

Umweltnatur- & Umweltsoz

Broder Breckling
Gunther Schmidt
Winfried Schröder
Hrsg.

Gene

Systemische Risiken

Umweltnatur- & Umweltsozialwissenschaften

Reihenherausgeber:

A. Daschkeit, Kiel

O. Fränzle, Kiel[†]

V. Linneweber, Magdeburg

J. Richter, Braunschweig

S. Schaltegger, Lüneburg

R.W. Scholz, Zürich

W. Schröder, Vechta

Broder Breckling
Gunther Schmidt
Winfried Schröder
(Herausgeber)

GeneRisk

**Systemische Risiken der Gentechnik:
Analyse von Umweltwirkungen
gentechnisch veränderter Organismen
in der Landwirtschaft**

 Springer

Herausgeber
Broder Breckling
Universität Vechta
Lehrstuhl für Landschaftsökologie
Vechta
Deutschland
und

Zentrum für Umweltforschung und
nachhaltige Technologien (UFT)
Abt. 10 (Ökologie)
Universität Bremen
PF 330440
28334 Bremen
Deutschland
bbreckling@iuw.uni-vechta.de

Gunther Schmidt
Universität Vechta
Lehrstuhl für Landschaftsökologie
Vechta
Deutschland
gschmidt@iuw.uni-vechta.de

Winfried Schröder
Universität Vechta
Lehrstuhl für Landschaftsökologie
Vechta
Deutschland
wschroeder@iuw.uni-vechta.de

ISBN 978-3-642-23432-3

e-ISBN 978-3-642-23433-0

DOI 10.1007/978-3-642-23433-0

Springer Heidelberg Dordrecht London New York

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Einbandentwurf: deblik, Berlin

Gedruckt auf säurefreiem Papier

Springer ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media (www.springer.com)

Vorwort und Danksagung

Gentechnisch veränderte Organismen (GVO) sind Organismen, deren Erbanlagen mit speziellen Verfahren gezielt in einer Weise verändert worden sind, wie sie unter natürlichen Bedingungen durch Kreuzen oder natürliche Rekombination nicht vorkommt. Im Gegensatz zu gentechnischen Anwendungen in der Medizin, der roten Gentechnik, werden die gentechnisch veränderte Pflanzen (GVP) als Produkte der so genannten Grünen Gentechnik (GGT) außerhalb geschlossener technischer Apparaturen, nämlich in der Umwelt, angewendet. GV-Nutzpflanzen haben seit ihrer Erstzulassung im Jahr 1996 weltweit quantitativ an Bedeutung gewonnen. Im Jahr 2009 wurden GVP in 25 Ländern auf 134 Millionen Hektar, das sind rund 9% der globalen Landwirtschaftsfläche, angebaut. Dabei handelt es sich insbesondere um Pflanzen, die aufgrund von gentechnischen Veränderungen tolerant gegenüber Pflanzenschutzmitteln oder giftig für bestimmte Schadinsekten sind. Wie bei der herkömmlichen Züchtung geht es bei der GGT darum, den Pflanzen Merkmale zu verschaffen, die sich für die Erreichung bestimmter Ziele wie z. B. Ertragssteigerung positiv auswirken können. Dennoch gibt es in Wissenschaft und Öffentlichkeiten Fragen zur und Kritik an der GGT.

Ein Teil dieser Diskussion wird in der vorliegenden Studie aufgegriffen. Sie basiert auf Untersuchungen, die mit finanzieller Förderung des BMBF in dem Verbundprojekt *GeneRisk – Systemische Risiken der Gentechnik: Analyse von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Organismen in der Landwirtschaft* von mehreren Fächern wie Landschaftsökologie, Rechts-, Sozial-, Agrar- und Wirtschaftswissenschaften in den Jahren 2006 bis 2010 durchgeführt wurden. Mit einem solch breiten Fächerspektrum sollte die von der OECD¹ als *systemisches Risiko* eingestufte GGT beleuchtet werden. Eine systemischen Risiken angemessene, die Grenzen von Natur-, Gesellschafts- und Wirtschaftssystem querende Analyse und Bewertung der GGT wurde von den vorwiegend molekularbiologisch und biochemisch ausgerichteten Wissenschaften, die bislang die GGT-Forschung weitestgehend unter sich mit technologischen Ansätzen betrieben, nicht vorgenommen. Dabei blieben folgende Aspekte unberücksichtigt, die in GeneRisk neben anderen behandelt wurden:

¹ OECD (Organisation for economic co-operation and development) (2003) Emerging systemic risks in the 21st century: An agenda for action. OECD, Paris.

- großräumige ökologische Implikationen der GGT;
- Zusammenführung und räumliche Analyse themenrelevanter Daten in Geoinformationssystemen;
- Modellierung der Ausbreitung von GVO in der Umwelt; damit verknüpfte Probleme der Koexistenz von GV-Landwirtschaft einerseits sowie GV-freier, konventioneller und biologischer Landwirtschaft nebst Naturschutz andererseits unter wirtschaftlichen, ökologischen und juristischen Aspekten.

Der vorliegende Band fasst Ergebnisse des *GeneRisk*-Projektes zusammen. Er verdeutlicht, dass mit diesem Vorhaben ein Versuch unternommen wurde, das Phänomen GGT einer breiteren wissenschaftlichen Analyse und Diskussion als bislang zu unterziehen. Der Beitrag von *GeneRisk* dazu ist sicherlich ein Ausrufezeichen. Doch müsste die damit eingeschlagene Forschungsausrichtung ausgebaut werden. Denn öffentliche und politische Meinungsbildung basieren weniger auf dem, was auf molekularer Ebene passiert. Vielmehr orientieren sie sich – wie auch politische Entscheidungen – überwiegend an Phänomenen, die in der gesellschaftlichen Lebenswelt Spuren hinterlassen.

Im Bewusstsein der Signalwirkung und der Unvollkommenheit von *GeneRisk* danke ich allen, die an dem Zustandekommen und der Durchführung des Vorhabens mitgewirkt haben. Hierzu gehörten neben den Projektnehmern und den projektbegleitenden Arbeitsgruppen auch diejenigen, die als Bürger, Politiker und Verwaltungsfachleute in der niedersächsischen Kreisstadt Diepholz und im Landkreis Märkisch Oderland die öffentlichen Veranstaltungen von *GeneRisk* durch Interesse und beeindruckende Kenntnisse bereichert haben. Dieser Befund kontrastiert mit dem Versuch, „Interessensgruppen aus dem nichtwissenschaftlichen Bereich ... mit vagen Vermutungen und nicht belegbaren Behauptungen“² in Verbindung zu bringen. Zu danken ist auch Frau Arens und Herrn Dr. Martin Schmied vom Projektträger DLR Bonn des BMBF für die vorzügliche Begleitung des Vorhabens. Mein besonderer Dank gilt meiner Sekretärin, Frau Hellberg. Sie hat den Inhalt des Buches „in Form“ gebracht und das Projekt sicher durch die Klippen der bürokratischen Erfordernisse gelenkt.

Vechta, Deutschland

Winfried Schröder

² Broer I, Jung C, Ordon F, Qaim M, Reinhold-Hurek B, Sonnewald U, Tiedemann A von (2011) Response to the criticism by Taube et al. in ESEU 23:1, 2011, on the booklet “Green Genetic Engineering” published by the German Research Foundation (DFG). Environmental Sciences Europe 2011, 23:16. doi:10.1186/2190-4715-23-16

Inhaltsverzeichnis

1	GeneRisk – ein Überblick	1
	Gunther Schmidt und Winfried Schröder	
2	Systemische Risiken von GVO und ihre wissenschaftliche Analyse: Strukturelle Aspekte der Risiko-Charakterisierung von GVO	15
	Broder Breckling, Gunther Schmidt und Winfried Schröder	
3	Ökologische Wirkungspfadanalyse: Bt-Mais in der Umwelt	21
	Broder Breckling, Simone Böckmann und Hauke Reuter	
4	Entwicklung eines Modells zur Abschätzung der regionalen Pollenverbreitung von gentechnisch verändertem Mais (MaMo)	51
	Hauke Reuter, Simone Böckmann und Broder Breckling	
5	Anwendung des Modells MaMo zur Abschätzung des regionalen Genflusses bei Mais	61
	Broder Breckling, Hauke Reuter, Claudia Bethwell, Michael Glemnitz, Karen Höttl, Angelika Wurbs, Christiane Eschenbach und Wilhelm Windhorst	
6	Datengrundlagen und Entwicklung der Regionalstudien zur Modellierung des Anbaus von GV-Mais	93
	Claudia Bethwell, Christiane Eschenbach, Michael Glemnitz, Karen Höttl, Ulrich Stachow, Armin Werner, Wilhelm Windhorst und Angelika Wurbs	
7	Bundesweite Übertragung der Modellierungsansätze zum Anbau von GV-Mais	105
	Claudia Bethwell und Ulrich Stachow	
8	WebGIS für Monitoring und Risikoanalyse von GVO, Koexistenzregelungen und Anbauplanung	123
	Gunther Schmidt, Lukas Kleppin und Winfried Schröder	

9	Rechtliche Regelung systemischer Risiken von GVO: (Ökologische) Modellierung und ihre juristische Verwertbarkeit	151
	Jantje Struß und Gerd Winter	
10	Koexistenz-Studie Schleswig-Holstein	163
	Christiane Eschenbach und Wilhelm Windhorst	
11	Koexistenz gentechnikfreier und gentechniknutzender Landwirtschaft: Von individueller zu systemischer Konfliktlösung	185
	Gerd Winter und Sarah Stoppe-Ramadan	
12	Großflächiger Anbau von Bt-Mais und HR-Raps: Zahlungsbereitschaft und Nutzen-Kosten-Analyse	207
	Jan Barkmann, Christina Gawron, Rainer Marggraf, Ludwig Theuvsen und Manuel Thiel	
13	Stakeholder-Interaktionen im Überblick	221
	Broder Breckling	
14	Stakeholder-Interaktionen lokal: Chancen und Risiken der Grünen Gentechnik, Diskussionsveranstaltung am 26. November 2009 im Rathaus der Kreisstadt Diepholz	225
	Broder Breckling, Gunther Schmidt und Winfried Schröder	
15	Stakeholder-Interaktionen regional: Risikogovernance – Entwicklung eines Kommunikationsprozesses zum Umgang mit dem Anbau von GVO in der Region Märkisch-Oderland	237
	Claudia Bethwell, Thomas Weith und Klaus Müller	
16	Stakeholder-Interaktionen national: Der Runde Tisch Pflanzengenetik der Bundesministerien BMBF und BMVEL	261
	Broder Breckling, Gunther Schmidt und Winfried Schröder	
17	International vergleichende Analyse und Bewertung der Konzepte zur GVO-Risikoanalyse	269
	Hartmut Meyer	
18	Epilog: Gentechnik – Elemente eines Ausblicks	295
	Broder Breckling	
19	Veröffentlichungen aus dem GeneRisk Verbund-Zusammenhang	305
	Winfried Schröder	
	Sachverzeichnis	313

