

GIS-gestützte Analysen zur möglichen Gefährdung von Naturschutzgebieten durch den Anbau gentechnisch veränderter Kulturpflanzen

Auswirkung von Sicherheitsabständen

Gunther Schmidt · Winfried Schröder

Erhalten: 20. Februar 2008 / Akzeptiert: 21. April 2008 / Online veröffentlicht: 28. Mai 2008
© Springer-Verlag 2008

Zusammenfassung *Hintergrund, Ziel und Zweck* Der kommerzielle Einsatz von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen (GVP) wurde bislang fokussiert auf Fragen zur Koexistenz mit der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft sowie auf mögliche Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit. Großräumige Untersuchungen zu möglichen direkten, indirekten und langfristigen Wirkungen auf natürliche Ökosysteme fehlen dagegen bisher. Besonders der Wahrung der Integrität von Naturschutzgebieten kommt hierbei eine besondere Rolle zu. Nach § 23 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) dienen Naturschutzgebiete dem besonderen Schutz von Natur und Landschaft, indem dort existierende Biotope wild lebender Arten erhalten, entwickelt und wiederhergestellt werden sollen. Der § 34a BNatSchG setzt die Nutzung von gentechnisch veränderte Organismen (GVO) mit Projekten gleich, welche im Falle von Gebieten gemeinschaftlicher Bedeutung (Flora-Fauna-Habitate, FFH) oder europäischer Vogelschutzgebiete auf ihre Verträglichkeit mit dem Schutzzweck zu überprüfen sind. Vor diesem Hintergrund wurde in dem vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) geförderten Projekt „Abstandregelungen beim Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen in der Nähe von Schutzgebieten“ untersucht, inwiefern Schutzgebiete von den Auswirkungen des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen betroffen wären und welche Maßnahmen die Auswirkungen eines GVP-Anbaus mindern oder verhindern könnten. Im Mittelpunkt der hier vorgestellten Arbeit wird beispielhaft gezeigt, wie sich die Einführung

unterschiedlicher Abstandregelungen zum Schutz der Artendiversität in Naturschutzgebieten auf den potenziellen Anbau von herbizidresistentem Raps (HR-Raps) und insektizidresistentem Mais (B.t.-Mais) in Nachbarschaft von Schutzgebieten flächenhaft auswirken würde. Zum anderen wird eine Methodik vorgestellt, die es ermöglicht, die in Deutschland eingerichteten Naturschutzgebiete in Gruppen unterschiedlicher Gefährdung durch einen GVP-Anbau einzuteilen, um daraus repräsentative Schutzgebiete für eine Modellierung der GVP-Ausbreitung zu bestimmen und so den Aufwand für eine Abschätzung der ökologischen Folgen eines GVP-Anbaus zu reduzieren.

Material und Methoden In Deutschland gab es nach Angaben des Bundesamtes für Naturschutz (Stand: 2003) etwa 7.400 Naturschutzgebiete (NSG), die einen Anteil von 3 % der Landesfläche einnahmen. In einem geografischen Informationssystem (GIS) wurden die Schutzgebietsgeometrien mit Landnutzungsdaten aus „CORINE Landcover“ und Regionalstatistiken zur Anbaufläche von Raps und Mais sowie einer ökologischen Raumgliederung Deutschlands zusammengeführt. In einem ersten Schritt wurde untersucht, wie viel Agrarnutzungsfläche bei unterschiedlichen Sicherheitsabständen um die NSG bundesweit und je Bundesland für einen Anbau von B.t.-Mais bzw. HR-Raps noch zur Verfügung stände. In einem zweiten Schritt wurden die NSG mithilfe komplexer GIS-Analysen zu Schutzgebietstypen aggregiert, die die Variationen in der Anbaudichte von Raps oder Mais in Nachbarschaft zu den Schutzgebieten sowie deren unterschiedliche Geometrie und deren landschaftsökologische Situation widerspiegeln. Dafür wurde zunächst ein Geometriefaktor (GF) berechnet, der den Umfang eines NSG in Beziehung zu seiner Fläche als Maß für die relative Kontaktzone und Eindringtiefe der Wirkungen von GVP, z. B. über den Pollenflug, setzt. Die Intensität der GVO-Wirkungen wurde mithilfe eines Anbaudichtefaktors (AF) aus-

Otto Fränze zum 75. Geburtstag gewidmet

Gunther Schmidt (✉), Winfried Schröder
Lehrstuhl für Landschaftsökologie, Hochschule Vechta
Postfach 1553, 49364 Vechta, Deutschland
E-Mail: gschmidt@iuw.uni-vechta.de

gedrückt, der auf Basis von kreisbezogenen Agrarstatistiken den Anteil der kulturartenspezifischen Nutzung innerhalb einer Zone von 4.000 m (Rapsanbau) bzw. 800 m (Maisanbau) um das NSG beschreibt.

Ergebnisse Bereits bei einer Sicherheitszone von 500 m um die NSG verblieben nach den durchgeführten Berechnungen noch über 94% der Agrarflächen in Deutschland für einen Anbau von GVP, bei 1.000 m Sicherheitsabstand noch etwa 88%, bei 4.000 m dagegen nur noch etwa die Hälfte. Die Kombination von GF und AF ergaben für jede Kulturart nach Aufteilung in jeweils drei Perzentilklassen neun Modellraumklassen (MRK), die die Variation von Gebietsgeometrie und Anbaudichte in der Umgebung des NSG widerspiegeln. Am meisten gefährdet waren demnach solche NSG, die eine große Kontaktfläche (+ GF) und eine hohe Anbaudichte (+ AF) in ihrer Umgebung aufwiesen. NSG mit dieser Konstellation hatten einen Anteil von 7% und nahmen eine Fläche von 0,4% aller NSG ein. Die Verschneidung mit der ökologischen Raumgliederung ergab, dass mehr als ein Drittel dieser NSG in Raumklasse 62 vorkamen. Alle NSG, in deren Umgebung die höchsten AF zu finden waren, machten jeweils bei beiden Kulturarten zusammen etwa 60% aller NSG aus.

Diskussion Der technische Ablauf der Klassenbildung erfolgte nach einem Regel basierten hierarchischen System und wurde durch Implementierung eigener GIS-Prozeduren teilautomatisiert, sodass zusätzliche Auswertungen mit anderen GV-Pflanzen, anderen Schutzgebietstypen oder anderen Abstandsweiten ohne erheblichen Arbeitsaufwand möglich sind. Die mithilfe von GIS-Operationen und häufigkeitsstatistischen Methoden berechneten Schutzgebietskategorien halfen dabei, die Folgen eines GVP-Anbaus hinsichtlich einer möglichen Gefährdung von Schutzgebieten in der Anbaupraxis abzuschätzen.

Schlussfolgerungen Die Festlegung von Sicherheitsabständen um Schutzgebiete sollte in Abhängigkeit von den Ausbreitungsmechanismen und den spezifischen Wirkungen der jeweiligen Kulturart auf Nicht-Zielorganismen sowie von den jeweils vorkommenden Schutzgütern erfolgen. Besonders GV-Raps birgt aufgrund von Wildpopulationen und aufgrund seiner Kreuzungspartner ein Risiko für ein Einwandern in Schutzgebiete, selbst bei der Einrichtung von Sicherheitszonen, insbesondere wenn dort oder in den Schutzgebieten selbst konventioneller Raps angebaut wird. Dies gilt umso mehr, solange es nicht gelingt, das Saatgut frei von Verunreinigungen mit gentechnisch verändertem Saatgut zu halten.

