

Functional Food oder verschiedener wirksamer Produkte untereinander (TAPPESER, 2003).

Bezogen auf die Wirkung von in Pflanzen produzierten fremden Proteinen muss berücksichtigt werden, dass deren Ausbildung nicht immer dem Protein aus der Ursprungspflanze entspricht. Die mit dieser unterschiedlichen Struktur einhergehende unterschiedliche Wirkung kann nicht unbedingt vorherbestimmt werden. Weiterhin ist es notwendig, eine Expressionssteigerung zu erzielen, sodass das Zielprotein in ausreichendem Maß vorhanden ist. Zurzeit wird eine ausreichende Steigerung der Expressionsprodukte nicht in allen Systemen erreicht.

10.2.3 Ökologische Risiken

873. Bezüglich der möglichen ökologischen Risiken der "grünen" Gentechnik liegen große Wissenslücken vor. Dies gilt sowohl hinsichtlich der Eintrittswahrscheinlichkeit von ökologischen Schäden als auch hinsichtlich der möglichen Schadensausmaße. Daher liegen Schadensmöglichkeiten im Modus der Ungewissheit vor (siehe auch WBGU, 1999, S. 112). Dazu tragen folgende Faktoren bei:

- das Fehlen verlässlicher ökologischer Basisdaten
- im Experiment gewonnene Ergebnisse können nur unter großen Unsicherheiten und ohne hinreichende Berücksichtigung lokaler ökologischer Kontexte auf großräumige Freilandbedingungen übertragen werden (siehe auch MARVIER, 2002),
- die Schwierigkeit, das Auftreten seltener Ereignisse innerhalb kurzfristig angelegter Experimente oder Monitoringprogramme nachzuweisen,
- das Problem der zeitlichen Verzögerung und örtlichen Verschiebung zwischen der Ausbringung von GVO und den Manifestationen ökologischer Auswirkungen,
- Triggereffekte: Wirkungen entfalten sich nur unter bestimmten ungünstigen Randbedingungen oder Extremsituationen, zum Beispiel unter (ökologischen) Stressbedingungen wie extremer Witterung etc. und bleiben daher lange Zeit verborgen,
- Eigenschaften der in gentechnisch veränderte Pflanzen insertierten Gene (Fähigkeit zur Selbstreproduktion, Adaptabilität, situative Vermehrungs- und Kompostierungsraten, erschwerte oder fehlende Rückholbarkeit usw.),
- mangelndes Wissen bezüglich der Komplexität (Wechselwirkungen, Rückkopplungen etc.) von Ökosystemen.

Daher lässt sich aus den bisherigen Erfahrungen mit gentechnisch veränderten Pflanzen nicht mit Sicherheit auf die objektive Wahrscheinlichkeit der Risiken der heutigen und erst recht nicht auf die Risiken in der Zukunft entwickelter gentechnisch

veränderten Pflanzen schließen. Ein abwägendes und abschließendes Urteil über die ökologischen Risiken der "grünen" Gentechnik kann unter anderem auch deshalb noch nicht gefällt werden, weil das Eintreten der möglichen Schadensereignisse, und damit deren Nachweis, Jahrzehnte beanspruchen kann. Also muss gegenwärtig unter Ungewissheit sowie unter Bedingungen wissenschaftlicher Kontroversen entschieden und gehandelt werden. Aufgrund der bestehenden Ungewissheiten ist eine besondere Sorgfalt bei der Bewertung ökologischer Risiken an den Tag zu legen.

874. Die Einschätzung der bestehenden Risiken ist abhängig von der Art des zugrunde gelegten Konzepts. Die Kontroverse zwischen additivem und synergistischem Risikokonzept ist hierfür exemplarisch (Deutscher Bundestag, 1987; REGAL, 1994; HEYWOOD und WATSON, 1995). Im *additiven* Konzept geht man davon aus, dass sich das Schadenspotenzial eines gentechnisch veränderten Organismus aus dem Risiko des unveränderten Organismus und dem der jeweils zugefügten Gensequenz zusammensetzt. Im *synergistischen* Konzept wird die Möglichkeit der unvorhersagbaren Entstehung emergenter und unerwünschter, womöglich gar adaptiver Eigenschaften betont. Der derzeitige Stand der Forschung legt es nahe, in Bezug auf ökologische Risiken synergistische Konzepte anzuwenden, weil die bisherigen Techniken eine im Detail kontrollierbare Integration des eingefügten Gens in das Zielgenom nicht immer ermöglichen. Interaktionen zwischen dem Transgen und dem genetischen Hintergrund des Empfängerorganismus, transgene Sequenzen, welche selbst die Eigenschaft besitzen, unter bestimmten Bedingungen mit einer Änderung des Expressionsverhaltens zu reagieren, oder Interaktionen zwischen viralen Faktoren und dem Wirtsorganismus können zur instabilen Ausprägung transgener Merkmale führen (z. B. TAPPESER et al., 2000; PICKARDT und de KATHEN, 2002). Es ist nicht widersprüchlich, im Hinblick auf gesundheitliche Risiken mit additiven und im Hinblick auf ökologische Risiken mit synergistischen Modellen zu arbeiten, sofern sich die jeweilige Modellierung plausibel begründen lässt.