Mitwirkende

Jan Barkmann Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung,
Universität Göttingen, Platz der Göttinger Sieben 5, 37075 Göttingen,
Deutschland, j barkma@gwdg.de

Claudia Bethwell Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)
Müncheberg e.V., Institut für Landnutzungssysteme, Eberswalder Str. 84, 15374
Müncheberg, Deutschland, Claudia.Bethwell@zalf.de

Simone Böckmann Zentrum für Umweltforschung (UFT), Abt. 10 (Ökologie),
Universität Bremen, PF 330440 28334 Bremen, Deutschland

Broder Breckling Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Universität Vechta, PF
1553, 49364 Vechta, Deutschland;
Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT), Abt. 10
(Ökologie), Universität Bremen, PF 330440, 28334 Bremen, Deutschland,
bbreckling@iuw.uni-vechta.de

Christiane Eschenbach Ökologiezentrum, Universität Kiel, Olshausenstr. 75,
24118 Kiel, Deutschland, ceschenbach@ecology.uni-kiel.de

Christina Gawron Institut für Agrarökonomie, Universität Göttingen, Platz der
Göttinger Sieben 5, 37075 Göttingen, Deutschland

Michael Glemnitz Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)
Müncheberg e.V., Institut für Landnutzungssysteme, Eberswalder Str. 84, 15374
Müncheberg, Deutschland, mglemnitz@zalf.de

Karen Hörtl Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF)
Müncheberg e.V., Institut für Landnutzungssysteme, Eberswalder Str. 84, 15374
Müncheberg, Deutschland

Lukas Kleppin Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Universität Vechta, PF 1553,
49364 Vechta, Deutschland

Rainer Marggraf Institut für Agrarökonomie, Universität Göttingen, Platz der
Göttinger Sieben 5, 37075 Göttingen, Deutschland, rmarggr@gwdg.de

Hartmut Meyer Vereinigung Deutscher Wissenschaftler, In den Steinäckern 13, 38116 Braunschweig, Deutschland, hmeyer@ngi.de

Klaus Müller Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) Müncheberg e.V., Institut für Sozioökonomie, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Deutschland, kmueller@zalf.de

Hauke Reuter Zentrum für Umweltforschung (UFT), Abt. 10 (Ökologie), Universität Bremen, 28334 Bremen, Deutschland; Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT), Fahrenheitstr. 6, 28359 Bremen, hauke.reuter@zmt-bremen.de

Gunther Schmidt Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Universität Vechta, PF 1553, 49364 Vechta, Deutschland, gschmidt@iuw.uni-vechta.de

Winfried Schröder Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Universität Vechta, PF 1553, 49364 Vechta, Deutschland, wschroeder@iuw.uni-vechta.de

Ulrich Stachow Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) Müncheberg e.V., Institut für Landnutzungssysteme, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Deutschland, ustachow@zalf.de

Sarah Stoppe-Ramadan Forschungsstelle für Europäisches Umweltrecht (FEU), Universität Bremen, 28334 Bremen, Deutschland, sramadan@uni-bremen.de

Jantje Struß Forschungsstelle für Europäisches Umweltrecht (FEU), Universität Bremen, 28334 Bremen, Deutschland, jantje.struss@gmx.de

Ludwig Theuvsen Institut für Agrarökonomie, Universität Göttingen, Platz der Göttinger Sieben 5, 37075 Göttingen, Deutschland, theuvsen@uni-goettingen.de

Manuel Thiel Institut für Agrarökonomie, Universität Göttingen, Platz der Göttinger Sieben 5, 37075 Göttingen, Deutschland

Thomas Weith Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) Müncheberg e.V., Institut für Sozioökonomie, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Deutschland, Thomas.Weith@zalf.de

Armin Werner Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) Müncheberg e.V., Institut für Landnutzungssysteme, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Deutschland, awerner@zalf.de

Wilhelm Windhorst Ökologiezentrum, Universität Kiel, Olshausenstr. 75, 24118 Kiel, Deutschland, wilhelm@ecology.uni-kiel.de

Gerd Winter Forschungsstelle für Europäisches Umweltrecht (FEU), Universitätsallee, GW 1, D 28359 Bremen, gwinter@uni-bremen.de

Angelika Wurbs Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) Müncheberg e.V., Institut für Landnutzungssysteme, Eberswalder Str. 84, 15374 Müncheberg, Deutschland, awurbs@zalf.de

Kapitel 1

GeneRisk – ein Überblick

Gunther Schmidt und Winfried Schröder

1.1 Sozial-ökologische Forschung und systemische Risiken

Das Projekt GeneRisk hat sich mit Risiken beschäftigt, die mit der Nutzung und Anwendung gentechnischer Methoden in der Landwirtschaft verbunden sind. Das Verbundvorhaben wurde in der Zeit von 2006 bis 2010 zusammen mit anderen Vorhaben im Themenschwerpunkt „Sozial-ökologische Forschung“ gefördert. Die sozial-ökologische Forschung (SÖF) ist eine Fördermaßnahme, die das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) ausgeschrieben hat, um Implikationen des Zusammenwirkens von gesellschaftlichen und ökologischen Prozessen vertieft in ihrer gegenseitigen Wechselbeziehung zu analysieren. Gesellschaftlich gesteuerte Einwirkungen sind ein maßgeblicher Gestaltungsfaktor, der das ökologische Gefüge beeinflusst. Umgekehrt sind auch die natürlichen Bedingungen und Gegebenheiten sowie Folgewirkungen von Eingriffen eine wichtige Rückwirkung, die gesellschaftliche Entfaltungsmöglichkeiten fördert oder einschränkt. Dieses Wechselverhältnis an zentralen Fallstudien zu erhellen, war das Rahmenthema:

Die sozial-ökologische Forschung (SÖF) versteht sich als aktors- und problemorientierter Forschungstyp, bei dem Nachhaltigkeitsprobleme an der Schnittstelle zwischen Gesellschaft und Natur bearbeitet werden. Analysiert werden einerseits Materialflüsse, andererseits gesellschaftliche Transformationen mit dem Ziel, Handlungsstrategien für eine nachhaltigere Zukunft zu entwickeln.¹

Die SÖF wurde in einer Reihe von Kernthemen konkretisiert, darunter die Themenfelder „Klimaschutz und Klimawandel“ sowie „Nachhaltiger Konsum“ und „Nachwuchsförderung“. Der Bereich „Strategien zum Umgang mit systemischen Risiken“ war ebenfalls hier angesiedelt. Der Begriff des systemischen Risikos ging in die allgemeine Risiko-Debatte ein, nachdem er eine beispielgebende Rolle bei

¹ <http://www.sozial-oekologische-forschung.org/de/724.php>

G. Schmidt (✉)

Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Universität Vechta, PF 1553, 49364 Vechta, Deutschland
e-mail: gschmidt@iuw.uni-vechta.de

der Analyse von makroökonomischen Prozessen spielte. Dass bei hinreichend hoher Vernetzung der Ausfall einer „systemrelevanten“ Bank weitere Institute und schließlich das gesamte Finanzsystem in den Abgrund reißen kann, ist spätestens seit dem Bankrott der Lehman Bros. Bank Allgemeingut. Der Wirkungstyp, nach dem in einem hochgradig verknüpften und engmaschig vernetzten System eng umgrenzte Entwicklungen potenziell fundamentale Auswirkungen auf den gesamtsystemaren Zustand haben können, besitzt aber eine allgemeinere Bedeutung. Er gilt, wie Futtermittelskandale und kürzlich das Auftreten des EHEC-Erregers (Enterohämorrhagische *Escherichia coli*) veranschaulichten, mit besonderer Durchschlagskraft in biologischen Systemen. So hat ein Bakterium, das bereits bekannte Eigenschaften in neuartiger Kombination vereint, die verkauften Bockshornklee-Keimlinge eines einzelnen Bauernhofes verunreinigt. Die Verknüpfungen über den Landwirtschafts- und Lebensmittelsektor führten in der Folge nicht nur dazu, dass auf Europäischer Ebene ein großer Teil des Gemüsemarktes zusammenbrach. Per Importbeschränkungen folgten Auswirkungen bis in den russischen Raum. Bakterielle Rekombination als Prozess im nano-skaligen Bereich verknüpfte durch die Selbstvermehrung der biotischen Entitäten systemische Zusammenhänge über mehrere tausend Kilometer Entfernung. Dieses Prinzip der Skalen- und Wirkungsverknüpfung über einen weiten Bereich hinweg ist für systemische Risiken charakteristisch und wurde im Rahmen der SÖF in verschiedenen Projekten unterschiedlichen fachlichen Zuschnitts interdisziplinär untersucht:

Diese systemischen Risiken verfügen folglich über ein extrem hohes Schadenspotenzial. Eine ursprünglich als harmlos eingeschätzte Risikoquelle (bspw. Chemikalien, Mobilfunk) könnte über große Entfernungen oder nach einem Zeitraum der Latenz ungeahnte Schäden entfalten, die die Funktionsfähigkeit der betroffenen Systeme (Umwelt, Gesundheit, Finanz- und Arbeitsmärkte, gesellschaftliches Zusammenleben u.a.), aber auch des Ursprungssystems selbst, gefährden. Hinzu kommt, dass sich zwischen Ursache und Wirkungen über die eigentliche Quelle hinaus vielfach nur schwer direkte Zusammenhänge nachweisen lassen. In aller Regel sind systemische Risiken durch ein hohes Maß an Komplexität, Ungewissheit und Ambiguität gekennzeichnet.