Empfehlungen und Ausblick Zur Konkretisierung und Umsetzung von Maßnahmen für die Reduzierung von Auswirkungen eines GVP-Anbaus auf Schutzgebiete bedarf es eines politischen und gesellschaftlichen Diskurses zur Abwägung, welche der Veränderungen der Schutzgüter toleriert werden können, bevor es zu einem kommerziellen Anbau

von GVP kommt. Hierfür sind wissenschaftliche Studien notwendig, die auf empirischer und modelltheoretischer Grundlage die Ausbreitungsreichweite von gentechnisch veränderten Pollen und die Verbreitung und Wirkung von in die Umwelt eingetragenen Transgenen und freigesetzten Toxinen abschätzen. Die Überwachung der GVP-Anbauflächen sollte im Rahmen des nach EU-Richtlinie 2001/18/EC zur Freisetzung von GVO geforderten fallspezifischen und allgemeinen Monitorings erfolgen. Die für die Planung eines Monitorings sowie für die Analyse und Bewertung der Umweltwirkungen notwendigen Informationen sowie die Monitoringdaten selbst sollten in einem webbasierten Geoinformationssystem (WebGIS) integriert und ausgewertet werden.

Schlüsselwörter Abstandsregelungen · Anbaudichtefaktor (AF) · B. t.-Mais (insektizidresistenter Mais) · Flora-Fauna-Habitate (FFH) · Gentechnisch veränderte Kulturpflanzen (GVP) · Gentechnisch veränderte Organismen (GVO) · Geometrischer Koeffizient (GC) · GIS (geografisches Informationssystem) · GIS-Analysen · HR-Raps (herbizidresistenter Raps) · Naturschutzgebiete (NSG) · Raps · Risikoabschätzung · Webbasiertes Geoinformationssystem (WebGIS)

GIS-based analyses for the potential risk of nature conservation areas by the cultivation of genetically modified plants—effects of isolation distances

Abstract *Background, Aim, and Scope* The introduction of genetically modified plants (GMP) into the European agriculture primarily has been investigated in respect of economical aspects, its impacts on conventional crops, and direct or indirect effects on human health. Potential ecological impacts, especially their long term and large scale implications, were out of focus, usually. A special task is to protect the integrity of nature reserves. According to § 23 of the German Nature Protection Law (BNatSchG) nature reserves are to protect nature and landscape properties by preserving and developing existing as well as by re-establishing biotopes of wild and endangered species. According to § 34a of the BNatSchG the use of GMP has to be accompanied by an environmental impact analysis of possible risks like it has to be done in projects affecting the integrity of Flora-Fauna-Habitats (FFH) or European bird sanctuaries. Considering this, the joint research project “Recommendations for isolation distances concerning the cultivation of genetically modified plants in the neighbourhood of protected areas” which was promoted by the Federal Agency for Nature Conservation (BfN) aimed at describing possible risks for biocoenoses in conservation areas that could be caused by the cultivation of GMP in their vicinity and at evaluating measures which could mitigate or hinder negative effects. The article

at hand concentrates on describing the implications which would emerge when introducing different isolation distances concerning the cultivation of herbicide resistant oil seed rape (HR-OSR) and insect resistant maize (*B. t.*-maize) near protection areas. On the other hand, a methodology is introduced which was developed to classify the German nature reserves according to their potential endangerment by GMP cultivation and to minimise calculation efforts for modelling possible impacts.

Materials and Methods In 2003, there were around 7,400 nature reserves which covered 3% of the whole territory of Germany. A geographical information system (GIS) was used to integrate geometries of conservation areas, land use data (CORINE landcover), agricultural information on district level as well as a map of German ecoregions. At first, it was evaluated how much arable land for *B. t.*-maize or HR-OSR cultivation would remain if introducing different isolation distances around nature reserves (NSG). Furthermore, the NSG were aggregated to several homogenous classes reflecting different levels of cultivation intensities in their vicinity and different geometric properties. This was realised calculating a geometric coefficient (GC) which describes the ratio of periphery and area of each NSG in order to abstract the risk of GMP invasion. The density of maize and rape cropping near the NSG was expressed by a cultivation coefficient (CC). According to regional agricultural surveys, this was calculated by adding up the area of maize and rape fields within a radius of 1,000 m (maize) and 4,000 m (rape), respectively, around the NSG.

Results Considering an isolation distance of 1,000 m around the NSG, 90% of the farmland in Germany would be available for GMP cultivation. 50% would remain when establishing an isolation distance of 4,000 m. The combination of GC and CC resulted in a total of nine risk categories (RC) describing the potential risk of endangerment by GMP cultivation in the vicinity of NSG. Areas with highest risk were grouped in RC nine where the smallest NSG (+ GC) in the main cultivation areas of maize or corn (+ CC) were summarised. With a numerical proportion of 7% those sites cover only 0.4% of total area of all NSG. All nature reserves showing highest CC values had a total proportion of 60%.

Discussion The derivation of GC and CC was based on a hierarchical approach and was implemented by complex GIS procedures. This makes it easy to calculate additional values for different GMP, protection areas or isolation distances. The RC were useful for choosing representative modelling sites in order to minimise calculation efforts when modelling possible impacts of GMP cultivation in vicinity of nature reserves.

Conclusions The assessment of isolation distances around protection areas should be performed for each area individually concerning the GMP specific effects and dispersal properties as well as the protected organisms and the main

protection targets. Especially HR-OSR is critical because of its volunteers and hybridisation partners. Another main source of GMP dispersal into protection areas might be the contamination of conventional seeds with transgene OSR seeds.

Recommendations and perspectives Before defining and applying particular measures in order to protect conservation areas from possible impacts due to GMP cultivation a political and societal discussion is necessary in order to assess which GMP induced impacts may be tolerated. This has to be supported by additional scientific studies based on empirical and estimated data evaluating possible dispersal distances of GM pollen and possible environmental impacts of released transgenes and their toxins. According to the EU Directive 2001/18/EC the cultivation of GMP should be accompanied by a case-specific monitoring and general surveillance, as well. It should be realised as soon as possible, since the release and the cultivation of GMP in Germany have been started, already. The monitoring should be complemented by the implementation of a web-based geoinformation system (WebGIS) which enables the compilation and evaluation of the data and relevant geodata.

Keywords *B. t.*-maize (insect resistant maize) · Flora-Fauna-Habitats (FFH) · Genetically modified plants (GMP) · Geometric coefficient (GC) · GIS (geographical information system) · GIS analyses · Herbicide resistant oil seed rape (HR-OSR) · Isolation distances · Nature conservation areas (NSG) · Oilseed rape · Risk assessment · Web-based geoinformation system (WebGIS)

1 Hintergrund und Ziel

Der kommerzielle Einsatz von GVP wurde bislang fokussiert auf Fragen zur Koexistenz mit der konventionellen und ökologischen Landwirtschaft sowie auf mögliche Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit. Risikoanalysen zu möglichen Auswirkungen der freigesetzten Genkonstrukte basierten dabei zumeist auf Versuchen mit geringer räumlicher Aussageweite, da sie z. B. in Labors, Gewächshäusern oder auf kleinräumigen Versuchsfeldern durchgeführt werden (Chapman und Burke 2006; Pilon und Prendville 2004). Untersuchungen zu langfristigen, großräumigen Interaktionen mit der Umwelt etwa auf Ebene von Flurstücken, Landschaften oder Regionen, z. B. Auskreuzungen oder DNS-Rekombinationen in Bodenmikroorganismen, bilden dagegen nach wie vor eine Ausnahme (Squire et al. 2003; Spök et al. 2005), rücken jedoch immer mehr in den Fokus der wissenschaftlichen Forschung (Andow und Zwahlen 2006; Beismann und Kuhlmann 2006; Castellazzi et al. 2007; Devaux et al. 2007; Hofmann et al. 2005). Besonders der Wahrung der Integrität von Naturschutzgebieten kommt

hierbei eine besondere Rolle zu. Nach § 23 BNatSchG dienen Naturschutzgebiete dem besonderen Schutz von Natur und Landschaft, indem dort existierende Biotope wild lebender Arten erhalten, entwickelt und wiederhergestellt werden sollen. Der § 34a BNatSchG setzt die Nutzung von GVO mit Projekten gleich, welche im Falle von Gebieten gemeinschaftlicher Bedeutung (FFH-Gebiete) oder Europäischen Vogelschutzgebieten auf ihre Verträglichkeit mit dem Schutzzweck zu überprüfen sind. Mit der Schaffung der rechtlichen Voraussetzungen, insbesondere der Umsetzung der EU Richtlinie 2001/18 EWG, steht die Zulassung diverser Sorten und damit die Anwendung bzw. das Inverkehrbringen bevor bzw. findet ein kommerzieller Anbau bereits statt. Mit der Verabschiedung entsprechender Direktiven der EU (EC No. 1829/2003, „Food and Feed“, Inkrafttreten zum 18. April 2004; EC No. 1830/2003, „Traceability and Labelling“, Inkrafttreten ebenfalls zum 18. April 2004) wurde der Weg für eine Neuordnung des GVP-Anbaus auch in Deutschland vorbereitet. Inzwischen werden bereits seit einigen Jahren GVP in Deutschland freigesetzt bzw. angebaut. Im Jahr 2007 betrug die Anbaufläche von GVP – zu 99% insektenresistenter *B. t.*-Mais (MON 810-6) – nach dem Standortregister des Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) bereits mehr als 2.750 ha. Im Vorjahr waren es noch ca. 955 ha, d. h. die Anbaufläche hat sich fast verdreifacht. Die Hälfte der Maisfelder liegen allein im Bundesland Brandenburg (Stand: August 2007).