875. Ein anderer Streitpunkt betrifft die Frage, ob und inwieweit es sich bei den Risiken der "grünen" Gentechnik um "besondere" Risiken handele, das heißt um solche, die bei herkömmlichen Nutzpflanzen prinzipiell nicht auftreten können. Es wird von einigen Gentechnik-kritischen Autoren gefordert, die Anerkennung der Besonderheit der Risiken zur Voraussetzung jeder Risiko-Nutzen-Abwägung zu machen (Grüne Akademie, 2001, S. 14). Die Debatte um "besondere" Risiken stand auch im Mittelpunkt eines hinsichtlich Konzeption, Ablauf und Ergebnis umstrittenen Diskursverfahrens zu herbizidresistenten Pflanzen, das vom Wissenschaftszentrum Berlin organisiert wurde (zur Analyse des so genannten WZB-Verfahrens siehe SKORUPINSKI und OTT, 2000, S. 114 ff.). Ein Konsens in der Frage nach "besonderen" Risiken konnte in diesem Verfahren unter den Beteiligten nicht erzielt werden. Aus Sicht der Organisatoren jedoch konnte es als ein Ergebnis des

Diskursverfahrens gelten, dass es keine erkennbaren besonderen Risiken gentechnisch veränderter herbizidresistenter Pflanzen gibt (vgl. BORA und van den DAELE, 1997, S. 141). Als "besondere" Risiken wurden von den Organisatoren dieses Verfahrens allerdings nur solche betrachtet, die neuartig *und* für transgene Pflanzen spezifisch ("methodenspezifisch") sind, also bei herkömmlichen Züchtungstechniken prinzipiell nicht auftreten können. Diese Definition machte es nahezu unmöglich, besondere Risiken nachzuweisen (SKORUPINSKI und OTT, 2000, S. 128 f.). Als "besonderes" Risiko könnten allenfalls die oben genannten Pleiotropie- oder Positionseffekte angesehen werden, welche in der herkömmlichen Züchtung durch einen klaren Regulationszusammenhang der Gensequenzen kaum auftreten. Die ebenfalls als "besonderes Risiko" bezeichneten Faktoren Unkalkulierbarkeit, Irreversibilität oder der Zeitfaktor (mögliche Schäden erst nach langer Zeit) sind insofern keine besonderen Risiken, da diese Faktoren zum Beispiel auch bei der Aussetzung und Einschleppung gebietsfremder Kulturarten (KOWARIK, 2003; vgl. Tz. 125) und beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln auftreten können. Die Argumentation hinsichtlich besonderer Risiken hat sich insgesamt als nicht weiterführend erwiesen. Die Einschätzung der Risiken der "grünen" Gentechnik kann aus der Sicht des Umweltrates im Rahmen einer "normalen" Risikobeurteilung erfolgen, in der normative Maßstäbe wie das Vorsorgeprinzip und die Verantwortung für die nachfolgenden Generationen ernst genommen werden.

10.2.3.1 Der Begriff des ökologischen Schadens

876. Ökologische Schäden sind schwierig fassbar, weil durch vielfältige Eingriffe des Menschen in natürliche Prozesse die Abgrenzung zwischen Schaden und normalen Veränderungen problematisch ist. Daher ist es strittig, ob Ereignisse wie Ausbreitung transgener Organismen, Genfluss, Pollenexposition und dergleichen bereits an sich als ökologische Schäden zu gelten haben (BARTSCH, 2004). Deshalb bedarf es eines gesellschaftlichen Konsenses, ob und wann eine durch GVO ausgelöste Veränderung der natürlichen Umwelt einen ökologischen Schaden darstellt. Es müssen daher eine Definition des ökologischen Schadens vorgenommen, Schutzgüter identifiziert und Schwellen festgelegt werden, jenseits derer Ereignisse, die sich kausal auf GVO zurück führen lassen, aber sich gemäß biologischen Gesetzmäßigkeiten vollziehen (beispielsweise Genfluss), einen ökologischen Schaden darstellen. Die Konzeption eines ökologischen Schadens muss in ihrer Sachdimension prinzipiell einer Operationalisierbarkeit zugänglich, das heißt in ein Messprogramm überführbar sein (Tz. 928-930).

877. Der Begriff des ökologischen Schadens ist bislang von der Rechtswissenschaft nicht einheitlich definiert (LUMMERT und THIEM, 1980; NAWRATH, 1982; FEESDÖRR et al., 1992; ERICHSEN, 1993; MEYER-ABICH, 2001; KOKOTT et al., 2003).

Einvernehmen liegt dagegen hinsichtlich des Schutzobjektes vor, nämlich des Naturhaushaltes mit seinen Bestandteilen und in seinem Wirkungsgefüge (ERICHSEN, 1993, S. 25; MEYER-ABICH, 2001, S. 187). Schutzgüter sind laut § 1 GenTG "Leben und Gesundheit von Menschen, Tiere, Pflanzen sowie die sonstige Umwelt in ihrem Wirkungsgefüge und Sachgüter" und laut Art. 1 Freisetzungsrichtlinie (2001/18/EG) die menschliche Gesundheit und die Umwelt.

Ökologische Schäden sind nach ERICHSEN (1993, S. 25) und KOKOTT et al. (2003, S. 9) grundsätzlich Schäden an kollektiven Naturgütern, nämlich an Naturgütern, die allen Menschen in einem Staat zur Nutzung offen stehen, wogegen MEYER-ABICH (2001, S. 188) diese Abgrenzung nicht unterstützt und individuelle Schäden in den Begriff mit einschließt. Für ökonomische Analysen der Beeinträchtigungen von Naturgütern, an denen keine individuellen Rechtspositionen bestehen, arbeiten KOKOTT et al. (2003) mit einer Arbeitsdefinition für ökologische Schäden (siehe Kasten).

