114**(4): 317 – 321.

- Scheffler**, J.A. & Dale, P.J. (1994). Opportunities for gene transfer from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. *Transgenic Research* **3**: 263 – 278.
- Scheffler**, J.A., Parkinson, R., Dale, P.J. (1993). Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oil seed rape (*Brassica napus*). *Transgenic Research* **2**: 356 – 364.
- Schmid**, J.E., Carrel, K. & Stamp, P. (1996). Bedeutung gentechnisch veränderter krankheits- und schädlingsresistenter Nutzpflanzen für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung. In: E. Schulte & O. Käppeli (Hrsg.), Gentechnisch veränderte krankheits- und schädlingsresistente Nutzpflanzen, S. 373 - 456. Schwerpunktprogramm Biotechnologie des Schweizerischen Nationalfonds, Bern.
- Schofield**, P.R., Gibson, W.F., Dudman, W.F. & Watson, J.M. (1987). Evidence for genetic exchange and recombination of *Rhizobium* symbiotic plasmids in a soil population. *Applied and Environmental Microbiology* **53**: 2942 – 2947.
- Schubert**, R. (Hrsg.) (1985). Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen. Fischer Verlag, Stuttgart.
- Schulte**, E. (1998). Zielsetzung für die Entwicklung eines anbaubegleitenden Monitoring bei Einsatz gentechnisch veränderter Sorten. In: Mieke, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, S. 97 - 100. UBA Berlin.
- Schütte**, G. (1998). Vertikaler Gentransfer. In: Schütte, G., Heidenreich, B. & Beusmann, V. (Hrsg.), Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA, S. 239 – 270. UBA Texte 47/98, Band 1, Berlin.
- Schütte**, G. & Riede, M. (1998). In: Schütte, G., Heidenreich, B. & Beusmann, V. (Hrsg.), Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA, S. 447 – 508. UBA Texte 47/98, Band 2, Berlin.
- Schütte**, G., Heidenreich, B. & Beusmann, V. (Hrsg.) (1998). Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA. UBA Texte 47/98, Band 1 und 2, Berlin.
- Schweizer**, R. (1997). Bericht zur Umsetzung der Gen-Lex-Motion. St. Gallen, bern, 23.6.97.
- Schwieger**, F., Willke, B., Munch, J.C. & Tebbe, C.C. (1997). Ecological pre-release assessment of two genetically engineered, bioluminescent *Rhizobium meliloti* strains in soil column model systems. *Biology and Fertility of Soils* **25**(4): 340 – 348.
- Scott**, S.E. & Wilkinson, M.J. (1998). Transgene risk is low. *Nature* **393**: 320.
- Seidler**, R.J. (1994). Evaluation of methods for detecting ecological effects from genetically engineered microorganisms and microbial pest control agents in terrestrial systems. In: Bazin, M.J. & Lynch, J.M. (eds.), Environmental gene release, p. 99 – 122. Chapman & Hall, London.
- Selbitschka**, W., Jording, D., Niemann, S., Schmidt, R., Pühler, A., Mendum, T. & Hirsch, P. (1995). Construction and characterization of a *Rhizobium leguminosarum* biovar *viciae* strain designed to assess horizontal gene transfer in the environment. *FEMS Microbiology Letters* **128**(3): 255 – 263.
- Selbitschka**, W., Bork, H.-R., Keller, M., Lentzsch, P., Lotz, W., Munch, J., Simon, R., Tebbe, C., Tichy, H.V., Ulrich, A. & Pühler, A. (1994). Verbundvorhaben: Biologische Sicherheitsforschung zur Freisetzung gentechnisch veränderter *Rhizobium meliloti* Stämme: Überleben, Verbreitung und Wechselwirkung des freigesetzten Organismus mit der endogenen Bodenmikroflora zweier Freisetzungsstandorte. In: Biologische Sicherheit, Band 3, S. 131 – 221.
- Sieber**, P., Ströhlein, S. Fuchs, D. & Lotz, W. (1994). Entwicklung und praxisorientierte Erprobung genetischer Sonden zum Nachweis (Monitoring) von *Rhizobium* Stämmen: Pilotprojekt Modellfreisetzungen. In: Biologische Sicherheit, Band 3, S. 157 – 188. Forschungszentrum Jülich.
- Sinemus**, K. (1994). Biologische Risikoanalyse gentechnisch hergestellter herbizidresistenter Nutzpflanzen. Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt, Fachbereich Biologie.
- Skøt**, L., Timms, E. & Mytton, L.R. (1994). The effects of toxin-producing *Rhizobium* strains on larvae of *Sitona flavescens* feeding on legume roots and nodules. *Plant and Soil* **163**: 141 – 150.
- Smalla**, K. & van Elsas, J.D. (1996). Monitoring genetically modified organisms and their recombinant DNA in soil environments. In: Tomiuk, J., Wöhrmann, K. & Sentker, A. (eds.), Transgenic organisms – biological and social implications, p. 127 – 146. Birkhäuser, Basel.
- Smit**, E., van Elsas, J.D. & van Veen, J.A. (1992). Risks associated with the application of genetically modified microorganisms in terrestrial ecosystems. *FEMS Microbiology Review* **88**: 263 – 278.
- SRU** (1998). Sachverständigenrat für Umweltfragen: Umweltgutachten 1998. Metzler-Poeschel, Stuttgart.
- Stacey**, G. (1985). The rhizobium experience. In: Halvorson, H.O., Pramer, D. & Rogul, M. (eds.), Engineered organisms in the environment, p. 109 – 112. Scientific Issues, Washington D.C.
- Stewart**, C.N., All, J.N., Raymer, P.L. & Ramachandran, S. (1997). Increased fitness of transgenic insecticidal rapeseed under selection pressure. *Molecular Ecology* **6**: 773 – 779.