Vor diesem Hintergrund wurde in dem vom BfN von 2003 bis 2004 geförderten Projekt „Abstandregelungen beim Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen in der Nähe von Schutzgebieten“ untersucht, inwiefern Schutzgebiete von den Auswirkungen des GVP-Anbaus betroffen sind und welche Maßnahmen die Auswirkungen des GVP-Anbaus mindern oder verhindern können (Menzel et al. 2005). Im Mittelpunkt der hier vorgestellten Arbeit wird beispielhaft gezeigt, wie sich die Einführung unterschiedlicher Abstandregelungen auf den potenziellen Anbau von herbizidresistentem Raps (HR-Raps) und insektenresistentem Mais (*B. t.*-Mais) in Nachbarschaft von Schutzgebieten flächenhaft auswirkt. Anschließend wird eine Methodik vorgestellt, die dabei hilft, die in Deutschland eingerichteten Naturschutzgebiete in Gruppen unterschiedlicher Gefährdung durch einen GVP-Anbau einzuteilen, um so den Aufwand für eine Einschätzung der ökologischen Folgen eines GVP-Anbaus zu reduzieren.

Bei den laut BVL derzeit für eine Marktzulassung genehmigten oder sich im Genehmigungsverfahren befindlichen GVP handelt es sich um Arten mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften bzw. Eigenschaftskombinationen. Hierzu gehören u. a. Resistenzen gegen verschiedene Herbizide (u. a. bei Raps), gentechnisch vermittelte Insektenresistenz (u. a. bei Mais), Virusresistenz (Zuckerrüben) sowie verschiedene Veränderungen von Inhaltsstoffen (u. a. Raps: Fettsäuremus-

ter; Kartoffeln: Stärkezusammensetzung). Die ökologischen Auswirkungen eines großflächigen Anbaus von GVP sind auf der regionalen Ebene u. a. in Bezug auf Artenzusammensetzungen in Biozöosen, Nahrungsnetzbeziehungen und Ökosystemfunktionen bis jetzt wenig untersucht worden. Weiter wurden Auswirkungen nur auf einen begrenzten Ausschnitt der potenziell betroffenen Arten bzw. Artengruppen hin untersucht. Damit sind mögliche Effekte jedoch noch nicht in ihren langfristigen und großräumigen Auswirkungen einschätzbar, denn manche (z. B. Biodiversitätsveränderungen) manifestieren sich nur bei einem großflächigen Anbau, andere Effekte – wie ein horizontaler Gentransfer – sind erst nach einer längeren Beobachtungsdauer feststellbar, oder es treten nicht vorhersehbare und damit auch nicht untersuchte Hybridbildungen und folgende Transgen-Kombinationen mit unerwarteten Eigenschaften auf. Damit sind die Auswirkungen eines GVP-Anbaus auf Schutzgebiete nach dem heutigen Stand des Wissens nur schwer vorhersehbar. Aus einem hypothesengeleiteten Ansatz sind Beeinträchtigungen von Schutzgütern wie z. B. Auswirkungen auf die Biodiversität und die evolutionäre Integrität und Ökosystemfunktionen zu vermuten (Züghart und Breckling 2003). Erfasst werden diejenigen Zusammenhänge, für die es aufgrund des gegebenen Informationsstandes hinreichende Anhaltspunkte gibt. Dies schließt direkte Auswirkungen und Nahrungsnetzeffekte genauso ein wie die Verdrängung einzelner Arten oder die bloße Persistenz von Transgenen. Der hypothesengeleitete Ansatz wurde auf potenzielle Auswirkungen von GVP auf Schutzgebiete angewendet. Die Bewertung, welche Beeinträchtigungen von Schutzgütern noch tolerierbar sind, ist eine gesellschaftliche Aufgabe, die im Zusammenspiel von Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit zu bewältigen ist.

2 Material und Methoden

2.1 Datengrundlagen

In Deutschland gab es nach Angaben des BfN (Stand: 2003) etwa 7.400 Naturschutzgebiete (NSG), die einen Anteil von 3% des Bundesgebietes einnahmen. Zur Analyse der Auswirkung verschiedener Abstandsregelungen auf die verbleibende Agrarnutzfläche und zur Kategorisierung der NSG hinsichtlich ihrer potenziellen Gefährdung durch einen GVP-Anbau in ihrer Nachbarschaft wurden die Geometrien und die zugehörigen Sachdaten der NSG zusammen mit folgenden bundesweit flächendeckend vorliegenden Daten in einem GIS zusammengeführt und verarbeitet:

- Naturschutzgebiete (Geometrien und Daten, Stand: 2003) (BfN),
- Landbedeckung (CORINE Land cover, Stand: 1995) (Europäische Umweltagentur),

- Agrarstatistiken auf Kreisebene (Statistik regional, Stand: 1999) (Statistisches Bundesamt),
- Ökologische Raumgliederung Deutschlands (21 Klassen) (Schröder et al. 2006).

Da es in Deutschland zurzeit noch kein allgemein zugängliches digitales Anbaukataster gibt, wurde zur Darstellung der kulturartenspezifischen Anbauverhältnisse auf kreisbezogene Agrarstatistiken zurückgegriffen, die alle vier Jahre von den statistischen Landesämtern erhoben werden (Statistik regional). Die Verwendung einer Karte zur Landbedeckung (CORINE) (Liebel und Aubrecht 1996) erlaubte eine räumlich differenziertere Darstellung der Anbausituation. Mithilfe der Raumgliederung konnten die Berechnungsergebnisse in einem landschaftsökologischen Gesamtkontext dargestellt werden. Eine erste Plausibilitätsüberprüfung der Quelldaten zu den Geometrien der NSG ergab, dass die Anzahl der im Geodatensatz des BfN enthaltenen Flächen die der zum damaligen Zeitpunkt (2003) tatsächlich existierenden NSG deutlich überstieg (ca. 11.000 statt rund 7.400). Dies mag an dem komplexen und fehleranfälligen Verfahren liegen, in dessen Verlauf die in den Bundesländern erhobenen Informationen über die Schutzgebiete schließlich vom BfN zusammengeführt werden. Für eine Weiterverarbeitung wurden daher zunächst fälschlich geführte Polygone, entstanden z. B. aufgrund von Digitalisierungsfehlern, eliminiert und ursprünglich zusammengehörende Teilpolygone eines NSG wieder vereint, sodass nach der Qualitätskontrolle schließlich 7.338 Polygone für die weiteren Berechnungen zur Verfügung standen.