Arbeitsdefinition "ökologischer Schaden"

Umweltschaden (*Umweltschaden im weiteren Sinn*) bezeichnet jede durch eine Umwelteinwirkung herbeigeführte Schädigung an Individualrechtsgütern und jeden ökologischen Schaden.

Ökologischer Schaden (*Umweltschaden im engeren Sinn*) ist jede erhebliche und nachhaltige Beeinträchtigung der Naturgüter, die nicht zugleich einen individuellen Schaden darstellt. Erfasst sind insbesondere Beeinträchtigungen von Luft, Klima, Wasser, Boden, der Tier- und Pflanzenwelt und ihrer Wechselwirkungen. Eine Beeinträchtigung ist insbesondere dann erheblich, wenn sie Bestandteile [und Funktionen] des Naturhaushaltes betrifft, die einem besonderen öffentlich-rechtlichen Schutz unterliegen. Sie ist nachhaltig, wenn sie nicht voraussichtlich innerhalb eines kurzen Zeitraumes durch natürliche Entwicklungsprozesse ausgeglichen wird. Diesbezüglich sind zur Vermeidung volkswirtschaftlich unsinniger Maßnahmen Erheblichkeitsschwellen festzulegen (de minimis-Regel).

Quelle: KOKOTT et al., 2003, S. 11, leicht verändert durch Hinzufügung von "und Funktionen"

Bei der Bewertung der ökologischen Risiken der "grünen" Gentechnik liegt ein schutzgutbezogener Ansatz nahe, der für die Praxis des Monitorings präzisiert werden muss. Im Anschluss an die vorliegenden definitorischen Bemühungen lassen sich ökologische Schäden allgemein als Beeinträchtigung natürlicher Schutzgüter (etwa gemäß des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (CBD), BNatSchG § 1 und 2 oder Gentechnikgesetz) in ihren Komponenten oder in ihren Wirkungsgefügen definieren (ähnlich auch MEYER-ABICH, 2001, S. 84; BARTSCH, 2004). Dabei ist zu bedenken, dass laut § 2 Abs. 9 BNatSchG die wild lebenden Tiere und Pflanzen und ihre Lebensgemeinschaften als Teil des Naturhaushalts in ihrer *natürlichen und historisch gewachsenen Artenvielfalt* zu schützen sind.

Diese Schutzgüter verweisen auf höherstufige Ziele wie den Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen, der Biodiversität und einer dauerhaft umweltgerechten Landnutzung. Seit der Ratifizierung des Übereinkommens über die biologische Vielfalt besteht die völkerrechtliche Verpflichtung, "die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft (...) und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören" (Art. 2 CBD) zu schützen. Unter ökologischen Risiken werden im Folgenden daher auch mögliche unerwünschte Auswirkungen auf das Schutzgut der biologischen Vielfalt im Sinne dieses Übereinkommens betrachtet (z. B. KOWARIK und SUKOPP, 2000; vgl. auch Kap. 3.1).

Hervorzuheben ist, dass § 1 GenTG die natürliche Umwelt "in ihrem Wirkungsgefüge" als Schutzgut bestimmt. Der Begriff des Wirkungsgefüges umschließt die dynamischen und wechselseitigen Zusammenhänge zwischen Menschen, Tieren, Pflanzen sowie der sonstigen Umwelt und ermöglicht eine Bezugnahme auf das naturschutzrechtliche Schutzgut "Naturhaushalt" (HIRSCH und SCHMIDT-DIDCZUHN, 1991).

Die Schwierigkeit liegt nicht darin, die wesentlichen Schutzgüter zu identifizieren, sondern darin festzulegen, welche durch GVO hervorgerufenen Veränderungen als Schäden welcher Wertigkeit anzusehen sind, und aus diesen Festlegungen Handlungsanweisungen zu gewinnen. Eine darauf bezogene Operationalisierung wird dadurch erschwert, dass natürliche Schutzgüter eine innere Dynamik aufweisen und die natürlichen Veränderungen (Genfluss, Populationsschwankungen, Veränderungen von Artzusammensetzungen in Ökosystemen usw.) von Veränderungen abgegrenzt werden müssen, die möglicherweise durch GVO ausgelöst wurden.

10.2.3.2 Operationalisierungsstrategien ökologischer Schäden im Kontext der "grünen" Gentechnik

878. Als grundlegend für eine Operationalisierung der Definition eines ökologischen Schadens wurde im "Konzept für das Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen (GVO)" der gleichnamigen Bund/Länder AG (BLAG, 2002) die Definition ökologischer Schäden des SRU (1987, Tz. 1691) aufgegriffen. In Fortentwicklung dieses ursprünglich im Kontext der Ökotoxikologie entwickelten Ansatzes versteht der Umweltrat hier als *Indikator* für Schäden an der natürlichen Umwelt in ihrem Wirkungsgefüge, die durch gentechnisch veränderte Organismen verursacht werden können, das Überschreiten natürlicher Variationsbreiten, das heißt solche Veränderungen, die über die natürlichen Variationsbreiten der betroffenen genetischen Vielfalt, Populationen oder Ökosysteme hinausgehen. Ein Beispiel dafür sind mit Hinblick auf die ökosystemare Ebene Veränderungen, die eine Überforderung der natürlichen Pufferungsfähigkeit ("Resilienz") eines Ökosystems darstellen (ERICHSEN, 1993). Ein Überschreiten der natürlichen Variationsbreiten sollte aus Vorsorgegründen

als Anlass für weitere Untersuchungen und gegebenenfalls für Maßnahmen genommen werden.