- Stewart**, C.N., Adang, M.J., All, J. N., Raymer, P.L. & Ramachandran, S. & Parrott, W.A. (1996). Insect control and dosage effects in transgenic Canola containing a synthetic *Bacillus thuringiensis* cryIIA Gene. *Plant Physiology* **112**: 115 – 120.
- Stewart**, C.N. (1996). Monitoring transgenic plants using in vivo markers. *Nature Biotechnology* **14**: 682.
- Stringham**, G.R. & Downey, R.K. (1982). Effectiveness of isolation distances in seed production of rapeseed (*Brassica napus*). *Agronomy Abstracts*: 136 – 137.
- Sukopp**, H. (1998). Ökologische Begleitforschung und Dauerbeobachtung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen – Vorschläge des Rats von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU). In: Miehe, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderten Pflanzen, S. 3 – 15. UBA Berlin.
- Sukopp**, H. & Sukopp, U. (1995). Ökologische Modelle in der Begleitforschung zur Freisetzung transgener Kulturpflanzen. In: Albrecht, S. & Beusmann, V. (Hrsg.), Ökologie transgener Nutzpflanzen, S. 41 – 64. Campus, Frankfurt.
- Sukopp**, U. & Sukopp, H. (1993). Das Modell der Einführung und Einbürgerung nicht einheimischer Arten. *GAIA* **2(5)**: 267 – 288.
- Tappeser**, B., Mayer, M. & Wurz, A. (1995). Anforderungen an die Überwachung von freisetzungen gentechnisch veränderter Pflanzen und Mikroorganismen als Landesaufgabe im Rahmen des Vollzugs des Gentechnikgesetzes. Öko-Institut e.V., Freiburg.
- Tebbe**, C. (1998). Untersuchungen zu ökologischen Auswirkungen von Fruchtfolgen mit gentechnisch veränderten, herbizidresistenten Nutzpflanzen. In: Miehe, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, S. 101 - 104. UBA Berlin.
- Thompson**, I.P., Lilley, A.K., Ellis, R.J., Bramwell, P.A. & Bailey, M.J. (1995). Survival, colonization and dispersal of genetically-modified *Pseudomonas fluorescens* sbw25 in the phytosphere of field-grown sugar-beet. *BioTechnology* **13**: 1493 – 1497.
- Tiedje**, J.M., Colwell, R.K., Grossman, Y.L., Hodson, R.E., Lenski, R.E., Mack, R.N. & Regal, P.J. (1989). The planned introduction of genetically engineered organisms: Ecological considerations and recommendations. *Ecology* **70**: 298 – 315.
- Timmons**, A.M., Charters, Y.M., Crawford, J.W., Burn, D., Scott S.E., Dubbels, S.J., Wilson, N.J., Robertson, A., O'Brien, E.T., Squire, G.R. & Wilkinson, M.J. (1996): Risks from transgenic crops. *Nature* **380**: 487.
- Timmons**, A.M., O'Brien, E.T., Charters, Y.M., Dubbels, S.J., Wilkinson, M.J. (1995). Assessing the risks of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp. *Oleifera*. *Euphytica* **85**: 417 – 423.
- Tiroidimos**, I., Pretorius-Gueth, I.-M., Priefer, U., Tsaftaris, A. & Tsiftoglou, A.S. (1993). Methods of assessment of transfer of a gentamycin-resistance gene (aaC1) from genetically engineered microorganisms into agriculturally important soil bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology* **38**: 526 – 530.
- Tomiuk**, J., Braun, P. & Wöhrmann, K. (1996). Ökonomische und ökologische Schäden, die im Zusammenhang mit der Verbreitungsbiologie von Raps (*Brassica napus* L.) auftreten können. In: Bartsch, D. & Haag C., Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen, S. 108 – 118. UBA-Texte 58/96, Berlin.
- Torgersen**, H., Soja, G., Janssen, I. & Gaugitsch, H. (1998). Risk assessment of conventional plants in analogy to transgenic plants. *Environmental Science & Pollution Research* **5(2)**: 89 – 93.
- Torgersen**, H. (1996). Ökologische Effekte von Nutzpflanzen – Grundlagen für die Beurteilung transgener Pflanzen? Umweltbundesamt, Monographien Band 74, Wien.
- Torgersen**, H., Palmetscher, A. & Gaugitsch, H. (1993). Beurteilungskriterien für Freisetzungen gentechnisch veränderter Organismen. Umweltbundesamt, Monographien Band 39, Wien.
- Trevors**, J.T., van Elsas, J.D., van Overbeek, L.S. & Starodub, M.E. (1990). Transport of a genetically engineered *Pseudomonas fluorescens* strain through a soil microcosm. *Applied and Environmental Microbiology* **56**: 401 – 408.
- Tschäpe**, H. (1994). The spread of plasmids as a function of bacterial adaptability. *FEMS Microbiology Ecology* **15**: 23 – 32.
- Van Aken**, J. & Heidenreich, B. (1998). Freisetzungen transgener Pflanzen und Mikroorganismen. In: Schütte, G., Heidenreich, B. & Beusmann, V. (Hrsg.), Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA, S. 101 - 119. UBA Texte 47/98, Band 1, Berlin.
- Van der Meer**, P. (1993). Potential long-term ecological impact of genetically modified organisms. *Nature and Environment* No. 65, Council of Europe Press.