2.2 Methoden

2.2.1 Szenarien unterschiedlicher Abstandsweiten

In einem ersten Schritt wurde untersucht, wie viel Agrarnutzungsfläche bei unterschiedlichen Sicherheitsabständen um die NSG bundesweit und je Bundesland für einen Anbau von *B. t.*-Mais bzw. HR-Raps noch zur Verfügung stände. Hierzu galt es im Einzelnen, folgenden Fragestellungen nachzugehen und durch geeignete Kennwerte zu quantifizieren:

- Welche Flächen der BRD bzw. der Länder werden durch Naturschutzgebiete mit verschiedenen großen Sicherheitszonen belegt?
- Wie viel (kulturartenspezifische) Agrarflächen liegen dann innerhalb der Sicherheitszonen, ständen also für einen Anbau von GVP nicht zur Verfügung?
- Wie viel (kulturartenspezifische) Agrarflächen liegen dann noch außerhalb der Naturschutzgebiete und Sicherheitszonen und könnte somit für einen GVP-Anbau genutzt werden?

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden elf verschiedene Abstandsweiten (100 bis 10.000 m) bei der Verarbeitung im GIS variiert, statistisch analysiert und kartografisch

dargestellt. Da es zum damaligen Zeitpunkt kein parzellenscharfes Flächenkataster gab, das es erlaubt hätte, die jeweils reale Anbausituation in der Nachbarschaft der NSG zu berücksichtigen, mussten Angaben zur räumlichen Verteilung der landwirtschaftlichen Anbaufläche aus CORINE Landcover 1995 sowie kulturartenspezifische Angaben zur Intensität des Raps- und Maisanbaus aus den Agrarstatistiken der Landkreise abgeleitet werden. Für jede gewünschten Abstandsweite wurden zunächst die Geometrien aller NSG um diesen Betrag gepuffert und als separate Polygone abgespeichert. Überlappende Pufferbereiche wurden zusammengefasst. Anschließend wurden die Sicherheitszonen mit einer aus CORINE extrahierten Karte zur Ackernutzung verschnitten. Für alle bei der Verschnidung ermittelten Agrarflächen innerhalb der Sicherheitszonen wurde anschließend durch eine weitere GIS-Abfrage bestimmt, in welchen Landkreisen sich diese jeweils befanden. Zu jedem Landkreis lagen Angaben aus der Agrarstatistik von 1999 vor, aus denen hervorging, wie hoch der prozentuale Anteil der jeweiligen Kulturart an der gesamten Anbaufläche war. Entsprechend dem Flächenanteil eines Landkreises an der jeweiligen Sicherheitszone und dem dort nach Agrarstatistik zu erwartendem Anteil einer der beiden Kulturarten konnte ein gewichteter Mittelwert über den in der Sicherheitszone zu erwartende Anbaufläche für Raps und Mais ermittelt werden. Für eine halbautomatisierte Ermittlung der jeweiligen kulturartenspezifischen Flächenanteile innerhalb der Sicherheitszone bzw. innerhalb der Restanbaufläche wurden verschiedene GIS-Prozeduren in der vom Softwarehersteller Environmental Systems Research Institute (ESRI) entwickelten Skriptsprache AVENUE formuliert. Dies ermöglichte einerseits schnellere Bearbeitungszeiten und verminderte zum anderen die Gefahr von Eingabe- und Berechnungsfehlern. Im GIS wurden für jeden Sicherheitsabstand Karten erzeugt, die die von den NSG und den jeweiligen Sicherheitszonen eingenommenen Landschaftsausschnitte ebenso abbildeten wie die nach CORINE 1995 noch verbleibenden Ackerflächen, auf denen unter diesen Randbedingungen noch GVP angebaut werden könnten.

2.2.2 Modellraumklassen

In einem zweiten Schritt wurden die NSG mithilfe komplexer GIS-Analysen zu Schutzgebietstypen aggregiert, die die Variationen in der Anbaudichte von konventionellem Raps oder Mais in Nachbarschaft zu den Schutzgebieten sowie deren unterschiedliche Geometrie und deren regionale landschaftsökologische Situation widerspiegeln. Da die große Anzahl deutscher Schutzgebiete eine Einzelbetrachtung ökologischer Folgewirkungen der GVP-Exposition verhindert, war es nötig, diese nach dem Grade der Wahrscheinlichkeit für eine Gefährdung rechtlich definierter Schutzgüter durch GVP zu klassifizieren. Die Merkmale dieser

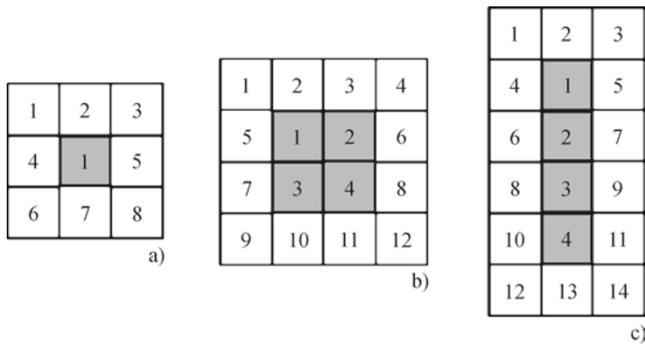


Abb. 1 Schematische Darstellung des Einflusses der Schutzgebietsgröße und -form auf den Geometriefaktor (Erläuterungen im Text)

Schutzgebietsklassen bilden wichtige Randbedingungen für die Modellierung der GVP-Ausbreitung ab und werden deshalb als Modellraumklassen (MRK) bezeichnet. Zu diesem Zweck wurde zunächst für jedes NSG ein Geometriefaktor (GF) berechnet, der den jeweiligen Umfang eines NSG in Beziehung zu seiner Fläche als Maß für die relative Kontaktzone und Eindringtiefe von Transgenen setzt. Die Intensität des potenziellen Kontakts mit Transgenen wird mithilfe eines Anbaudichtefaktors (AF) ausgedrückt. Die Kombination von GF und AF erlaubte die Zuordnung der NSG zu einer von neun MRK. Zuletzt wurde für jede MRK untersucht, wie häufig sie jeweils in den ökologischen Raumklassen nach Schröder et al. (2006) vertreten war. Der technische Ablauf ist teilautomatisiert und mit zusätzlich implementierten GIS-Prozeduren umgesetzt.

Geometriefaktor (GF) Der Berechnung des GF lag die Annahme zugrunde, dass das Risiko der Durchdringung eines Schutzgebietes durch GVP umso höher ist, je größer die Sicherheitszone eines Schutzgebietes im Verhältnis zu der eigentlichen Fläche des NSG ausfällt. Da sich die Fläche der Sicherheitszone um ein Schutzgebiet proportional zum Umfang des NSG verhält, lässt sich das Verhältnis zwischen Sicherheitszonen- (SZF) und Schutzgebietsfläche (SGF) also als ein erstes Maß zur Kategorisierung der Schutzgebiete hinsichtlich ihrer spezifischen Berührungsfläche mit

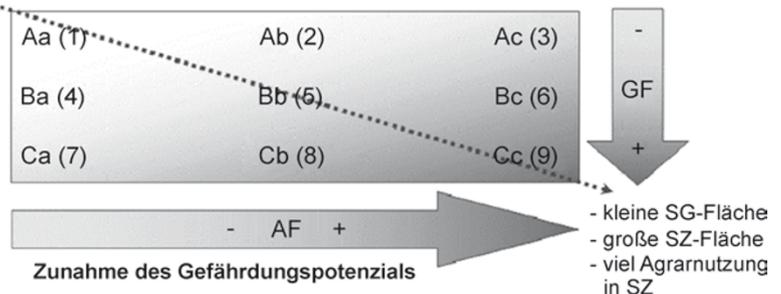
umgebenden Anbauflächen heranziehen. Der Geometriefaktor ergibt sich demnach aus dem Quotienten von Pufferfläche zu Schutzgebietsfläche (SZF/SGF) und fällt umso höher aus, je kleiner das NSG ist. Zusätzlich ergeben sich größere Quotienten, wenn das NSG eine eher längliche als runde Form besitzt. So beträgt das Verhältnis zwischen SZF zu SGF der kleinen quadratischen Fläche (Abb. 1a) 8:1, bei der viermal so großen (Abb. 1b) 3:1. Die quadratische Grundform (Abb. 1b) weist gegenüber der rechteckigen Form (Abb. 1c) bei gleichem Flächeninhalt einen kleineren Umfang (4:5) und somit auch eine kleinere umgebende Pufferfläche auf. Der GF des Quadrats (Abb. 1b) ist demnach 3, der des Rechtecks (Abb. 1c) 3,5. In Abhängigkeit von in der Literatur dokumentierten maximalen Sicherheitsabständen der jeweiligen Kulturart (Raps: 4.000m wegen Auskreuzung; Mais: 800m wegen Wirkung auf Nicht-Zielorganismen) (Felke und Langenbruch 2005; Thompson et al. 1999) wird die Pufferfläche jedes Schutzgebietes ermittelt und zur Schutzgebietsfläche ins Verhältnis gesetzt. Aus der Häufigkeitsverteilung aller GF lassen sich die Schutzgebiete auf drei Perzentilklassen aufteilen.