Seit 2006 setzen sich fünf Projekte so brisanten Themen wie beispielsweise Übergewicht und Adipositas bei Jugendlichen oder der Trinkwasserverunreinigung durch Arzneimittelwirkstoffe auseinander. Im Rahmen einer Verstetigungsstrategie haben die Projekte seit 2008 innerhalb des bestehenden Forschungsprojekts oder in Form eines Anschlussvorhabens ihr Forschungsspektrum erweitert.²

Dies umreißt den Rahmen, in den das GeneRisk-Projekt eingebettet ist. Gentechnik als molekularbiologisches Arbeitsgebiet verursacht bei ihrer Anwendung Auswirkungen, die sich nur durch Hinzunahme der Expertise weiterer Disziplinen angemessen erfassen lassen. Hierzu gehören nicht nur die Agrarwissenschaften und die Ökologie, sondern auch Rechtswissenschaften, Ökonomie und weitere gesellschaftswissenschaftliche Fachgebiete. In diesem Band fasst das GeneRisk-Konsortium über die Einzelpublikationen hinaus wesentliche Projektergebnisse im Überblick zusammen. Dabei werden verschiedene disziplinäre Standpunkte ingenommen und verknüpft.

² <http://www.sozial-oekologische-forschung.org/de/626.php>

1.2 Hintergrund und Ziel

Chancen und Risiken des Anbaus gentechnisch veränderter Organismen (GVO) werden seit vielen Jahren bis heute kontrovers diskutiert. Dies zeigen die umfangreich dokumentierten Auseinandersetzungen am Runden Tisch Gentechnik, den das BMBF zusammen mit dem Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) einberufen hat, nachdem die Ruhensanordnung der Zulassung für den gentechnisch veränderten Mais Mon810 der Firma Monsanto im Jahr 2009 weite mediale Beachtung gefunden hatte (Kap. 16). An dem Runden Tisch war auch der GeneRisk-Verbund vertreten. Ein weiteres Beispiel, das die Brisanz des Themas veranschaulicht, zeigte sich auf wissenschaftlichem Gebiet besonders zugespitzt – anhand des Streits über die Broschüre der Deutschen Forschungsgemeinschaft (2010) zur Grünen Gentechnik (GGT). Die DFG hatte eine populär gehaltene Broschüre vorgelegt, deren überwiegend positive Darstellung der Gentechnik von Wissenschaftlern benachbarter Disziplinen kritisch hinterfragt wurde. Der Disput drehte sich nicht nur um die Feststellung und Bewertung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes. Vielmehr ging es auch um die Frage, wer die Kompetenz habe, sich zu GVO fachlich angemessen zu äußern und nach welchen Regeln dies geschehen sollte. Kritisiert wurde unter anderem, die DFG-Broschüre vermische beschreibende, erklärende und bewertende Aussagen zur GGT. Zudem folge die Broschüre der „Systematik eines reduktionistischen Ansatzes, der primär aus der Perspektive der Pflanzenzüchtung Potentiale der GGT ableitet.“ Erforderlich sei jedoch ein „Bewertungsansatz . . . , der aus einem interdisziplinären Diskurs gespeist wird, welcher die Standpunkte und die Expertise von den Sozialwissenschaften über die Ökologie und die Agrar- und Ernährungswissenschaften im Sinne eines umfassenden Nachhaltigkeitsansatzes bündelt“ (Taube et al. 2011). Dem wird seitens der Autoren der DFG-Broschüre entgegengehalten, die Kritiker argumentierten „... ähnlich wie zahlreiche einflussreiche Interessengruppen aus dem nichtwissenschaftlichen Bereich mit vagen Vermutungen und nicht belegbaren Behauptungen“ (Broer et al. 2011).

Dies deutet den gespannten diskursiven Rahmen an, in welchem sich das GeneRisk-Projekt bewegt und in welchem es eine interdisziplinäre Position einnimmt, welche im Rahmen der sozial-ökologischen Forschung naturwissenschaftliche und sozialwissenschaftliche Erkenntnisebenen verknüpft. Diese und weitere Diskussionen hat das Projekt im Hinblick auf die lokale, regionale, nationale und internationale Ebene behandelt. Dabei geht es bei einer Verknüpfung der verschiedenen Ebenen auch um die Gewinnung und Begründung einer Systematik, mit der die Bezüge angemessen erschlossen werden können. Mit diesen unterschiedlichen fachlichen Sachzusammenhängen sind auch immer spezifische räumliche und zeitliche Dimensionen angesprochen, so z.B. Vorgänge, die in pflanzlichen Zellen, in einem Pflanzenbestand und in Natur- und Kulturlandschaften ablaufen. Um Chancen und Risiken von GVO abzuschätzen, sind Folgewirkungen des GVO-Anbaus über die angesprochenen Raum- und Zeitbezüge sowie die verschiedenen Systeme hinweg zu analysieren. Die Vielfalt systemischer Verknüpfungen spielt hierbei eine besondere Rolle, da die landwirtschaftliche Produktion sowohl mit

grundlegenden Naturvorgängen des ökologischen Gefüges als auch mit zentralen Prozessen der vom Menschen gesteuerten Systeme wie Landwirtschaft und Lebensmittelwirtschaft in enger Wechselbeziehung steht. Diese Wechselbeziehungen wurden in dem Verbundprojekt GeneRisk beispielhaft untersucht.

1.3 System-analytisches Vorgehen – Verknüpfung natur- und sozialwissenschaftlicher Zugänge

GeneRisk knüpft bei der Entwicklung des systemischen Risikobegriffs an den in der sozial-ökologischen Forschung übergreifend formulierten Begriff an (Renn und Keil 2008). Dessen Operationalisierung für GVO führt zu einer spezifischen Anwendung und Ausformung, die mit den hier zusammengestellten Beiträgen auf verschiedenen Ebenen illustriert wird.

Der Beginn der betrachteten Wirkungsketten bei GVO ist der Eingriff auf molekularer Ebene. Um diesen zu bewerten, ist die Bezugnahme auf molekulare Methoden als erster Schritt erforderlich. Die molekulare Charakterisierung des GVO z. B. hinsichtlich Stabilität der Integration, Expression des Transgens und sekundärer metabolischer Effekte erlaubt erste Wirkungsabschätzungen, die aber bei weitem nicht vollständig sind. Eine systematische Analyse der Verknüpfung von Wirkungsketten über verschiedene systemare Organisationsebenen erfolgte für das Beispiel gentechnisch veränderter Mais mit Insektenresistenz (Bt-Mais) im Rahmen einer Literaturlauswertung (Kap. 3).

In der Erforschung der Risiken von GVO schließen sich Untersuchungen auf organischer und Bestandsebene an. Solche Untersuchungen erfordern physiologische und agrarwissenschaftliche Kompetenz. Weiterhin werden eventuelle Wirkungen auf Nichtzielorganismen geprüft. Hier spielt die Kenntnis über allgemeine ökologische Zusammenhänge die zentrale Rolle. Auch die Kenntnis der Eigenschaften der Organismen, denen Erbmateriale zu Transformationszwecken entnommen wurde, gehört mit dazu. Erst wenn kleinräumige Effekte risikoanalytisch hinreichend erschlossen sind, können weiterführende Aspekte untersucht werden. Dieses strukturierte Vorgehen bei der Wirkungsanalyse wurde vom Verbund der weiterführenden Diskussion systemischer Risiken zugrunde gelegt. Als besonders zu beachtende Themen sind folgende Effekte als systemische Risiken von GVO möglich und im Rahmen der Risikoanalyse zu prüfen:

- **Physiologische Risiken** Durch die gentechnische Veränderung bedingte Effekte der bio-molekularen Konstitution, die sich in veränderten Gehalten von Inhaltsstoffen und damit verändertem Respons auf Umweltwirkungen zeigen, auch Nähr- und Futterwert sowie Resistenz gegen Krankheiten und Pathogene können sekundär beeinflusst sein.
- **Ökologische Risiken** Biodiversitätseffekte im genutzten Ökosystem können auftreten, auch durch Veränderung der Bewirtschaftungsform (z.B. Herbizid- bzw. Insektizid-Einsatz) mit Folgewirkungen für biotische und

abiotische Kompartimente (Boden, Gewässer). Kumulative ökosystemare Effekte (z. B. durch Eintrag toxischer Pollen im Falle von Bt-Mais) können auftreten, Veränderungen im Genpool der Arten bei Ausbreitung außerhalb von Kulturfleichen (z. B. Gene-Stacking bei Raps) sind denkbar bzw. wahrscheinlich;

- **Ökonomische Risiken** Eine mögliche Unverkäuflichkeit eines Produkts mit dem Label „gentechnikfrei“ ist als Risiko zu berücksichtigen, Genehmigungs- bzw. Kennzeichnungspflicht für das Inverkehrbringen auch solcher Produkte, die unbeabsichtigt GVO enthalten, ist ein Problem, ebenso der Zusatzaufwand in der nachbarschaftlichen Koordination der Landbewirtschaftung (Einhaltung von Mindestabständen, Reinigung von Maschinen). Aufwendungen für getrennte Warenflüsse, Analysekosten für GVO-Verunreinigungen, administrative Aufwendungen, unerwartete Wirkungen bei besonderen lokalen Raum-Konstellationen (biogeografische Variabilität, Schutzgebiete) sind als Risiken zu berücksichtigen.