- Verbücheln**, G. (1998). Das Biomonitoringkonzept von Nordrhein-Westfalen. *In*: Miehe, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, S. 61 - 71. UBA Berlin.
- Von Sengbusch**, P. (1995). Evolutionsforschung – Wie schützen sich Pflanzen vor überschüssiger Information? *In*: Albrecht, S. & Beusmann, V. (Hrsg.), Ökologie transgener Nutzpflanzen, S. 143 – 162. Campus, Frankfurt.
- Vries**, F.T. de, Meijden, R. van der & Brandenburg, W.A. (1992). Botanical files – a study of the real chances for spontaneous gene flow from cultivated plants to the wild flora of the Netherlands. *Gorteria Supplement 1*: 1 – 100.
- Wacek**, T. (1994). Bio-engineered Rhizobia in the fields. *In*: Jones, D.D. (ed.), The Biosafety Results of Field Tests of Genetically Modified Plants and Microorganisms, p. 149 - 155. University of California, Oakland, USA.
- Warwick**, S.I. & Wall, D.A. (1998). The biology of canadian weeds. 108. *Erucastrum gallicum* (Willd.) O.E. Schulz. *Canadian Journal of Plant Science* **78(1)**: 155 – 165.
- Weber**, B. (1999). Risikoversorge bei der Gentechnik in Landwirtschaft und Lebensmitteln. *Innovartis 1*: in press.
- Weber**, B. (1998). Zum Wandel des ökologischen Risikobegriffs in der Gentechnikdiskussion. *In*: Gesellschaft für Ökologie (Hrsg.), Der ökologische Risikobegriff, Tagungsband. *In press*.
- Weber**, B. (1995). Überlegungen zur Aussagekraft von Risikoforschung zur Freisetzung transgener Pflanzen. *In*: Albrecht, S. & Beusmann, V. (Hrsg.), Ökologie transgener Nutzpflanzen, S. 111 – 126. Campus, Frankfurt.
- Wicke**, G. (1998). Erfassung der Ackerbegleitflora und der Kulturarten durch Monitoring auf extensiv bewirtschafteten Ackerrandstreifen. *In*: Miehe, A. (Red.), Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, S. 72 - 82. UBA Berlin.
- Zhou**, X., Liu, Y., Calvert, L., Munoz, C., Otim-Nape, G.W., Robinson, D.J. & Harrison, B.D. (1997). Evidence that DNA-A of a geminivirus associated with severe cassava mosaic disease in Uganda has arisen by interspecific recombination. *Journal of General Virology* **78**: 2101 –2111.

Dank der Autoren

Unser aufrichtiger Dank gilt Dr. Urs Vögeli von der Kontrollstelle für Chemie- und Biosicherheit (KCB) des Kantons Basel-Stadt, der diese Studie ermöglicht und mit wertvollen Kommentaren begleitet hat.

Wir danken auch allen Interviewpartnern und Interviewpartnerinnen für die interessanten Gespräche: Beat Jans von Pro Natura, Dr. Urs Niggli vom Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Dr. Hans Hosbach vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Dr. Klaus Ammann vom Botanischen Garten in Bern, Dr. Jacques Morel, Dr. Paul Steffen und Dr. Olivier Felix vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Dr. Ingrid Nöh und Dr. Anne Miehe vom Umweltbundesamt in Berlin (UBA), Dr. Padrout Fried, Dr. Monika Messmer, Dr. Franz Biegler und Dr. Andrea Raps von der Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL).

Einen besonderen Dank gilt Frau Dr. Barbara Weber vom Öko-Institut e.V. in Freiburg für die anregenden Gespräche und für ihre kritische Durchsicht des Manuskripts.