Anbaudichtefaktor (AF) Ein weiteres Kriterium bei der Gruppierung der Naturschutzgebiete war der Anteil an Raps- bzw. Maisanbaufläche in der Nachbarschaft des NSG. Es wurde angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit eines Eintrags von GVP in Schutzgebiete mit steigender Agrarfläche sowie kulturartenspezifischer Anbauintensität in der Umgebung der Schutzgebiete zunimmt. Gemäß dem in 2.2.1 beschriebenen Verfahren wurde daher die in einem Abstand von 4.000 m (Raps) bzw. 800 m (Mais) um das NSG zu erwartende Anbaufläche für die jeweilige Kulturart ermittelt. Dieser Anbaudichtefaktor (AF) erlaubte somit konkrete Aussagen darüber, auf wie viel Hektar Ackerfläche innerhalb der Sicherheitszone eines NSG Winterraps bzw. Mais (Silomais und Körnermais) angebaut wurde. Die Werte aller NSG wurden anschließend frequenzanalytisch ausgewertet und in drei Perzentilklassen aufgeteilt (niedrige, mittlere, hohe Anbaudichte).

Ableitung der Modellraumklassen (MRK) Durch die Kombination von Geometrie- (GF) (Klassen A–C) und

Abb. 2 Kombinationsmatrix aus Geometrie- (GF) und Anbaudichtefaktor (AF) (SG = Schutzgebiet, SZ = Sicherheitszone)

- große SG-Fläche
- kleine SZ-Fläche
- wenig Agrarnutzung in SZ



Anbaudichtefaktors (AF) (Klassen a–c) ließen sich nun für jede Kulturart neun Modellraumklassen (MRK) bilden, die je nach Kombination von AF und GF eine mehr oder weniger große Wahrscheinlichkeit eines Eindringens von GVP kennzeichneten (Abb. 2).

So sind beispielsweise der Kombination Aa (MRK 1) diejenigen Schutzgebiete zugeordnet, die sowohl einen relativ kleinen Geometriefaktor, d.h. eine relativ große Schutzgebietsfläche im Verhältnis zur Sicherheitszone, als auch eine relativ geringe kulturartsspezifische Anbaufläche innerhalb der sie umgebenden Sicherheitszone aufweisen. Die Wahrscheinlichkeit der vollständigen Durchdringung mit GVP ist in diesen Gebieten geringer als bei den anderen acht Kombinationen. Das größte Risiko besteht umgekehrt bei der Kombination Cc (MRK 9), da hier eine relativ kleine Schutzgebietsfläche einem großflächigen Anbau der jeweiligen Kulturart in der verhältnismäßig großen Sicherheitszone gegenübersteht.

Die beschriebene Methodik ist für jede Kulturart und jeden Schutzgebietstyp getrennt durchzuführen. Dieses liegt zum u. a. darin begründet, dass jede Kulturart andere ökologische Eigenschaften und Verbreitungsmechanismen aufweist (z. B. unterschiedliche Ausbreitungsradien) und somit andere Abstandsweiten sinnvoll sind. Zum anderen sind für jeden Schutzgebietstyp andere Schutzziele und -objekte relevant (z. B. Schutz der Biodiversität insgesamt oder Schutz bestimmter Arten).

Landschaftsökologische Einordnung Für eine differenzierte Charakterisierung der NSG wurden diese im GIS mit einer landschaftsökologischen Raumgliederung verschnitten (Schröder et al. 2006). Diese Landschaftsgliederung wurde mithilfe des hierarchischen Klassifikationsverfahrens „Classification and Regression Trees“ (CART) (Breiman et al. 1984) aus Rasterkarten mit einer Auflösung von $2 \times 2 \text{ km}^2$ zu verschiedenen Klimatelementen (langjährige Monatsmittel zu Niederschlag, Lufttemperatur, Verdunstung und Globalstrahlung), zur Orografie, zur Bodenart als beschreibende Eingangsgrößen und der potenziell natürlichen Vegetation als ökologisch integrierende Zielgeometrie ermittelt. Die Verknüpfung der Schutzgebiete mit der ökologischen Raumgliederung ermöglichte einerseits eine statistisch fundierte Beschreibung der ökologischen Standortverhältnisse innerhalb und in der Umgebung der Schutzgebiete. Dies erlaubte Aussagen darüber, ob sich die jeweiligen Landschaftsausschnitte für eine Ansiedlung von potenziellen Kreuzungspartnern oder für die Überdauerungsfähigkeit von GVP aufgrund der vorherrschenden Boden- und Klimaverhältnisse eignen, und half somit bei der qualitativen Bewertung des Auskreuzungs- und Durchdringungsrisikos eines jeden Schutzgebiets. Weiterhin ließen sich so die Schutzgebiete in ein landschaftsökologisches Bezugssystem einordnen. Dieses erlangt dann Relevanz, wenn eine Auswahl an Schutzgebieten so

zu treffen ist, dass möglichst viele landschaftsökologisch definierte Räume Deutschlands abgedeckt sind (Landschaftsrepräsentanz). Aus diesen Gründen kann die ökologische Raumgliederung als ein zusätzliches Kriterium zur Auswahl repräsentativer Schutzgebiete herangezogen werden. Sie diene jedoch nicht zur weiteren Differenzierung der Modellräume, sondern als Orientierungsmuster hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Modellräume. Für jedes Schutzgebiet wurde ermittelt, in welcher ökologischen Raumklasse (ÖRK) es sich befand. Lag es zugleich in mehreren, erfolgte eine Zuweisung zu derjenigen ÖRK, dessen prozentualer Anteil an der Gesamtfläche des Schutzgebietes am größten war.

3 Ergebnisse

3.1 Abstandsweiten

Das Resultat der geometrischen Verschneidungen der ca. 7.400 Schutzgebietsgeometrien bei elf verschiedenen Abstandsweiten mit der Landnutzung und den entsprechenden Anbauverhältnissen gemäß Agrarstatistik von 1999 verdeutlicht Tabelle 1. Bei einem Sicherheitsabstand um die NSG von weniger als 500 m fällt der Flächenverbrauch gering aus, sodass noch über 94 % der Agrarfläche zur Nutzung verbleiben. Bei einem Abstand von 1.000 m entfallen 13 % der Landesfläche aufgrund der Schutzzonen, sodass für einen Anbau von GVP noch 88 % der Agrarfläche zur Verfügung stehen. Bei einer Erweiterung der Mindestabstände auf 4.000 m wären dagegen bereits 56 % der Landesfläche und 37 % der Agrarfläche verbraucht. Auch die potenziellen Anbauflächen von Mais und Raps hätten sich bei diesem Abstand auf etwa 750.000 bzw. 700.000 Hektar nahezu halbiert (Abb. 3).