Dieser Indikator ist sachgerecht insofern, als die natürliche Variabilität der Schutzgüter umfassend berücksichtigt wird. Er führt allerdings zu einer Reihe von bislang ungelösten methodischen, empirischen und pragmatischen Schwierigkeiten hinsichtlich ihrer Operationalisierung auf unterschiedlichen Skalen. Sofern dieser Indikator als Modellvorstellung genommen und damit zur Grundlage eines Monitoringkonzepts gemacht werden soll, ist diesen Schwierigkeiten besondere Aufmerksamkeit zu widmen. So muss beispielsweise dem Umstand Rechnung getragen werden, dass sich derartige Veränderungen oft nur über größere Zeiträume hinweg manifestieren. Zudem müssen natürliche Variationsbreiten bekannt sein, wenn Abweichungen von ihnen identifiziert werden sollen (Tz. 873).

Die nachfolgenden Ausführungen, die sich an der Unterscheidung von Ebenen der Biodiversität gemäß CBD orientieren, sind als Beiträge in Richtung auf eine theoretisch abgesicherte und im Rahmen eines Monitorings praktisch handhabbare Präzisierung des Variationsbreitenmodells zu verstehen.

10.2.3.3 Potenzielle Veränderungen der Biodiversität

879. Ursachen schädlicher Auswirkungen können auf den Ebenen der molekularen und physiologischen Prozesse, des Einzelorganismus, der Population, des Ökosystems und der Landschaft auftreten (Tab. 10-3). Folgende Ereignisse können laut Freisetzungsrichtlinie direkte oder indirekte schädliche Auswirkungen hervorrufen (Anhang II der RL, C.2.1.; zu schädlichen Auswirkungen vgl. auch NÖH, 2001):

- Ausbreitung von GVO in die Umwelt,
- Übertragung des eingefügten genetischen Materials auf andere Organismen oder denselben Organismus, sei er genetisch verändert oder nicht,
- phänotypische und genetische Instabilität,
- Wechselwirkung mit anderen Organismen,
- Änderungen der Bewirtschaftung, gegebenenfalls auch bei landwirtschaftlichen Praktiken (Abschn. 10.2.4).

In der Freisetzungsrichtlinie wird die Durchführung eines Monitorings nach Inverkehrbringen verbindlich festgeschrieben. Das Monitoring soll dazu beitragen (lt. Anhang II der Richtlinie) *direkte, indirekte, sofortige* (direkte oder indirekte) und *spätere* (direkte oder indirekte) sowie *kumulative* langfristige Auswirkungen gentechnisch veränderter Organismen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu ermitteln. Der Ausdruck "*Kumulative langfristige Auswirkungen*" bezieht sich auf die akkumulierten Wirkungen zahlreicher gestatteter Freisetzungen oder Ereignisse des

Inverkehrbringens (engl.: *consents*) auf die Gesundheit des Menschen und die Umwelt, und zwar unter anderem auf die Flora und Fauna, die Bodenfruchtbarkeit, den Abbau von organischen Stoffen im Boden, die Nahrungsmittel-/Nahrungskette, die biologische Vielfalt, die Gesundheit von Tieren und auf Resistenzprobleme in Verbindung mit Antibiotika (Anhang II der Richtlinie).

880. Die Ereignisse, die durch den Einsatz der Gentechnik auf den verschiedenen Ebenen der Biodiversität eintreten und sich manifestieren können, müssen im Sinne der vorgeschlagenen Definition quantitativ erfasst und mit dem natürlichen Auftreten solcher Ereignisse verglichen werden können (Tab. 10-3). Molekulare und physiologische Prozesse ändern sich natürlicherweise nur mit einer geringen Häufigkeit und vor allem nicht massenhaft. Bei unveränderten Umweltbedingungen sind viele phänotypische Ausprägungen im Verlauf der Evolution stabilisiert worden, wogegen Änderungen (Mutationen) auf genotypischer Ebene mit einer relativ gleichbleibenden Rate erfolgen. Phänotypische Veränderungen sind zuerst auf der Ebene des Individuums zu beobachten und sind in aller Regel in Verschiebungen der genotypischen Varianz (Anpassungspotenzial) begründet. Diese registrierbaren Veränderungen nehmen von der Ebene der Populationen bis hin zur Ebene der Landschaft immer weiter ab. Außerdem vergrößern sich die Zeiträume, innerhalb derer die Veränderungen sich vollziehen.