In der bisherigen Praxis der wissenschaftlichen Risikoanalyse von GVO ist erkennbar, dass primäre und kleinräumige Wirkungen im Vordergrund der Untersuchungen stehen. Effekte in großen Räumen sowie gesamtwirtschaftliche Effekte sind hingegen bislang defizitär untersucht. Gerade dort jedoch können systemische Risiken in Form von Kombinations- und Langzeiteffekten wirksam werden (Kap. 2). Der Forschungsverbund GeneRisk legt in einer Wirkungsketten-Analyse dar, dass ein Verständnis funktionaler Zusammenhänge von molekularen Effekten über organismische Implikationen und ökosystemare Wirkungen bis hinein in den Landschaftsraum nicht nur möglich, sondern auch sicherheitsrelevant ist. Deshalb wurden für die von GVO betroffenen Systeme und deren Organisationsebenen – vom Molekül bis zum räumlichen Verbund von Landschaften, der regionalen Ebene – relevanten Fragen und Befunde anhand des Beispielorganismus Bt-Mais zusammengestellt, einer Mais-Sorte, die durch gentechnischen Eingriff ein insektizides Toxin bakterieller Herkunft in nahezu allen Pflanzenteilen produziert (Kap. 3). Dabei werden systemische Risiken von GVO als diejenigen Effekte betrachtet, bei denen ein im isolierten Kontext funktionaler und gewünschter Eingriff durch Folgeeffekte für weitere Zusammenhänge – beispielsweise durch Interferenz mit anderen vergleichbaren und isoliert betrachtet ebenfalls funktional zielgerichteten Eingriffen – unerwünschte Auswirkungen nach sich ziehen kann, sei es in anderen Bereichen oder in einem übergreifenden Kontext. Hierbei spielen Wechselbeziehungen zwischen Systemen eine besondere Rolle und können zu einer Risiko-Fortpflanzung über mehrere Ebenen führen. Risiken für den Naturhaushalt oder für konventionelle oder biologische Anbauweisen können sich auf Nutzungs-, Vermarktungs- und Konsuminteressen und damit auf das soziale Gefüge im weiteren Sinne auswirken.

So ist das Risiko zu prüfen, ob durch den Anbau von gentechnisch veränderten Nutzpflanzen wie Mais oder auch Raps, Zuckerrüben und Kartoffeln Veränderungen sowohl im Agrarsystem selbst als auch in anderen Bereichen verursacht werden. Beispielsweise könnte die biologische Vielfalt von Wildpflanzen verringert oder die Vitalität von Honigbienen und damit ihre Bestäubungsleistung beeinflusst werden. Die zu analysierenden Auswirkungen reichen bis hin zu sozioökonomischen und juristischen Implikationen (Kap. 9, 10, 11, und 12).

In sozioökonomischer Hinsicht stehen zunächst betriebswirtschaftliche Effekte der Landwirtschaft im Vordergrund. Über die Betrachtung nachbarschaftlicher Auswirkungen, landschaftlicher Verknüpfungen und schließlich makroökonomischer Zusammenhänge muss dann das Bild in den makroskopischen Bereich hinein vervollständigt werden. Im sozioökonomischen und regulatorischen Zusammenhang geht es weiterführend um Effekte, die aus dem Zusammenwirken von Entscheidungen menschlicher Akteure resultieren. Hier spielt die Freiheit des Einzelnen – als Marktteilnehmer, Landwirt oder Konsument – eine Rolle. Jeweilige Einzelentscheidungen wirken zurück auf allgemeine Wirtschafts- und Naturfunktionen und deren Steuerbarkeit (Kap. 12 und 13).

1.4 Regulatorische Abbildung systemischer Risiko-Verknüpfungen und der Ansatz des GeneRisk Vorhabens

Die Regelung des Umgangs mit GVO erfolgt auf EG- und nationaler Ebene und durch internationale Abkommen (Cartagena-Protokoll), Kap. 9, 11 und 17. Seit 2002 ist die Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EG europaweit in Kraft, die eine differenzierte ökologische Risikoanalyse, das Environmental Risk Assessment (ERA), im Zusammenhang mit möglichen Freisetzungen von GVO vorsieht. Diese Risikoanalysen gliedern sich in einen Vorsorgeteil, eine Begutachtung vor der eigentlichen Zulassung (ERA) und einen Nachsorgeteil (Monitoring). Wenn genügend Erfahrungen in der Risikoprüfung bzw. Sicherheitsforschung mit dem jeweiligen gentechnisch modifizierten Organismus innerhalb eines Ökosystems vorliegen, kann von den zuständigen Behörden die Vermarktung des GVO in einem differenzierten Verfahren genehmigt werden. Der Anbau wird dann begleitet durch ein fallspezifisches Monitoring bzw. eine allgemeine Umweltbeobachtung. Die behördliche Risikoprüfung und -bewertung sowie die Risiko- und Sicherheitsforschung, auf der diese basiert, muss also erfassen, inwieweit diese GVO andere Funktionsmuster als die nicht modifizierten Ausgangssorten aufweisen, und verstehen, ob und wenn ja wie sich hieraus Risikopotentiale erkennen und verhindern lassen. Dass hierbei mehrere Ebenen zu betrachten sind, ist evident, jedoch bisher nicht in hinreichend klarer Systematik formuliert.

Hier liegt der zentrale Ansatz und Beitrag des Verbundvorhabens GeneRisk: Die Durchdringung bestehender Risikolagen erfolgt in Zusammenschau

- von der Gensequenz und dem Phänotypus des Organismus
- über den Genpool der Art, bis hin zu
- Wechselwirkungen mit biotischen Akteuren auf Ökosystem- und Landschaftsebene, den Ziel- und Nichtziel-Organismen,
- möglichen Verhaltensänderungen der Art
- Interaktionen mit abiotischen Ökosystemkomponenten sowie
- Veränderungen von Ökosystemfunktionen.

Die Risikoverknüpfung kann bewirken, dass sich zunächst als vernachlässigbar eingeschätzte Risiken durch diesen Bezug auf die Ebenen übergreifenden Wirkungspfade des Systems über z. B. große Entfernungen oder große Latenzen zu unerwünschten bzw. unerwarteten Effekten akkumulieren oder entwickeln können. Die Funktionsfähigkeit des Agrarökosystems und anderer indirekt beeinflusster Ökosysteme sowie anderer damit verwobener Systeme auf gesellschaftlicher Seite (z. B. Gesundheitssystem oder Arbeitsmarkt) können betroffen werden. Eine isolierte Expertise in der Genetik oder Molekularbiologie eignet sich daher für die beschriebene systemische Risikoanalyse ebenso wenig wie isolierte Kenntnisse in der Landschaftsökologie. Molekularbiologie und Genetik stellen einen Ausgangspunkt dar, dessen Kenntnisse den Beginn der Analyse kennzeichnen. Die Systeme und Raum- / Zeitskalen übergreifenden Phänomene müssen systemisch von Experten für die einzelnen Systeme und Skalen interdisziplinär untersucht und bewertet werden.

1.5 Spezifische GeneRisk-Arbeitsthemen

Das GeneRisk-Projekt bringt spezifische neue wissenschaftliche Entwicklungen in die Diskussion ein. Da bisherige Beiträge sich dem Thema häufig entweder fundamental oder aus einer partikulären Perspektive nähern, ergibt sich ein spezifisches Innovationspotenzial durch Beiträge, die eine raumübergreifende Verknüpfung ermöglichen.

1.5.1 Die betriebliche Ebene

Für einen Betrieb, der sich für den Anbau von Bt-Mais entscheidet, stellt dies meistens eine Sortenwahl dar. Nur in Ausnahmefällen wird ein Betrieb, der bisher keinen Mais angebaut hat, den Mais in den Betrieb einführen und Bt-Mais wählen, da die Befallssituation und Ernteverluste durch den Maiszünsler bekannt sein sollten. Theoretisch denkbar ist auch, einen bisherigen Verzicht auf den Maisanbau rückgängig zu machen, wenn z. B. der Befallsdruck durch den Zünsler zu hoch ist und der Anbau von Bt-Mais die einzige Möglichkeit darstellt, einen ausreichenden Ertrag zu erzielen. Voraussetzung hierfür ist ein ausgedehnter Maisanbau mit konventionellen Sorten in der Region. Der Anbau einer Bt-Maissorte bedeutet im Vergleich zum Anbau von konventionellem Mais für einige Arbeitsabläufe im Betrieb eine Veränderung. In diesem Zusammenhang interessieren die für Bt-Maissorten spezifischen Risiken. Darüber hinaus ergeben sich auch Auswirkungen auf die Nachbarbetriebe, da hier Absprachen und Festlegungen zusätzlich erforderlich sind. Weitere Risiken können hier evtl. durch nicht eingehaltene Anbauabsprachen, nicht eingehaltene Sicherheitsabstände, Durchwuchs, Transportverluste und Verunreinigung von Maschinen entstehen. Dabei liegen die Kontrollmöglichkeiten, d. h. die Verantwortung dafür, geeignete Mittel anzuwenden, um das Risiko so klein wie möglich zu halten, in erster Linie bei den anbauenden Betrieben. Für

viele mit dem Bt-Maisanbau verbundenen Risiken gibt es Strategien zur Schadensvermeidung. Ähnliche Schadensmöglichkeiten, insbesondere durch Verunreinigung des Erntegutes, sind bei der Produktion von Saatgut bekannt.

Zusätzlich zu den oben aufgeführten Veränderungen geht ein Bt-Mais anbauender Betrieb ein Haftungsrisiko ein für den Fall, dass auf den konventionellen Maisflächen in der Nachbarschaft eine über dem Grenzwert liegende Verunreinigung (GVO-Anteile $> 0,9\%$) festgestellt wird. Der ökonomische Schaden muss dann durch Bt-Mais anbauende Betriebe ausgeglichen werden. Da dieses Risiko nicht konkret abschätzbar ist, geht davon ein Vermeidungseffekt aus. In der Stakeholder-Interaktionsstudie Brandenburg (Kap. 15) wurde der Anbau von GVO in Bezug auf das Anbausystem und die betriebliche Organisation betrachtet. Augenmerk lag hierbei auf der Frage, ob mit dem GVO-Anbau ein neuer Typus von Risiken entsteht und wie die Landschaftsstruktur (Anbaukonzentrationen, Flächengeometrien, Verteilung der Schutzgebiete) das Potenzial für GVO-Anbau beeinflusst. Zusätzlich wurde eine Befragung unter Bt-Mais anbauenden Betrieben durchgeführt, um eine tatsächliche Änderung der Anbaupraxis zu erfassen.