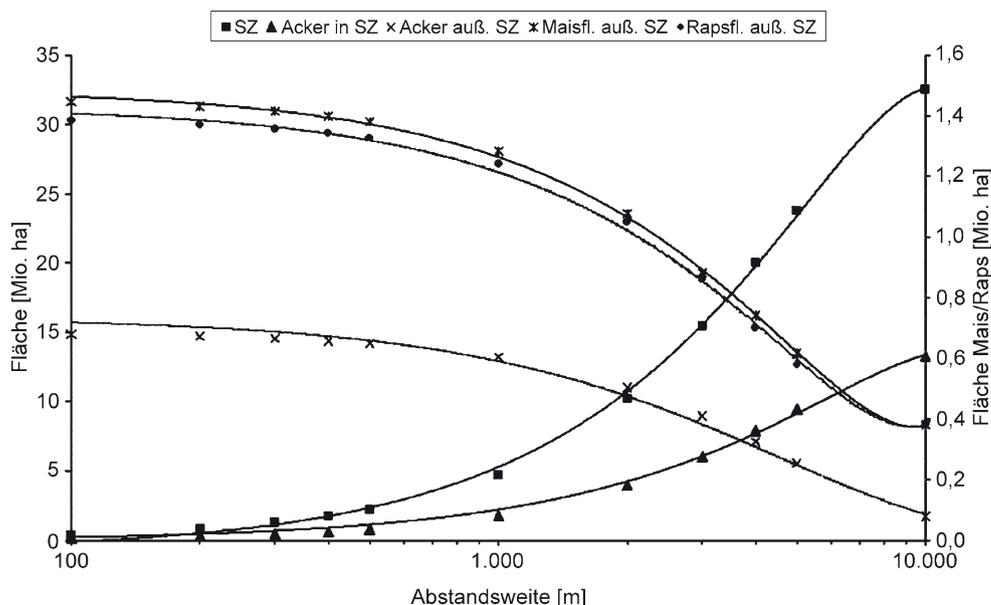
In Abb. 4 sind diese unterschiedlichen Anbausituationen beispielhaft für die Abstände 1.000, 4.000 und 10.000 m kartografisch dargestellt. Die linke Karte zeigt deutlich, wie das durch die Sicherheitszonen eingenommene Areal mit zunehmendem Sicherheitsabstand rasch ansteigt. Eine differenziertere Betrachtung, die auch die Verteilung der Ackerflächen nach CORINE 1995 sowie die landkreisbezogenen Agrarstatistiken berücksichtigt, ergab, dass durch eine Schutzzone von 500 m um die NSG noch über 94 % der Ackerflächen verbleiben. Die Untersuchung des kulturartenspezifischen Landverbrauchs mithilfe der landkreisbezogenen Agrarstatistik ergab, dass durch Einrichtung einer Sicherheitszone von 1.000 m für den Anbau von Mais noch 88 % der Anbaufläche verbleiben würden, was einer verbleibenden Anbaufläche von rund 1,3 Mio. ha entspricht (vgl. Tabelle 1). Die bedeutendsten Anbauggebiete für diese Kulturart liegen demnach in Südwest-Niedersachsen, Brandenburg und Bayern. Nach dem gleichen Vorgehen, aller-

Tabelle 1 Flächenbelegung in Deutschland durch Sicherheitszonen um Naturschutzgebiete bei variierten Abständen (NSG = Naturschutzgebiete, SZ = Sicherheitszone) (Stand: 2003)

Abstand [m]	SZ [ha]	Anteil SZ an BRD [%]	Agrarfläche in SZ [ha]	Agrarfläche außerhalb SZ [ha]	Verbleibende Agrarfläche [%]	Maisagrarfläche außerhalb SZ ^a [ha]	Rapsagrarfläche außerhalb SZ ^a [ha]
0	0	0,0	0	15.004.053	100,0	1.459.130	1.394.738
100	378.734	1,1	135.285	14.868.768	99,1	1.446.115	1.383.618
200	807.778	2,3	287.242	14.716.811	98,1	1.431.547	1.370.979
300	1.248.541	3,5	451.743	14.552.310	97,0	1.415.652	1.357.249
400	1.703.283	4,8	626.155	14.377.898	95,8	1.398.737	1.342.599
500	2.172.250	6,1	808.755	14.195.298	94,6	1.380.968	1.327.175
1.000	4.704.594	13,2	1.805.179	13.198.874	88,0	1.284.082	1.241.760
2.000	10.198.788	28,5	3.973.571	11.030.482	73,5	1.078.139	1.050.447
3.000	15.457.274	43,2	6.048.389	8.955.664	59,7	882.727	860.442
4.000	20.47.795	56,1	7.888.860	7.115.193	47,4	741.566	700.994
5.000	23.790.591	66,5	9.447.445	5.556.608	37,0	616.078	579.985
10.000	32.530.266	91,0	13.288.484	1.715.569	11,4	379.688	383.560

^a gemäß Agrarstatistiken auf Kreisebene 1999

Abb. 3 Veränderung der Flächenanteile der Ackerflächen innerhalb und außerhalb der Schutzzonen bei steigenden Sicherheitsabständen um die Naturschutzgebiete



dings für eine Sicherheitszone von 4.000m, wurden diese Berechnungen für die verbleibende Rapsanbaufläche durchgeführt. Aufgrund des weiteren Sicherheitsabstands sinkt hier die potenziell zur Verfügung stehende Restanbaufläche um 50% auf nur noch etwa 0,7 Mio. ha (vgl. Tabelle 1). Hiervon betroffen sind insbesondere die Hauptanbauggebiete für Raps in den Jungmoränenlandschaften Ostholsteins und Mecklenburg-Vorpommerns sowie die (nieder-)sächsischen Bördelandschaften und das nordthüringische Hügelland.

3.2 Modellraumklassen

Die frequenzanalytische Auswertung der Geometrie- (GF) und Anbaudichtefaktoren (AF) der ca. 7.400 NSG in

Deutschland wurde für Raps eine Abstandsweite von 4.000 m gewählt. Für Mais wurde nach der Literatursauswertung als mittlere Abstandsweite eine Entfernung von 800 m festgelegt, um damit den relevanten Abstandsbereich zwischen 500 und 1.000 m abzudecken (Menzel et al. 2005). Für beide Kulturarten wurden drei Perzentilklassen für den GF (A–C) und AF (a–c) gebildet. Dementsprechend sind NSG mit einem GF „A“ flächenmäßig größer als diejenigen, die zu den Klassen „B“ oder „C“ gehören, und/oder weisen einen verhältnismäßig kleinen Umfang auf. Bei einer Sicherheitszone von 800 m (Mais) war für die erste Perzentilkategorie (GF = A) die Fläche der Sicherheitszone maximal neunmal größer als die Fläche des NSG. In der letzten Perzentilkategorie (GF = C) sind kleine NSG zusammengefasst. Die Pufferfläche kann