Tabelle 10-3

**Potenzielle Veränderungen durch die "grüne" Gentechnik
auf den Ebenen der Biodiversität**

Ebene	Direkte Auswirkungen, sofort und später, kumulativ	Indirekte Auswirkungen, sofort und später, kumulativ
Molekulare und physiologische Prozesse	<ul style="list-style-type: none"> – Veränderung des pflanzlichen Stoffwechsels über Positions- oder Pleiotropieeffekte – Transformations- oder Rekombinationsereignisse zwischen Pflanzenzellen und Mikroorganismen 	<ul style="list-style-type: none"> – Verwechslung verschiedener gentechnisch veränderter Varianten der gleichen Nutzpflanzen – z. B. von Mais für den menschlichen Bedarf mit Futtermais (Starlink-Affäre) – mit dem Risiko allergener oder toxischer Wirkung – Unverträglichkeiten des veränderten Stoffwechselproduktes in der Nahrungskette
Individuum	<p>Veränderungen individueller Merkmale und Eigenschaften der Organismen durch</p> <ul style="list-style-type: none"> – Introgression – Hybridisierung 	<ul style="list-style-type: none"> – Weitergabe der integrierten Sequenzen in die Population – Weitergabe der integrierten Sequenzen in verwandte Arten – Unverträglichkeiten des veränderten Stoffwechselproduktes in der Nahrungskette
Population	<ul style="list-style-type: none"> – Vermehrung und Ausbreitung rekombinanter Pflanzen – Resistenzentwicklungen 	<ul style="list-style-type: none"> – Die Mehrzahl der transgenen Pflanzen besitzen Eigenschaften wie Herbizid- oder Insektenresistenz, die Wildpflanzen einen Fitness-Vorteil verschaffen könnten – Bei Insektiziden in transgenen Pflanzen (Bt-Toxin) oder bei chemisch-biologischen Mitteln Auswirkungen auf andere Insekten; bei Fungiziden in transgenen Pflanzen oder anderen Mitteln auf nützliche Pilze auf Blättern und im Boden – Unverträglichkeiten des veränderten Stoffwechselproduktes in der Nahrungskette

Ökosystem	<ul style="list-style-type: none"> – Nahrungsketteneffekte (Räuber-Beute-Prozesse) – Wirkungen auf das Artenspektrum – Wirkungen auf den Stoffhaushalt (biogeochemische Prozesse) 	<ul style="list-style-type: none"> – Neue, nicht-selektive und wirksamere Herbizide, die in Kombination mit gentechnisch veränderten Pflanzen eingesetzt werden, können auf die Ausbreitung von Pflanzen, Tieren oder Mikroorganismen wirken (Toxizität, Resistenzbildung, Artenverschiebung). – Unverträglichkeiten des veränderten Stoffwechselproduktes in der Nahrungskette
Landschaft	<ul style="list-style-type: none"> – Merkmale der Landschaftsausstattung – Veränderungen des Landschaftsbildes durch Umstellung der landwirtschaftlichen Bearbeitungsform 	<ul style="list-style-type: none"> – Verlust der Extremstandorte als Rückzugsflächen für gefährdete Arten durch Gebrauch bisher von der Landwirtschaft gemiedener Flächen wie versalzter, sehr feuchter oder sehr trockener Standorte
SRU/UG 2004/Tab. 10-3		

Systemisch bedingt werden Veränderungen auf der genetischen Ebene zuerst nachweisbar sein, auf der Art- und Populationsebene erst später; Änderungen auf Ökosystemebene werden durch die komplexen Funktionsketten zuletzt offensichtlich. Gleichzeitig steigt jedoch die Wahrnehmbarkeit der Veränderung. Dies bedeutet, dass vordringlich eine Operationalisierung des Variationsbreitenindikators auf der genetischen Ebene anzustreben ist. Mögliche Ansätze bieten die Konzepte der *Evolutionary Significant Units* (ESU's) (RYDER, 1986) beziehungsweise der *Operational Conservation Units* (OCU's) (DODSON et al., 1998; SCHLIEWEN et al., 2003).

881. Wissenschaftlich bewiesen ist inzwischen, dass Auskreuzungen der insertierten Gene in Wildpopulationen stattfinden können (Tz. 882). Der Verlust der natürlichen genetischen Vielfalt (genetische Erosion) ist nur mit großen Schwierigkeiten zu bestimmen. Mit der Entwicklung von hochvariablen DNA-Markern hat sich in den letzten Jahren die Möglichkeit ergeben, objektive Kriterien für den natürlichen Differenzierungsgrad von Populationen und Spezies zu schaffen. Dennoch ist bis zum heutigen Zeitpunkt wenig über den Grad und die Bedeutung lokaler genetischer Differenzierung vor allem mitteleuropäischer Populationen bekannt (WINGENDER und KLINGENSTEIN, 2000). Es fehlt damit auch an objektiven Einschätzungen darüber, welchen potenziellen Verlust und welchen Schaden der Einfluss von artgleichem, aber gentechnisch verändertem Genmaterial hervorrufen kann. Die theoretisch denkbaren negativen Effekte können im Laufe längerer Dauer der Einkreuzungen (kumulativ) weit über den Verlust lokaler genetischer Differenzierung hinausgehen.

Molekulare und physiologische Prozesse können durch Positionseffekte und *Gene Silencing* sowie andere unerwartete Zusammenhänge (z. B. Temperaturabhängigkeit, Virusbefall) zu unerwartetem Verhalten der gentechnisch veränderten Pflanzen führen (SAXENA und STOTZKY, 2001; PICKARDT und de KATHEN, 2002). Dadurch können der Stoffwechsel des GVO und dessen Produkte mit unerwarteten Folgen für dessen Einbindung in Nahrungsnetze und Ökosysteme verändert werden. Unerwartete Eigenschaften der gentechnisch veränderten Pflanze sind zum Beispiel Lignin-Erhöhung in herbizidresistenten Sojabohnen (TAPPESER et al., 2000).