1.5.2 Modellentwicklung und Regionalstudien

Die empirisch basierten Wirkungsstudien bleiben notwendig auf kleinere Räume bezogen. Ausbreitungsanalysen mit Hilfe von Modellen sind zwar auch auf größeren Skalen möglich, wurden bisher aber kaum entwickelt. Hier stößt der GeneRisk-Verbund in einen neuen Bereich vor, der bisher nicht zugänglich war. Ein für ganze Regionen anwendbares objektorientiertes Modell zur Simulation der Pollenausbreitung von Mais wurde erarbeitet (Kap. 4). Nachdem in vorhergehenden Arbeiten für Raps ein Ansatz entwickelt worden war, sind entsprechende Arbeiten abgerundet und für Mais weitergeführt worden (Reuter et al. 2011). Die Ebenen übergreifende Risikoanalyse unterstreicht, dass für Mais die Pollenausbreitung durch Wind und der damit verbundene Genfluss zwischen verschiedenen Maisbeständen ein besonders kritisch zu untersuchender Prozess von regionaler Bedeutung ist. Um diesen zu modellieren, wurde eine Ausbreitungsfunktion für den Pollentransfer aus den Ergebnissen der vorhandenen hinreichend dokumentierten Experimente abgeleitet (Reuter et al. 2008). Eine solche Funktion, die einem Ausbreitungsmodell zugrunde liegt, wird als „Dispersal-Kernel“ bezeichnet. Dieses regionale Genfluss-Modell ist generisch angelegt: Sowohl quantitative Modifikationen im Dispersal-Kernel als auch Änderungen des zu bearbeitenden Landschaftsrahmens können ohne Änderungen am Simulationsprogramm berechnet werden. Lediglich Eingabedateien (Ausbreitungsdistanzen, Feldgeometrien) müssen für die jeweiligen Anbausituationen erstellt werden. Mit dem Simulationsmodell wurden Modellrechnungen für die Bundesländer Brandenburg, Schleswig-Holstein und Niedersachsen durchgeführt (Kap. 5). Um die Rechnungen durchführen zu können, war die Charakterisierung der Lage und Größe von Maisfeldern in den entsprechenden Landschaftsräumen erforderlich. Hierzu wurden Satellitenbilder ausgewertet

(Kleppin 2010, Schmidt et al. 2011). Aber auch Bodenkarten und die Agrarstatistik wurden zur Lokalisierung von Maisanbauflächen herangezogen. Die Allokation der potenziellen Maisfelder erfolgte unter Berücksichtigung sowohl der Standort-eignung anhand der Ackerzahl, der Deckungsbeitragsleistung und der Anbauanteile (aus statistischen Daten der Landkreise und Gemeinden). Es wurden daraus Szenarien entwickelt, in denen verschiedene Anteile von konventionellem und gentechnisch verändertem Anbau zugrunde gelegt wurden. Bei der Ausweisung der Flächen wurden darüber hinaus verschiedene Abstandsregelungen zwischen konventionell und ökologisch angebautem Mais sowie Naturschutz- und FFH-Gebieten berücksichtigt. Ein Dissertationsvorhaben, in welchem Daten zum Maisanbau in Westafrika erhoben wurden, ermöglichte eine Modellanwendung auch für gänzlich andere Landschaften und Anbausysteme (Aheto 2009).

Um einen Eindruck von weiteren regional relevanten Interaktionen zu geben, wurde am Beispiel von Schleswig-Holstein das Konfliktpotenzial zwischen Imkern und GVO-Anbau thematisiert. Die Imkerei fand in bisherigen wissenschaftlichen Risikoanalysen und entsprechenden regulatorischen Maßnahmen wenig Aufmerksamkeit, da der Raumbezug von vornherein einen regionalen Maßstab erfordert. Es wurde untersucht, welche Flächen durch Imkerei genutzt werden und ob es Überschneidungen dieser Flächen mit potentiellen GVO-Anbaugebieten gibt (Kap. 10). Die Fragen zur Imkerei betrafen insbesondere (1) die Anzahl der Imker und (2) ihre Bewirtschaftungsstrategie, d. h. Anzahl und Verteilung der Bienenstöcke und Standorte, sowie (3) den Aktionsradius der Bienen in der Landschaft. Ziel war es, darzustellen, ob und inwieweit die Gruppe der Imker in ihrer (Entscheidungs-) Freiheit zu wirtschaften durch den Anbau von GVO eingeschränkt würde und welche weitergehenden Folgen für die Gesellschaft sich dadurch eventuell ergeben würden. Zur Beantwortung dieser Fragen wurden Literaturrecherchen durchgeführt, zufällig ausgewählte Imker in Schleswig-Holstein ausführlich befragt, Szenarien für einen exemplarischen Imkerbetrieb erstellt und die Ergebnisse in Tabellen und Karten dargestellt. Da Bienen als Bestäuber zahlreicher Kultur- und Wildpflanzen sowohl ökologisch als auch ökonomisch von großer Bedeutung sind, hätte ein „Rückzug“ der Imker und ein Rückgang der Bienenvölker weit über die Imkerei hinausreichende Folgen. Die Mehrzahl der Blütenpflanzen in unseren Breiten ist auf die Bestäubung durch Bienen angewiesen. Sehr viele der einheimischen Wildbienenarten sind akut bedroht oder bereits ausgestorben. Der Rückgang der Bestäuber ist damit eine der Hauptbedrohungen für die Erhaltung der biologischen Vielfalt (Gallai et al. 2008). Ohne Bienen würden zudem wichtige landwirtschaftlich genutzte Kulturen bedeutend weniger Ertrag liefern. Der ökonomische Nutzen der Bestäubungsleistung liegt um ein Vielfaches höher als der Erlös der Imkereiprodukte.³ Der ökonomische Wert der Bestäubungsleistung wurde für 2005 weltweit auf ca. 10% des Wertes der jährlichen Weltagrarproduktion an Lebensmitteln geschätzt (Gallai et al. 2008).

Landschaftsbezogene Szenarioanalysen zur Koexistenzproblematik zeigen unter den Bedingungen einer uneingeschränkten Flächenwahl (Zufallsverteilung) z. T.

³ <http://www.biosicherheit.de/schule/473.bienen-gentechnisch-veraenderte-pflanzen-fleissige-bestaeber-beobachtung.html>

eine überraschend hohe Aufnahmekapazität von GVO-Anbau, ohne dass die Koexistenzregeln verletzt werden (Kap. 6 und 7). Allerdings würde dies in der landwirtschaftlichen Praxis eine überbetriebliche Abstimmung und Planung des Anbaus voraussetzen, wie sie z. Zt. nicht gegeben ist und im Moment nur in Einzelfällen notwendig erscheint: In Abhängigkeit von Feldgröße, Anbaukonzentration, aber auch von der Landschaftsstruktur (z. B. in Abhängigkeit der Größe und Lage von Naturschutz- bzw. FFH-Gebieten) können Konflikte hinsichtlich der Einhaltung der Abstandsregelungen auftreten, insbesondere dann, wenn die räumliche Verteilung dieser Flächen nicht kompakt ist, sondern anteilig verteilt über größere Räume. Dann kann ein großer Teil der Ackerflächen im Hinblick auf die Mindestabstände zu nah an diesen Gebieten liegen und nicht mit Bt-Mais bebaut werden. Das Konfliktpotenzial ist umso größer, je kleinräumiger (wie z. B. in Schleswig-Holstein) die Parzellierung in der Anbauregion ist. Zur Einbindung der Analysen in die Praxis wurden Koexistenzstrategien am Beispiel des Landkreises Märkisch-Oderland mit regionalen Stakeholdern entwickelt (Kap. 15).

1.5.3 WebGIS

Politische Entscheidungen finden ebenso wenig wie gesellschaftliches und wirtschaftliches Agieren vorwiegend auf denjenigen räumlichen Ebenen statt, für die die bisherige GVO-Forschung unmittelbar Ergebnisse erbracht hat: Labor und Acker Schlag. Vielmehr sind es größere Räume, für die im Falle des GVO-Einsatzes Entscheidungen zu treffen und Verantwortung zu tragen sind: die Fläche eines landwirtschaftlichen Betriebs und seiner Nachbarn, die Agrar- und Naturlandschaft, der Landkreis, das Bundesland, das Bundesgebiet sowie internationale Beziehungen. Entsprechende Geodaten über GVO sind wichtig für die räumliche Planung des GVP-Anbaus und die Anwendung der Koexistenz-Regeln entsprechend der guten fachlichen Praxis (GfP). Für die räumlichen Aspekte der Nutzung von GVP in der Agrarwirtschaft hat das GeneRisk-Projekt ein Internet-basiertes geographisches Informationssystem (WebGIS GVO) entwickelt (Kap. 8). Das WebGIS erfüllt verschiedene Zwecke, die nicht nur im Zusammenhang mit der Modellierung der Ausbreitung von GVO stehen, sondern auch für die ökonomischen und juristischen Analysen und Bewertungen bedeutsam sind (Kleppin et al. 2011):

1. Berechnung der für landwirtschaftliche Nutzung zur Verfügung stehenden Flächen bei bestimmten Sicherheitsabständen (Abstandsregelung).
2. Beiträge zur Planung, Dokumentation und Auswertung des GVO-Monitoring.
3. Räumlich konkrete Zusammenführung der Ergebnisse von GVO-Forschung und GVO-Monitoring.
4. Räumliche Visualisierung des gegenwärtigen und vergangenen GVO-Anbaus für Landwirte, Behörden und Öffentlichkeit.
5. Frühzeitige bzw. präventive Identifizierung von Nutzungskonflikten. Ein Plan spielmodus erlaubt z. B. die Lokalisierung von GVO- bzw. konventionellen Feldern in unterschiedlichen Anbausituationen. Das WebGIS besitzt somit auch

das Potenzial für die Unterstützung der Behörden hinsichtlich der Prüfung von Freisetzungsanträgen und Anbauanmeldungen. Durch die Auswahl verschiedener Abstandsweiten lassen sich vorab die Auswirkungen bestimmter Abstands- / Anbauregelungen überprüfen.