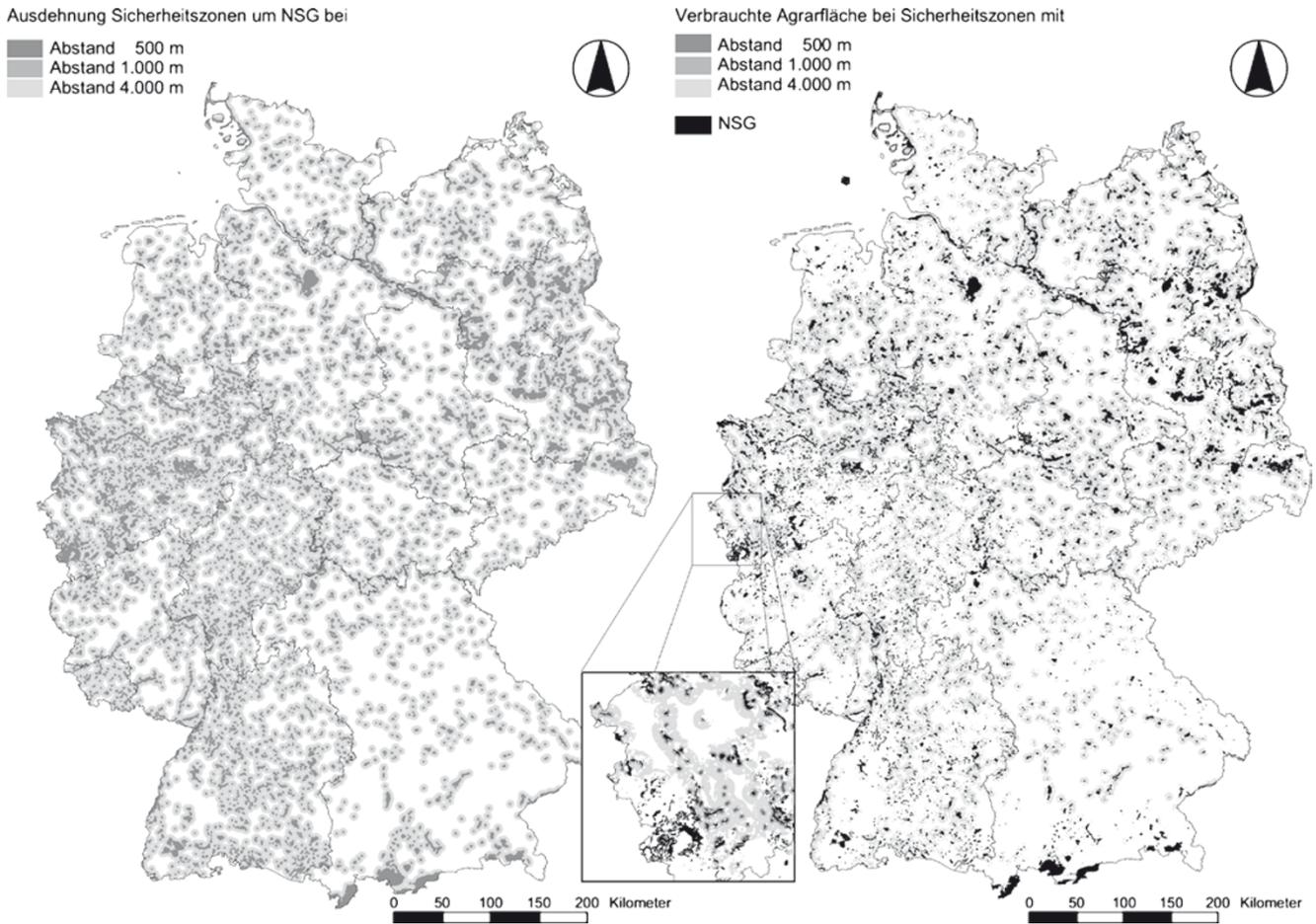


Abb. 4 Flächenbelegung von Naturschutzgebieten und Sicherheitszonen bei unterschiedlichen Abständen

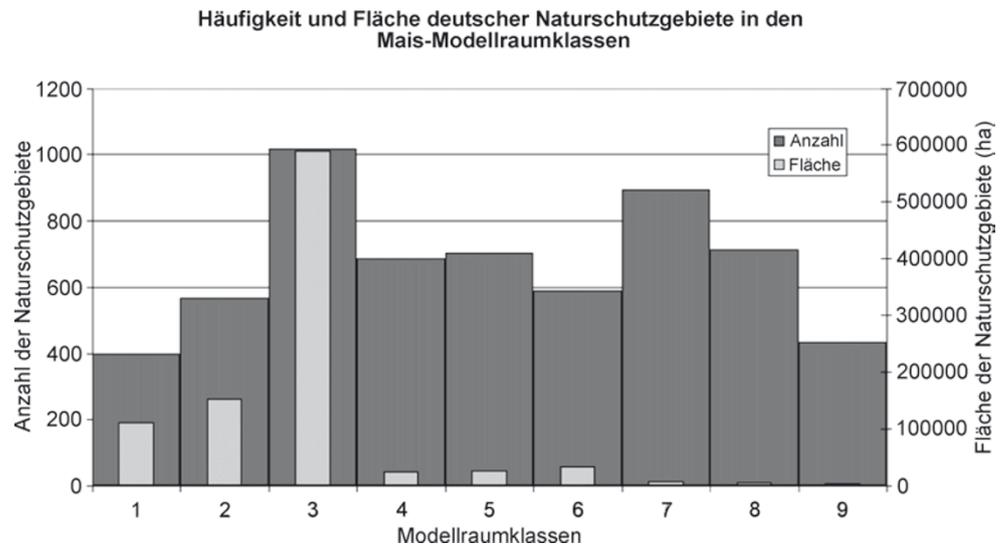
hier bei einem Abstand von 800 m bis zu ca. 1.300-mal größer sein als die des zugehörigen NSG (Tabelle 2). In diesem Fall handelte es sich um eine Feuchtwiese im Bergischen Hochland in Nordrhein-Westfalen. Aufgrund der größeren Abstandsweite (4.000 m) bei Raps fielen die Werte für den GF entsprechend höher aus, der Maximalwert für die erste Perzentilklasse lag hier bei einem Verhältnis von 1 : 115 zwischen NSG und Sicherheitszone. In gleicher Weise erfolgte die Einteilung der NSG anhand des Anbaudichtefaktors. In die Klasse „a“ entfielen demnach diejenigen NSG, in deren Sicherheitszonen (800 m bzw. 4.000 m) besonders

wenige Anbauflächen für Mais oder Raps vorhanden waren (vgl. Tabelle 2). Diejenigen NSG dagegen, in deren Sicherheitszonen besonders viel Mais oder Raps angebaut wurde, entfielen auf die AF-Klasse „c“. Die größte Anbaufläche von Mais sollte nach Analyse der Landnutzungskarte CORINE 1995 und der Agrarstatistik 1999 in der Umgebung des NSG „Emsauen“ in Nordwestdeutschland zu finden sein (1.663 ha). Am meisten Raps innerhalb der Sicherheitszone von vier Kilometern war demnach in der Umgebung der Flussauen des NSG „Stepenitz“ in der Prignitz in Nordwest-Brandenburg zu erwarten (4.663 ha).

Tabelle 2 Klassengrenzen der Perzentile zum GF und AF für Mais (SZ = 800 m) und Raps (SZ = 4.000 m) (SZ = Sicherheitszone)

Perzentil-Klasse (GF/AF)	Mais	Raps	Bedeutung
A	Min. < GF < 9	Min. < GF < 115	↓ Verhältnis SZ : NSG
B	9 < GF < 23	115 < GF < 379	
C	23 < GF < 1.276	379 < GF < 29907	
a	Min. < AF < 7,4 ha	Min. < AF < 54 ha	↓ Nutzung der Kulturart in der SZ
b	7,4 ha < AF < 22,7 ha	54 ha < AF < 224 ha	
c	22,7 ha < AF < 1.663 ha	224 ha < AF < 4.663 ha	

Abb. 5 Verteilung der NSG in Deutschland auf die neun Modellraumklassen für Mais



Die Kombination der drei Perzentilklassen von GF und AF ergaben für die beiden Kulturarten jeweils neun Modellraumklassen (MRK), die die Variation von Gebietsgeometrie und Anbaudichte in der Umgebung des NSG widerspiegeln. Die Verteilung der ca. 7.400 NSG auf die jeweiligen MRK zeigt beispielhaft für Mais Abb. 5. Die Häufigkeitsverteilungen der beiden Kulturarten Raps und Mais ähnelten sich stark. Demnach ist die MRK 3 am häufigsten. Diese NSG (rund 16% bei Raps bzw. 17% bei Mais) waren relativ groß und wiesen daher eine verhältnismäßig kleine Sicherheitszone auf (GF = A). Entsprechend nahmen diese NSG und die zugehörigen Sicherheitszonen mit 600.000 (Mais) bzw. 500.000 ha (Raps) die bei weitem größte Fläche ein (61,5 bzw. 56,4% der Gesamtfläche aller NSG). Gleichzeitig ist auch die Anbaudichte von Mais bzw. Raps in der Sicherheitszone besonders hoch (AF = c). Solche NSG lagen insbesondere in den Hauptanbaubereichen dieser beiden Kulturarten in Nordwestdeutschland und Brandenburg (Mais) bzw. in Nordost- und Mitteldeutschland (Raps). Aus den Histogrammen wurde auch deutlich, dass in den MRK 4–6 zwar sehr viele NSG vorkommen, diese jedoch relativ klein waren und daher wenig Fläche einnahmen.