882. Auf der genetischen Ebene des *Individuums* können Veränderungen individueller Merkmale und Eigenschaften der Organismen durch Introgression oder Hybridisierung auftreten. Nachweise für Einkreuzungen von gentechnisch veränderten Pflanzen in Wildpopulationen liegen zum Beispiel für Einkreuzungen in die Wildform der Zuckerrübe, des Rapses und der Sonnenblume vor (DESPLANQUE et al., 2002; HALFHILL et al., 2002; RIEGER et al., 2002; SNOW et al., 2003). Literaturübersichten über die durch Pollenflug überwundenen Distanzen für Mais, Raps und Weizen finden sich in TREU und EMBERLIN (2000) und BARTH et al. (2003). Multiresistenzen durch die Übertragung transgenen Pollens haben sich beim Raps gebildet (HALL et al., 2000). Eine Studie der *University of Newcastle* wies nach, dass insertierte bakterielle Gensequenzen – wie auch gentechnisch unveränderte DNA-Sequenzen – im menschlichen Verdauungssystem kurzzeitig stabil bleiben können (Food Standards Agency, 2002). Auch in der Natur findet Genfluss statt (LEVIN und KERSTER, 1974; ELLSTRAND und HOFFMANN, 1990). Jedoch stammen die Gensequenzen aus Genen, die natürlicherweise in den beteiligten Populationen vorkommen oder aus artverwandten Kultursorten (BECKER, 2000), nicht jedoch aus anderen Arten, Ordnungen und Klassen. Die Häufigkeit des Genflusses variiert stark zwischen den einzelnen Pflanzenfamilien und Arten, auch von Jahr zu Jahr. Mikroorganismen, insbesondere Bakterien, nutzen horizontalen Gentransfer, um die evolutiven Nachteile durch die fehlende sexuelle Reproduktion auszugleichen. Es wurde nachgewiesen, dass bei diesen Vorgängen ebenfalls veränderte Gensequenzen übertragen werden können, die ein Mikroorganismus möglicherweise zuvor aus einem GVO in sein Genom eingebaut hatte (ECKELKAMP et al., 1998a; ECKELKAMP et al., 1998b; TAPPESER et al., 1999).

Das natürliche Auftreten von Genfluss innerhalb einer *Population* (als funktioneller Einheit der Art) bildet ein dem System inhärentes Evolutionspotenzial für dieselbe Art. Die arteigene genetisch Differenzierung ermöglicht eine Anpassung an die ökologischen Faktoren des Habitats (Klima, Boden, biotische Elemente); deshalb wird zunehmend auch in Rekultivierungsprojekten darauf geachtet, lokal angepasste Arten zu verpflanzen, denn nur diese gewährleisten ein stabiles Überleben der Population (FRANKEL und SOULÉ, 1981; LESICA und ALLENDORF, 1999; GROTH et al. 2003;

RIEDL, 2003). Die Mehrzahl der transgenen Pflanzen besitzen Eigenschaften wie Herbizid- oder Insektenresistenz, wobei insbesondere letztere Wildpflanzen nach Einkreuzung einen Fitness-Vorteil verschaffen könnten.

Auf der Ebene der *Ökosysteme* können sich die veränderten Konkurrenzverhältnisse zwischen verschiedenen Arten oder die veränderten Nahrungsketten so auswirken, dass zum Beispiel ein Wald degradiert. Transgene, die beispielsweise das Cellulose-Lignin-Verhältnis bei Bäumen vorteilhaft für die Papierproduktion verändern, können die Stabilität holziger Pflanzen beeinflussen. Eine Ausbreitung dieser Gene in Waldökosysteme könnte deren Zusammensetzung und langfristige Existenz gefährden, da die Standfestigkeit der Bäume gegenüber mechanischen Einflüssen wie Stürmen reduziert und das Reproduktionsalter nicht mehr ausreichend häufig erreicht wird (ZOGLAUER et al., 2000; PICKARDT und de KATHEN, 2002).

Schließlich können sich ganze *Landschaftsszenarien* ändern, entweder – wie auch im Rahmen konventioneller Landwirtschaft möglich – durch Umstellung der Anbaumethoden selbst, etwa bei Verdrängung des ökologischen Landbaus (Tz. 890-891, 947), oder durch die In-Kulturnahme bisheriger Extremstandorte (nasse, trockene, salzhaltige Böden) durch für diese Standorteigenschaften gentechnisch modifizierte Ertragspflanzen. Hinsichtlich dieser Flächen könnten insbesondere Interessenkonflikte mit dem Naturschutz auftreten.

10.2.3.4 Voraussetzungen der Operationalisierung

883. Soll das Schutzgut "Umwelt in ihrem Wirkungsgefüge" im Rahmen eines Monitoringkonzeptes anhand des Modells natürlicher Variationsbreiten präzisiert werden, so muss deren Kenntnis vorausgesetzt werden können, da sonst eine Beurteilung unmöglich ist. Daher ist es dringend erforderlich, natürliche Variationsbreiten zu ermitteln. Dabei ist zu beachten, dass die Feststellung der Kausalität zwischen den GVO und den Veränderungen von Variationsbreiten in vielen Fällen problematisch sein kann.

884. Ein umfassendes Monitoring muss so bald wie möglich begonnen werden, da andernfalls der "Normalzustand" (natürliche Variationsbreite) nicht mehr zu erfassen ist. Dabei sind sowohl die fallspezifische Überwachung (*case specific monitoring*) als auch die allgemein überwachende Beobachtung (*general surveillance*) notwendig (Abschn. 10.3.5). Der Umweltrat fordert daher die rasche Ausweisung von GVO-freien Gebieten als Referenzflächen.