6. Das System wurde erweitert durch die Implementation einer Ausbreitungsfunktion, die im Vergleich zu starren Abstandsregelungen die tatsächlichen, lokalen Bedingungen für eine Pollenverbreitung (Windverhältnisse, Landnutzung, Witterung) berücksichtigen kann.
7. Auf Basis typischer Anbausituationen lassen sich unterschiedliche Anbauszenarien hinsichtlich einer Koexistenz von konventionellen und GV-Pflanzen durchspielen. Dies stellt einen deutlichen Fortschritt im Vergleich zur bisherigen Allokation von GVO-Feldern auf Basis von Kreisstatistiken und Bodeneigenschaften dar.
8. Staaten, die über keine detaillierten Agrarerhebungen hinsichtlich des GVO-Anbaus verfügen, können diese kostengünstige Methode zur Lokalisierung von GVO-Feldern als eine wichtige Grundlage für die Planung und Regelung des GVO-Anbaus adaptieren.
9. Im Zusammenhang mit Methoden der Fernerkundung kann das WebGIS zur Allokation von konventionellen und GVO-Maisfeldern in Deutschland genutzt werden.

1.5.4 Diskursanalysen

Die Diskursanalyse spielt für die sozial-ökologische Forschung eine wichtige Rolle. Sie macht die verschiedenen Interessenlagen und Strategien von Beteiligten bzw. Stakeholdern zugänglich und liefert so eine wichtige Grundlage für das Verständnis und die Bewertung gesellschaftlicher Aushandlungsprozesse. Auch diese Aspekte lassen sich auf verschiedenen Ebenen betrachten. Als Beispiel für die lokale Ebene wird in der Kreisstadt Diepholz ein Diskurs mit Betroffenen und interessierten Bürgerinnen und Bürgern im Rathaus dokumentiert (Kap. 14). Für den Landkreis Märkisch Oderland wurde ein langfristig organisierter Austauschprozess dokumentiert, in dem der Landrat, Landwirte sowie verschiedene Repräsentanten von Interessengruppen einbezogen wurden (Kap. 15). Schließlich hat das GeneRisk Projekt auf Bundes-Ebene zum Runden Tisch Gentechnik beigetragen und eine Position zu Forschungsperspektiven in den Austausch eingebracht (Kap. 16). In einer diese Thematik abschließenden Analyse werden in Kap. 17 schließlich auch Diskursdynamiken auf internationaler Ebene thematisiert.

1.6 Syntheseperspektiven zum rechtlichen Rahmen und der Zulassungspraxis

Das europäische und deutsche Gentechnikrecht verfolgen das Ziel, die ökologischen Risiken neben den Gesundheitsrisiken, die in GeneRisk nicht behandelt wurden, zu minimieren (Kap. 9 und Kap. 11). Hierfür wurden Instrumente ausgebildet,

die stärker an Vorsorge-Überlegungen orientiert sind als etwa die in den USA gebräuchlichen, wo umgekehrt Regress-Fragen beim Auftreten von Schäden rechtlich reguliert werden.

Insgesamt ist die Risikobewertung noch klar verbesserungsbedürftig. Die Zulassungspraxis beachtet das in der Richtlinie 2001/18/EG geforderte Stufenprinzip zu wenig, d. h. das Gebot, dass in einem stufenweisen Prozess vom geschlossenen System zur experimentellen Freisetzung und zum kommerziellen Inverkehrbringen Risikowissen generiert werden soll. Der Versuch eines Auswegs ist die Koexistenzforderung. Hier geht es um die Gewährleistung der Wahlfreiheit der Produzenten und Konsumenten. Diese ist nur gegeben, wenn die konventionelle, die biologische und die gentechnische Wirtschaftsweise nachhaltig nebeneinander existieren können. Eine Koexistenz der Wirtschaftsweisen wäre zugleich ein Ausweg aus dem Grundrechtskonflikt zwischen den Kontrahenten: Konventionell und ökologisch wirtschaftende Landwirte können sich auf die Eigentumsgarantie berufen. Auf ihrer Seite stünde auch die Wahlfreiheit der Konsumenten, die sich auf Art. 2 Abs. 1 Grundgesetz stützen ließe. Demgegenüber kann aber auch der gentechnisch wirtschaftende Landwirt sein Recht auf Nutzung seines Grundeigentums geltend machen. Alle könnten zu ihrem Recht kommen, wenn es Regeln gäbe, die Wirtschaftsweisen nebeneinander existieren zu lassen.

Die EG hat die Ausformung der Koexistenz-Regeln den Mitgliedstaaten überlassen und nur strukturierende Hinweise gegeben (Art. 26 a RL 2001/18, Kommissionsempfehlung 2003/556/EG). In der BRD leistet dies das Gentechnikgesetz, das in § 16b eine Registrierung der Ausbringung von GVO, die Abstimmung zwischen Nachbarn, die Haftung für Kontamination fremder Ernten und die Einhaltung der guten fachlichen Praxis (GfP) vorsieht. Die GfP, die in einer Verordnung vorgeschrieben wird, umfasst Sorgfaltspflichten bei Anbau, Beförderung, Lagerung und Weiterverarbeitung von GVO sowie Abstandsregeln wie z. B. bei gentechnisch verändertem Mais 150 m zu konventionell und 300 m zu ökologisch angebaute Mais.

Die vorgesehenen Instrumente sind jedoch sämtlich auf die Konfliktschlichtung zwischen einzelnen Landnutzern bezogen und nicht aus dem systemaren Charakter des Problems abgeleitet: Dass nämlich ein Mosaik getrennter Wirtschaftsweisen mit jeweiligen Abstandsflächen die bebaubare Fläche im Prinzip erheblich einschränkt. Planerische Zugänge, wie kleinräumige (regionale) Nutzungscluster von Flächen gleicher Bebauungsweisen, könnten dagegen eine Auskreuzung bzw. Kontamination von gentechnisch veränderten mit nicht gentechnisch veränderten Organismen nennenswert reduzieren. Hierfür eignet sich möglicherweise die Landschaftsplanung und die vertraglich gestützte freiwillige Absprache Gentechnik freier Regionen (Kap. 11). Darüber hinaus kommt in Betracht, dass für Naturschutzgebiete und Nationalparks die Ausbringung von GVO untersagt wird. Begründbar ist dies mit einer Entscheidung für die historisch gewachsene Eigenart von Naturgebieten und Wirtschaftsweisen. Trotz aller Trennungsregeln ist jedoch fraglich, ob Koexistenz eine Lösung auf Dauer sein kann. Über längere Zeiträume könnte es eintreten, dass Transgene sich über die Abstandsflächen hinaus ausbreiten. Langfristig könnten alles Saatgut und alle Produkte mit gentechnisch modifizierten Sorten verunreinigt sein, nicht zuletzt auch, weil die Gentechnik in anderen Staaten

rasche Fortschritte macht und der deutsche Markt von den Produkten nicht freigehalten werden kann. Die Schwellenwerte für zulässige Spuren könnten deshalb sukzessive angehoben werden müssen, solange, bis es keinen Sinn mehr macht, Gentechnikfreiheit von Saatgut und Produkten zu postulieren. Ein solches Risiko ist von vornherein mit im Auge zu behalten.

Es gilt zu klären, ob – neben der Minimierung der gesundheits- und umweltbezogenen Risiken – Aspekte des gesellschaftlichen Nutzendiskurses in die Zulassung von Gentechnik eingebracht werden sollten. Der Europäische Rat hat dies angeordnet. Natürlich ist hier Vorsicht geboten: Ökonomische Profitabilität eines GVO darf nicht dazu veranlassen, gesundheitliche oder ökologische Risiken einzugehen. Aber im Bereich der Restrisiken, die in der Grünen Gentechnik nie auszuschließen sind, könnte eine Nutzenbetrachtung helfen zu entscheiden, ob das Restrisiko tragbar und verantwortbar ist oder nicht. Dies kommt primär für den agrarökologischen Nutzen in Betracht: Gesichtspunkte, nach denen die Zulassung „restrisikanter“ GVP entschieden werden könnte, wären: weniger Einsatz chemischer Pestizide und chemischer Düngemittel, weniger Bewässerung, geringe Reproduktionsfähigkeit der GVP als Durchwuchs bzw. außerhalb von Anbauflächen etc. Im europäischen und deutschen Gentechnikrecht sind solche landeskulturellen Kriterien angelegt.

Im Ergebnis hieße dies, dass eine strenge Umweltrisikoprüfung für GVO bestehen bleibt und verbessert wird, dass aber bei anzunehmenden Restrisiken zusätzlich geprüft wird, ob der GVO landeskulturell und verwendungsbezogen nachweisbar vorteilhaft ist. Daneben sollte aber an einer Freihaltung von ökologisch bewirtschafteten oder naturgeschützten Gebieten festgehalten werden, damit von Transgenen unberührte Ökosysteme erhalten bleiben.