10.2.3.5 Pragmatische Eingrenzung der möglichen Untersuchungsobjekte

885. Eine Operationalisierung über Variationsbreiten ist in der Praxis nur in Verbindung mit einem "Raster" oder "Schema" sinnvoll, das daraufhin seligiert, welche Spezies, Populationen oder ökosystemaren Parameter auf mögliche Veränderungen ihrer Variationsbreiten hin näher untersucht werden sollen. Hinweise zur Einengung des Umfangs der notwendigen Untersuchungen bieten die experimentelle Sicherheitsforschung, die unbedingt notwendige freisetzungsbegleitende Sicherheitsforschung und die Umweltverträglichkeitsprüfung gemäß Freisetzungsrichtlinie.

886. Aussagen über durch gentechnisch veränderte Nutzpflanzen verursachte Veränderungen sind immer an die jeweiligen Standortvoraussetzungen gebunden. Es ist in der Regel problematisch, unter bestimmten Bedingungen gewonnene Erkenntnisse zu verallgemeinern. Eine genaue Einschätzung zum Beispiel des jeweiligen Auskreuzungspotenzials und der möglichen Invasivität einer gentechnisch veränderten Art oder ihrer Arthybriden ist grundsätzlich nur unter Berücksichtigung des jeweiligen ökologischen Kontextes möglich. Sofern wilde Verwandte einer gentechnisch veränderten Nutzpflanze im geplanten Ausbringungsgebiet existieren, werden Auskreuzungen mit hoher Wahrscheinlichkeit auftreten. Die DFG betont daher zu recht, dass Regionen oder Genzentren, in denen die Wildformen der Kulturpflanzen wachsen, bezüglich der Auskreuzungsproblematik besondere Beachtung verdienen (DFG, 2001, S. 19). Ein Suchschema muss auf unterschiedliche ökologische Kontexte bezogen werden können (hierzu siehe konzeptionell AMMANN et al., 1996). Die notwendige Kontextspezifität der Beurteilung ist ein starkes Argument für eine langfristige und regional spezifizierte ökologische Begleitforschung beziehungsweise für ein Monitoring (Tz. 929).

10.2.3.6 Schadensschwellen

887. Das Eintreten eines ökologischen Schadens impliziert nicht, dass dieser nicht um eines hohen Nutzens willen in Kauf genommen werden kann (§ 16 Abs. 1 GenTG). Um im Falle des Eintritts eines Schadens rechtlich tätig werden zu können, muss eine Schadensschwelle festgelegt werden, bei deren Erreichen eine Behörde zum Handeln verpflichtet ist. Nicht jeder feststellbare Schaden muss automatisch einen Abbruch des Anbaus gentechnisch veränderter Nutzpflanzen nach sich ziehen.

888. Bei der Festlegung des unakzeptablen Schadensausmaßes sollten folgende Kriterien berücksichtigt werden:

- *Ausbreitungspotenzial:* Ein Vorschlag zur Einstufung wurde für ein Projekt in der Schweiz unterbreitet (AMMANN et al., 1996) und bereits vom Umweltrat 1998

aufgegriffen (SRU, 1998, Tz. 86). Vorgesehen ist hier die Erstellung von Szenarien, die problemspezifisch nach Risikofaktoren ausgearbeitet werden (Hybridisierungs- und Pollenausbreitungsindex, Diasporenausbreitungsindex, Verbreitungsfrequenz) und für den entsprechenden Risikofaktor spezielle Schadenssituationen beschreiben sollen.

- *Risikobewertung der eingeführten Transgene*: Im Hinblick auf eine weitere und unkontrollierte Ausbreitung transgener Eigenschaften empfahl der Umweltrat bereits 1998 in Anlehnung an die Risikobewertung des Ausbreitungspotenzials ein Schema zu entwickeln, welches eine Klassifizierung von Fremdgenen und der von ihnen vermittelten Eigenschaften im Hinblick auf ökologische Konsequenzen erlaubt (SRU, 1998, Tz. 87).
- *Schutzzielebene* (Tab. 10-3): Bewertung der betroffenen genetischen, artlichen oder Lebensraumqualität (je höher die Wertigkeit des Schutzgutes, desto höher die Wertigkeit des Schadens).

Eine integrierte Bewertung der Veränderungen, die über die natürliche Variationsbreite der betroffenen Schutzgüter hinausgehen, zusammen mit diesen drei Faktoren könnte die vage Formulierung des derzeit geltenden § 16 GenTG konkretisieren, wonach die Genehmigung des Inverkehrbringens zu erteilen ist, wenn "nach dem Stand der Wissenschaft im Verhältnis zum Zweck des Inverkehrbringens unvertretbare schädliche Einwirkungen auf die in § 1 Nr. 1 bezeichneten Rechtsgüter nicht zu erwarten sind."

Der Umweltrat schlägt vor, dass ein Überschreiten der natürlichen Variationsbreite spätestens dann als Anlass zu vorsorgenden Maßnahmen gilt, wenn sowohl die Einstufung der Abweichung von der natürlichen Variationsbreite selbst als auch die Mehrzahl der drei vorgeschlagenen zusätzlichen Bewertungsfaktoren in die jeweils höchste Kategorie fällt (Tab. 10-4).