Zitierte Literatur

- Aheto DW (2009) Implication analysis for biotechnology regulation and management in Africa. Baseline studies for assessment of potential effects of genetically modified maize (*Zea mays* L.) Cultivation in Ghanaian Agriculture. Peter Lang, Basel, Frankfurt/M
- Broer I, Jung C, Ordon F, Qaim M, Reinhold-Hurek B, Sonnewald U, Tiedemann A von (2011) Response to the criticism by Taube et al. in ESEU 23:1, 2011, on the booklet “Green Genetic Engineering” published by the German Research Foundation (DFG). Environ Sci Eur 23:16. doi:10.1186/2190-4715-23-16
- Gallai N, Salles J-M, Settele J, Vaissiere BE (2008) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. Ecology 68:810–821
- Kleppin L (2010) WebGIS-Implementierung und Fernerkundung für Umweltmonitoring und Koexistenzregelungen in Agrarlandschaften mit Anbau gentechnisch verändertem Mais. Dissertation, Lehrstuhl für Landschaftsökologie der Universität Vechta, Vechta
- Kleppin L, Schmidt G, Schröder W. (2011) Cultivation of GMO in Germany: support of monitoring and coexistence issues by WebGIS technology. Environ Sci Eur 23:4. doi:10.1186/2190-4715-23-4
- Renn O, Keil F (2008) Systemische Risiken. Versuch einer Klassifizierung. GAIA 17:349–354
- Reuter H, Böckmann S, Breckling B (2008) Analysing cross-pollination studies in maize. In: Breckling B, Reuter H, Verhoeven R (eds) Implications of GM crop cultivation at large spatial scales. Peter Lang, Basel, Frankfurt/M, pp 47–52

- Reuter H, Schmidt G, Schröder W, Middelhoff U, Pehlke H, Brecklin B (2011) Regional distribution of genetically modified organisms – up-scaling the dispersal and persistence potential of herbicide resistant oilseed rape (*Brassica napus*). *Ecological Indicators* 11:989–999
- Schmidt G, Breckling B, Kleppin L, Schröder W (2011) Instrumente und Verfahren zur Überwachung und Analyse möglicher Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Organismen. In: Strobl J, Blaschke T, Griesebner G (Hg) *Angewandte Geoinformatik 2011. Beiträge zum 23. AGIT-Symposium Salzburg*. Wichmann, Heidelberg, pp 126–136
- Taube F, Krawinkel M, Susenbeth A, Theobal W (2011) Die DFG-Broschüre ‘Grüne Gentechnik’ genügt ihrem eigenen Anspruch nicht. *Environ Sci Eur* 23:13. doi:10.1186/2190-4715-23-1

Kapitel 2

Systemische Risiken von GVO und ihre wissenschaftliche Analyse: Strukturelle Aspekte der Risiko-Charakterisierung von GVO

Broder Breckling, Gunther Schmidt und Winfried Schröder

2.1 Wirkungszusammenhänge und Risiken: Besonderheiten der Risikoanalyse von gentechnisch veränderten Organismen

Jede Technik baut auf Wirkungszusammenhängen auf, deren Nutzung in spezifischer Weise erwünschte Effekte hervorbringen soll. Durch die technisch beeinflussten Zusammenhänge treten neben den erwünschten oft auch unerwünschte Effekte auf, die zu vermeiden sind. Diese zu erfassen und Schlussfolgerungen für hinreichend sichere Anwendungen zu ziehen, ist die Aufgabe der Risikoanalyse. Sie soll Schäden vorausschauend vermeiden helfen. Sie ist auch beteiligt an einer Abwägung, die den erreichbaren Nutzen mit den damit verbundenen Gefahren verbindet und so hilft, diese in eine für die Anwender wie für die Allgemeinheit akzeptable Balance zu bringen. Insofern lassen sich Risikoanalyse und Nutzen-Abwägungen meist nicht voneinander trennen.

Die Anwendung der Gentechnik birgt charakteristische Risiken. Diese sind insbesondere durch die Eigenschaften des biologischen Substrats bedingt, auf das entsprechende Techniken angewendet werden. Hier unterscheidet sich die Gentechnik von anderen Anwendungsfeldern der Risikoanalyse, soweit sie sich auf überwiegend physikalisch oder chemisch geprägte Technologieanwendungen bezieht: Die Gentechnik hat zum Gegenstand, vererbare und damit selbstvermehrbar Veränderungen in Organismen zu schaffen. Diese Organismen werden zum Teil in geschlossenen Systemen im Labor- oder Technikumsmaßstab genutzt. Im Kontext der Produktion von biologisch wirksamen Substanzen im medizinisch-diagnostischen Bereich steht dieser "contained use" von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) im Vordergrund. Sofern das Containment als zuverlässig gelten

B. Breckling (✉)

Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Universität Vechta, PF 1553, 49364 Vechta, Deutschland

Zentrum für Umweltforschung und nachhaltige Technologien (UFT), Abt. 10 (Ökologie),
Universität Bremen, PF 330440, 28334 Bremen, Deutschland

e-mail: bbreckling@iuw.uni-vechta.de

kann, erstreckt sich die Risikoanalyse auf immanente Aspekte. Bei Anwendungen in der Landwirtschaft werden die veränderten Organismen dagegen in großem Maßstab in das ökologische Gefüge eingebracht. Dort unterliegen sie weit gespannten Wechselwirkungen auf verschiedenen zeitlichen und räumlichen Skalen. Sofern die dem Genpool der Art hinzugefügten Transgene sich in Wildpopulationen verbreiten können, betreffen die Einwirkungen auch die in ihrer Richtung und Wirkung nicht vorhersagbaren Evolutionsprozesse. Aufgrund der eventuellen Nicht-Rückholbarkeit sind besondere Ansprüche an die Qualität der Risikoanalyse zu stellen.

Landwirtschaftliche Anwendungen („Grüne Gentechnik“) beinhalten großflächige Freisetzungen zur Erprobung von GVO. Mit der Genehmigung zum Inverkehrbringen ist dann eine landwirtschaftliche Kultivierung möglich. Unter Freilandbedingungen sind GVO den natürlichen ökosystemaren Bedingungen ausgesetzt. Daraus resultieren ökologische Risiken und damit verbunden ökonomische und rechtliche Implikationen. Wegen potenzieller Ausbreitung und Selbstvermehrung sind weitreichende, systemisch orientierte Risikoanalysen (Renn und Keil 2008) erforderlich. Im Rahmen einer systemischen Analyse können die folgenden Feststellungen getroffen werden:

- Gentechnische Anwendungen, die molekulare Methoden für funktionell-biotechnische Fragestellungen nutzen, aber auf geschlossene Systeme abzielen, sind vergleichsweise übersichtlich in der Risikoanalyse, da aufgrund des Containments ökologische Folgewirkungen hauptsächlich hinsichtlich des möglichen Versagens des Einschlusses zu betrachten und ggf. auch gegen Missbrauch zu sichern sind. Von praktischer Relevanz ist dieser Bereich insbesondere für gentechnisch veränderte Mikroorganismen in Fermentern zur Produktion von Arzneimitteln, Vitaminen, Aromen und Lebensmittelzusatzstoffen. Hier zielen die Einschließungsmaßnahmen auf Rückholbarkeit ab und sind technisch erprobt. Die Risikoanalyse betrifft außer den Prozess-Bedingungen wesentlich die Produktsicherheit.
- Eine Entwicklung von transgenen höheren Organismen für geschlossene Systeme ist ebenfalls begonnen worden (z. B. in der Aquakultur: Wachstumshormon-modifizierter Lachs in Bassins weitab von Gewässern). Hier ist die Zuverlässigkeit des Einschlusses und die Sicherung gegen mißbräuchliche Verbringung der Organismen ein entscheidender Punkt, da verhindert werden soll, dass sich Transgene in natürlichen Populationen hoch mobiler Organismen ausbreiten.
- Gentechnik zur Anwendung in der Landwirtschaft verknüpft molekularbiologische Grundlagen mit potenziell sehr großräumigen Anwendungen im Freiland. Dabei wird der Skalenbereich von molekularer Dimension eines Einzelfalls (der gentechnischen Veränderung im Labor, welche in der Regel auf ein einzelnes erfolgreiches Transformationsereignis einer einzelnen Zelle zurückzuführen ist) heraufskaliert zu einem Anbau auf mehreren Kontinenten und mehreren Millionen Hektar. In der Praxis heute relevante Beispiele sind:

- Bt-Pflanzen, z. B. Mais, der ein insektengiftiges Toxin aus *Bacillus thuringiensis* enthält;
- HR-Pflanzen, z. B. Mais oder Raps, sie enthalten bakterielle Enzyme zur Entgiftung von Totalherbiziden oder alternative Synthesen für durch Totalherbizide blockierte Synthesewege;
- VR-Pflanzen, z. B. virusresistente Zuckerrüben, virusresistente Papaya, sie enthalten Capsid-Proteine von Pflanzenviren, die eindringende Virus-Nukleinsäuren aus der Zelle ausschleusen, ohne dass eine Virus-Vermehrung stattfindet;
- stoffwechseleränderte Pflanzen, z. B. Kartoffeln, in denen bestimmte Synthesewege verändert oder blockiert sind.

2.2 Ebenen der Risikoanalyse von gentechnischen Anwendungen in der Landwirtschaft

Im Folgenden werden kurz die notwendigen Schritte skizziert, die in der Risikoanalyse durchlaufen werden müssen. Hierbei wirken am Startpunkt der Analyse Erfolgskontrolle des Experiments (der Transformation) und erste Wirkungserfassung zusammen. Es folgt dann die Erprobung auf sukzessiv größere Räume, die einen Abschluss als systemische Synopse erfordert.

Geschlossene Systeme als Umgebung für Risiko- und Effekt-Analyse

Die ersten risikoanalytischen Schritte erfolgen allgemein im kleinskaligen, geschlossenen Laborsystem. Die gentechnische Transformation selbst wird im Einzelzell-Stadium vorgenommen. Anschließend muss der Organismus in geeigneter Kulturumgebung als vielzelliger Organismus regeneriert werden. Die Analyse richtet den Blick zunächst auf die Funktion der Transgene und ihre Wechselwirkungen mit der Physiologie der Zelle. Physiologische Untersuchungen stehen im Vordergrund.

In einem nächsten Schritt erfolgen Untersuchungen in mittelskaligen geschlossenen Systemen (Phytotron, Klimakammer). Funktionale Tests des Gesamtorganismus und ein Vergleich mit gentechnisch unveränderten Ausgangs-Organismen (nah-isogene Linien) folgen.

Eine weitere Charakterisierung kann dann in großen geschlossenen Systemen (z. B. Gewächshäusern) erfolgen.

Die Aufgabenstellung dieser Schritte besteht neben der Produktentwicklung wesentlich in einer „Trait-Charakterisierung“ (genetische Struktur, Vererbung, Stabilität) sowie dem Verhalten des Organismus unter definierten, kontrollierten Umgebungsbedingungen.