Zielebenen (Spalte 1 und 5 der Tab. 10-4) sind die in Tabelle 10-3 genannten Ebenen beziehungsweise die Ebenen des Schutzgutes Biodiversität (Tz. 880, siehe auch Kap. 3.1, Tz. 101). Die Abweichungen von der natürlichen Variationsbreite (Spalte 2 der Tab. 10-4) können je nach Zielebene in unterschiedlich langen Zeiträumen auftreten. Die Abgrenzung zwischen den jeweiligen vorgeschlagenen drei Kategorien (niedrig/mittel/hoch bzw. risikolos/riskant/gefährlich – vgl. Tab. 10-4) ist wissenschaftlich zu konkretisieren. Das in Tabelle 10-4 dargestellte Schema ist daher nicht als endgültig anzusehen, sondern durch Modifikationen und Präzisierungen weiter auszubauen.

Tabelle 10-4

**Vorschlag eines Schemas zur Risikobewertung ökologischer
Wirkungen gentechnisch veränderter Organismen**

Zielebene	Abweichung von der natürlichen Variationsbreite			Ausbreitungspotenzial			Eigenschaft des Transgens			Schutzstatus der Zielebene		
	gering	mittel	hoch	gering	mittel	hoch	risikolos	riskant	gefährlich	gering	mittel	hoch
Beispiel 1: Käferart xy			X									X
Bewertung: Schaden unverträglich	Kommentar: Verminderung der Population um 45%			Kommentar: Trifft hier nicht zu			Kommentar: Trifft hier nicht zu			Kommentar: Art der roten Liste		
Beispiel 2: Auftreten eines Pflanzenhybrids xy	X				X				X			
Bewertung: Schaden nicht unverträglich	Kommentar: In 10 % der Vegetation			Kommentar: Nach Tabelle Amman (1996) mittel			Kommentar: Bildet toxische Substanzen aus			Kommentar: Trifft nicht zu		

SRU/UG 2004/Tab. 10-4

10.2.3.7 Zusammenfassung und Empfehlungen

889. Die bisherigen Erfahrungen mit der "grünen" Gentechnik stellen noch keine ausreichende Induktionsbasis für eine Beurteilung des ökologischen Gesamtrisikos dar. Der Umweltrat sieht in dem hier im Ansatz vorgestellten Konzept zur Ermittlung und Bewertung ökologischer Schäden einen Vorschlag für weitere mögliche Ausarbeitungen. Es kann als Diskussionsgrundlage für die Ausgestaltung des Monitorings beziehungsweise der Umsetzung der Freisetzungsrichtlinie dienen (Tz. 914-915). Da es unmöglich ist, alle Schutzgüter auf mögliche Schäden hin zu untersuchen, ist die Eingrenzung anhand von Suchschemata unerlässlich. Mit der Erarbeitung eines entsprechenden Schemas sollte umgehend begonnen werden. Es ist wünschenswert, dass die Festlegung von Abbruchkriterien noch vor dem Inverkehrbringen neuer GVO und vor der Einführung des Monitorings gemäß Richtlinie 2001/18/EG vorgenommen wird.

Grundlegende Voraussetzung für die Bewertung eines ökologischen Schadens ist das Vorhandensein so genannter *baselines* (Basisdaten) sowie von gentechnikfreien Gebieten als Referenzflächen. Der Umweltrat hält daher die Ausweisung solcher Flächen verbunden mit dem sofortigen Beginn eines grundlegenden Monitorings für

vordringlich. Die Ausweisung solcher Flächen sollte im Rahmen eines bundesweiten Landschaftskonzeptes erfolgen (siehe auch SRU, 2002a, Tz. 273).

10.2.4 Beeinträchtigungen gentechnikfreier Landwirtschaft

890. Neben den gesundheitlichen und ökologischen Risiken (Abschn. 10.2.2, 10.2.3) bringt der Einsatz der "grünen" Gentechnik auch Risiken für die Landwirtschaft mit sich. Solange etwaige Schäden lediglich den jeweiligen Anwender "grüner" Gentechnik betreffen, ergibt sich diesbezüglich allerdings kein Regelungs- oder Handlungsbedarf seitens des Staates. Bei Kenntnis der bestehenden Risiken liegt die Abwägung im Entscheidungsbereich der Landwirte. Andersartig sind solche Fälle, bei denen durch die Nutzung "grüner" Gentechnik anderen Landwirten Risiken aufgebürdet werden. Es steht zu befürchten, dass derartige negative externe Effekte in großem Umfang auftreten werden. Zu unterscheiden sind einerseits Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Produktionsverfahren, wie etwa das Auftreten von Resistenzen bei Schadinsekten (Tz. 893, 928), andererseits die Verursachung verschlechterter Vermarktungsmöglichkeiten der Produkte der gentechnikfreien Landwirtschaft – insbesondere die zu einer Kennzeichnungspflicht führenden Verunreinigungen der landwirtschaftlichen Produkte. Diese beiden Aspekte werden im Folgenden genauer dargestellt und bewertet.

891. Abgesehen von Fragen der Resistenzbildung ergeben sich die möglichen Beeinträchtigungen durch die Verunreinigungen landwirtschaftlicher Produkte einschließlich des Saatgutes mit Transgenen. Solche Verunreinigungen können durch biologische und technische Prozesse bei der landwirtschaftlichen Produktion sowie im Bereich des Handels und der Produktverarbeitung entstehen (vgl. NOWACK HEIMGARTNER et al., 2002). Tabelle 10-5 gibt einen Überblick über die kritischen Stellen für Verunreinigungen im Produktionsprozess. Die aufgeführten Verunreinigungsmöglichkeiten gilt es mit Blick auf bestimmte Produkte zu spezifizieren. Oftmals können mehrere Verunreinigungsmöglichkeiten auftreten und damit additiv wirken.