Offene Systeme als Umgebung für Risikoanalyse

Der Freisetzungversuch in kleinskaliger, offener Feldkultur ist die nächste Stufe. Sie erlaubt es, weitere Eigenschaften eines Organismus mit neuen genetischen

Elementen zu untersuchen. Meist erfolgen erstmalige Freisetzungen auf wenigen Quadratmetern, häufig mit Einschließungsmaßnahmen wie feinmaschigen Netzen oder Zäunen.

Es folgen dann großflächigere Freisetzungen unter anbaunahen Praxisbedingungen ohne weitere Einschließungsmaßnahmen, gelegentlich noch mit Mantelsaaten, um eine unerwünschte Ausbreitung über die Anbaufläche hinaus zu vermindern. Die Aufgabenstellung während dieser Phasen ist die Gewinnung weiterer Informationen über den Organismus, der Risikoabschätzungen zu weiteren Themen erlaubt. Folgende Themen spielen dabei eine Rolle:

- Entwicklung / Verhalten von Individuen unter variablen Bedingungen: Stoffwechsel (Metabolismus), Individualentwicklung (abgeschätzt insbesondere anhand von visuellen Merkmalen (Bonitierungen));
- Untersuchung von Interaktionen mit anderen Organismen (Resistenzen, Sensitivitäten);
- Bestands-Interaktionen (insbesondere Genfluss zu anderen Beständen);
- Populations-Interaktionen mit Nichtziel-Organismen (Non-Target-Effekte);
- Ökosystemare Effekte (Stoffhaushalt, Biodiversität, Nahrungsketten).

Die Auswertung der empirischen Ergebnisse bildet die Grundlage für die Einschätzung von Risiken auf größerer Skala. Dabei sind dann folgend auch Extrapolationsmethoden von Bedeutung.

Extrapolationen auf höhere Ebenen

Aussagen zu Effekten über größere Räume sind nicht mehr allein aufgrund empirischer Befunde möglich. Oft geht es darum, Auftretenshäufigkeiten bestimmter Effekte abzuschätzen. Hierzu ist eine Kombination aus Umgebungsinformationen (Klima, Häufigkeit relevanter meteorologischer Konstellationen, geomorphologische Strukturen u.a.) und Informationen des „Antwort-Verhaltens“ der jeweiligen Organismen unter entsprechenden Bedingungen erforderlich. Der angestrebte Ausageraum bezieht sich auf zwei Ebenen:

- **Effekte auf der Ebene der Landschaft** Dies umfasst Ökosystem übergreifende Effekte, z. B. durch migrierende Organismen (beispielsweise Vögel, die mehrere Naturräume nutzen und im Rahmen der Ökosystemanalyse eines Ackerstandortes nicht erfasst werden), Nachbarschafts-Beziehungen zwischen Feldern und deren Häufigkeit. Z. B. lässt sich die Bedeutung von Genfluss nur in großräumigerem Zusammenhang abschätzen.
- **Regionale Effekte** Hier spielen Wirkungen auf die Agrarstruktur eine Rolle, zusätzlich treten ökonomische und gesellschaftliche Zusammenhänge ins Blickfeld. Implikationen für Kostenstrukturen berühren einen wesentlichen Bereich, über den sich sozial-ökologische Effekte vermitteln, die das Zusammenwirken von ökologischen und gesellschaftlichen Gegebenheiten betreffen.

Effekte auf einer Ebene haben Implikationen für andere Ebenen (cross-level interactions). Bisher erfolgte eine Konzentration auf untere Ebenen. Diese

umfassen auch Nicht-Zielorganismen. Meist wird die Ebene der Individuen, seltener der Population erfasst. Nur wenige Studien beschäftigten sich bisher mit Landschaftseffekten (Colbach 2008, Kupařinen 2006, Squire et al. 2008) oder regionalen Implikationen. Hier leistete das GeneRisk-Projekt Pionierarbeit, indem erste regionale Aussagemöglichkeiten für den Genfluss bei Mais sowie weitere regionale Abschätzungen entwickelt wurden (Schmidt et al. 2009).

Die Notwendigkeit der Integration

Die Risikoanalyse von GVO stellt ein Mehrebenen-Problem dar. Die Einbringung der Expertise aus verschiedenen Disziplinen ist erforderlich zur Erfassung und Beurteilung der jeweiligen Einzelheiten (multidisziplinäre Beurteilung). Zusätzlich ist interdisziplinäre Expertise erforderlich zur Verknüpfung der Befunde hinsichtlich ihrer Bedeutung für über- bzw. untergeordnete Ebenen und für benachbarte Disziplinen.

Eine systemische Konzeption und Verknüpfung ist erforderlich wegen der besonderen ökologisch-ökonomischen und sozialen Integration des landwirtschaftlichen Systems. Dies betrifft auch die nachgelagerten Produktionsprozesse mit grundlegender Bedeutung für das Gemeinwesen. Die systemische Betrachtung verbindet

- besondere Gentechnik- spezifische Aspekte wie Genfluss, Vermischung, Saatgutreinheit; genomische Umorganisation, Wirkungen auf das ökologische Gefüge und deren Hochrechnung auf den größeren geografischen Rahmen;
- das Zusammenwirken der ablaufenden Prozesse und ihre Beeinflussung durch die möglichen Regulationsmaßnahmen hinsichtlich Zulassung, Patentierung, klassische Züchtung und Kosteneffekte.

2.3 Systemische Aspekte in der Zulassung und Regulierung von GVO

Der Zulassungsprozess reflektiert zum Teil bereits die Mehrskaligkeit der zu handelnden Fragestellungen. Da eine Einheitlichkeit des Wirtschaftsraumes in der Europäischen Union eine politisch angestrebte Rahmenbedingung ist, wird auch eine Einheitlichkeit der Zulassung von GVO angestrebt. Die Zulassung kommt zustande im Rahmen eines Zusammenspiels zwischen nationalen und EU-Behörden. Anträge auf Zulassung zum Inverkehrbringen werden bei einem Mitgliedsland gestellt. Nachdem der Antrag geprüft ist, kann die Behörde das Verfahren an die EU weiterleiten.

Die "European Food Safety Authority" (EFSA) bewertet den Antrag auf Zulassung (das „Dossier“) und kontaktiert die zuständigen Behörden der Mitgliedsländer. Diese können Einwendungen erheben, die die EFSA in ihre abschließende Bewertung einbeziehen kann.

Auf der Ebene der Mitgliedsstaaten muss die Zulassung nach dem Gentechnikrecht vor dem Inverkehrbringen noch ergänzt werden um eine Zulassung nach dem Sortenrecht. Dabei werden die jeweiligen Sorten bewertet, in die ein zugelassenes

GVO-Konstrukt durch konventionelle Züchtung eingekreuzt wurde. Festgestellt wird dabei der „landeskulturelle Wert“.

Über den GVO-Anbau wird ein länderspezifisches Anbauregister geführt. In dieses werden die Bezeichnung des GVO und der Ort des Anbaus schlaggenau eingetragen. Diese Information ist öffentlich zugänglich. Der Grad der Umsetzung ist jedoch nicht einheitlich.

Die Einführung einer GVO-Sorte in den Anbau ist begleitet vom Erlass der Regeln für die Gute Landwirtschaftliche Praxis (GLP). Die Regeln enthalten u.a. Angaben über Mindestabstände, Spezifikationen der Informationspflichten sowie Kultivierungsmaßnahmen. Haftungsfragen stehen in engem Zusammenhang mit der Einhaltung der GLP durch den für den Anbau verantwortlichen Landwirt.

Den Anbau begleitend erfolgt ein Monitoring von Umweltwirkungen. Der Bereich des „case specific monitoring“ ist verpflichtend, sofern spezifische Risiken identifiziert wurden, bzw. zur Bestätigung der Annahmen, die bei der Risikoabschätzung getroffen wurden. Die „general surveillance“ untersucht potenzielle neue Effekte, die nicht Gegenstand der Risikoanalyse waren und die u.U. unerwartet neu auftreten. Der Monitoring-Plan ist länderspezifische Zulassungsvoraussetzung.

Einzelne Mitgliedsländer der EU können der Wirksamkeit der EU-weiten Zulassung für das jeweilige Land im Falle von Sicherheitsbedenken widersprechen. Mit Verweis auf das Vorsorgeprinzip und aufgrund neuer wissenschaftlicher Befunde, die bei der Zulassung nicht berücksichtigt wurden, kann die Genehmigung zum Inverkehrbringen im jeweiligen Land auch vor der gesicherten Identifikation kausaler Verknüpfungen bis zur weiteren Klärung zeitweilig ausgesetzt werden. Für den in der EU aktuell zum Anbau für Futterzwecke zugelassenen GVO (der Bt-Mais Mon810 der Firma Monsanto) haben Österreich, Luxemburg, Griechenland, Frankreich und Deutschland von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht. In größerem Umfang findet in der EU ein Anbau in zwei Regionen Spaniens (rd. 67.000 ha in 2010) statt.

Zitierte Literatur

- Colbach N (2008) How to model and simulate the effects of cropping systems on population dynamics and gene flow at the landscape level: example of oilseed rape volunteers and their role for co-existence of GM and non-GM crops. In: Schröder W, Schmidt G (eds) Implications of GM-crop cultivation—series. *Environ Sci Pollut Res* 16:348–360
- Kuparinen A (2006) Gene flow from transgenic plant populations. Models and applications for risk assessment. Academic dissertation, Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science, University of Helsinki, Helsinki
- Renn O, Keil F (2008) Systemische Risiken: Versuch einer Klassifizierung. *GAIA* 17:349–354
- Schmidt G, Kleppin L, Schröder W, Breckling B, Reuter H, Eschenbach C, Windhorst W, Höttl K, Wurbs A, Barkmann J, Marggraf R, Thiel M (2009) Systemic risks of genetically modified organisms in crop production: interdisciplinary perspective. *GAIA* 18:119–126
- Squire G, Begg G, Hawes C, Young M (2008) Cumulative impact of GM herbicide tolerant cropping on arable plants assessed through species-based and functional taxonomies. In: Schröder W, Schmidt G (eds) Implications of GM-crop cultivation – series. *Environ Sci Pollut Res* 16:85–94