Am meisten gefährdet waren solche NSG, die eine große Kontaktfläche (GF = C) und eine hohe Anbaudichte (AF = c) in ihrer Umgebung aufwiesen, also der MRK 9 angehörten. Für beide Kulturpflanzen nahmen NSG mit dieser Konstellation einen Anteil von etwa 7% ein, der Flächenanteil lag allerdings aufgrund ihrer geringen Größe nur bei 0,5%. Solche NSG lagen insbesondere in Westfalen und Süd-Niedersachsen (Mais) bzw. im Sauerland, in Nordhessen und Thüringen (Raps). Alle NSG mit einer relativ hohen kulturartenspezifischen Anbaudichte in ihrer Umgebung zusammen (MRK 3, 6 und 9) hatten einen Anteil von 34% und nahmen etwa 65 bzw. 60% der Gesamtfläche aller NSG ein.

3.3 Verteilung der Schutzgebiete in den ökologischen Raumklassen

Eine differenziertere Betrachtung zur Verteilung der Modellraumklassen auf die Landschaften Deutschlands wurde durch Verschneidung mit der ökologischen Raumgliederung (Schröder et al. 2006) ermittelt. Die meisten NSG lagen demnach mit einem Anteil von 21,7% in der Raumklasse 62 (Rheinisches Schiefergebirge, südwestdeutsches Schichtstufenland), gefolgt von den Raumklassen 47 (Niedersächsische Börden, Oberes Rheintal) mit einem Anteil von 16,7% und 42 (Niedersächsische Geest) mit 11,9% (rechte Spalte Tabelle 3). Bei Berücksichtigung der Größe der NSG ergab sich jedoch ein etwas anderes Bild. Die meiste Fläche nahmen die NSG in den Raumklassen 18 (Brandenburgische Jungmoränenlandschaft) mit 12,1%, 47 (11,4%) und 8 (Altmark, Prignitz, Uckermark) (11,0%) ein.

Die relative Verteilung der häufigsten Modellraumklasse MRK 3 und der für eine GVP-Durchdringung gefährdetsten MRK 9 entsprachen dieser Verteilung nicht ganz. Da die insgesamt häufigste Raumklasse 62 nicht mit den Hauptanbaubereichen von Mais zusammenfiel, waren die NSG dieser MRK in solchen Landschaften mit einem Anteil von 4 bzw. 7% weniger häufig. Eine größere Bedeutung hatten demgegenüber Landschaften, in denen jeweils eine hohe Anbaudichte von Mais zu verzeichnen war. Die NSG der MRK 3 und 9 von Mais fanden sich daher mit einem Anteil von 21 bzw. 46% in der Raumklasse 42 in der Niedersächsischen Geest und der Westfälischen Tieflandsbucht (Abb. 6). Diese ökologische Raumklasse zeichnet sich insbesondere durch ihre sandigen Böden und ihre besonders relativ hohen Niederschläge im Winter aus. NSG der MRK 3 und 9 für Raps entsprachen dagegen eher der Gesamtverteilung aller NSG auf die ökologischen Raumklassen. Allerdings dominier-

Tabelle 3 Prozentuale Verteilung der Modellraumklassen (MRK) der NSG für Mais auf die ökologischen Raumklassen (RK) gemäß Schröder et al. (2006) nach Anzahl (*Anz.*) und Flächenanteilen (*Fl.*) der Naturschutzgebiete in den MRK

MRK	1		2		3		4		5		6		7		8		9		RK gesamt		
	Anz.	Fl.	Anz.	Fl.	Anz.	Fl.	Anz.	Fl.	Anz.	Fl.	Anz.	Fl.	Anz.	Fl.	Anz.	Fl.	Anz.	Fl.	Anz.	Fl.	
8	4,0	4,2	5,3	10,0	6,2	12,4	1,9	1,9	1,0	0,9	0,7	0,5	1,0	0,9	0,7	0,7	0,2	0,2	0,5	2,4	11,0
12	10,8	7,1	4,1	9,2	0,6	0,4	11,4	13,5	3,3	3,8	2,0	5,2	9,4	8,2	3,1	3,2	1,6	1,6	3,9	7,8	5,5
18	5,8	6,1	7,2	7,0	10,4	16,7	1,5	1,4	4,8	5,4	3,1	2,6	1,3	1,6	2,0	2,4	1,1	1,1	1,7	3,8	12,1
19	2,0	1,0	4,1	3,6	3,1	3,7	1,9	1,7	3,7	3,6	0,5	0,5	1,5	1,4	1,4	1,5	0,5	0,5	0,7	1,5	2,5
20	7,0	8,3	6,4	7,4	5,3	7,9	1,5	1,7	2,1	2,3	1,9	1,9	0,8	0,9	1,1	1,7	0,2	0,2	0,2	2,6	7,7
22	0,5	0,2	1,1	1,7	2,1	2,6	0,0	0,0	0,3	0,3	0,8	14,1	0,1	0,1	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,9	2,4
26	4,5	2,1	3,4	3,8	1,8	1,0	6,0	6,5	3,4	3,3	1,5	1,6	6,7	7,2	2,5	2,7	2,1	4,8	3,9	3,9	2,0
30	2,0	1,2	2,1	0,8	2,9	2,0	3,3	3,1	3,1	3,5	3,1	2,8	2,1	2,3	2,9	3,0	1,4	1,8	2,1	2,1	2,2
42	2,3	1,4	5,3	4,7	21,2	9,9	1,0	0,9	5,1	4,1	26,8	18,5	3,1	1,7	10,8	8,3	45,9	31,0	11,9	9,0	9,0
43	6,5	4,9	9,5	9,2	6,9	9,4	2,2	2,3	4,7	6,8	3,7	3,5	2,1	2,0	4,2	4,4	2,8	3,9	4,6	9,7	9,7
46	3,8	2,8	4,6	4,0	6,0	4,2	1,5	1,3	1,6	1,3	2,0	2,1	0,2	0,3	0,6	0,7	0,7	0,5	2,5	4,5	4,5
47	19,0	11,6	15,9	11,4	14,5	12,5	20,7	18,6	16,7	16,0	23,3	16,7	19,1	18,8	19,1	18,6	20,9	23,7	16,7	11,4	11,4
54	1,5	30,3	0,9	3,3	0,7	6,9	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,5	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,2	0,2	1,6
55	2,3	1,4	1,1	1,2	0,5	1,0	0,7	0,8	0,7	0,7	0,5	0,3	0,3	0,3	0,7	0,6	1,6	1,2	0,8	0,7	0,7
56	2,0	1,6	2,5	3,1	1,6	0,6	3,1	2,7	2,6	2,1	3,4	3,5	2,5	2,8	3,2	3,6	3,2	3,8	3,0	1,8	1,8
57	2,0	1,8	0,5	0,6	1,5	0,6	2,9	3,1	1,0	0,8	1,5	1,0	0,9	1,2	0,6	0,6	0,7	1,9	1,3	1,0	1,0
58	0,8	0,7	3,0	1,9	1,3	0,4	1,2	1,0	4,6	4,0	2,5	1,8	0,8	0,5	3,1	3,2	2,8	3,1	2,1	1,0	1,0
62	18,0	11,1	13,1	10,5	4,4	3,1	27,7	28,8	26,4	26,3	10,9	12,3	38,3	39,5	33,4	35,1	7,1	9,6	21,7	8,2	8,2
63	2,8	1,4	3,0	2,1	1,8	1,1	4,9	4,4	4,4	4,9	2,4	3,1	5,4	6,2	4,9	4,3	1,6	1,7	4,1	2,1	2,1
118	2,0	0,6	4,1	2,1	2,3	0,6	3,3	2,9	5,8	5,3	4,4	3,7	1,8	1,7	2,2	2,4	0,7	0,6	2,6	1,3	1,3
119	0,8	0,2	2,8	2,3	5,0	2,7	3,2	3,0	4,4	4,4	4,2	3,9	2,2	2,1	3,1	2,7	4,1	4,4	3,2	2,4	2,4
MRK gesamt	6,7	11,7	9,4	16,0	16,9	61,5	11,4	2,7	11,7	2,8	9,8	3,5	14,9	0,7	11,9	0,6	7,3	0,5	100,0	100,0	100,0
Anzahl/Fläche																					

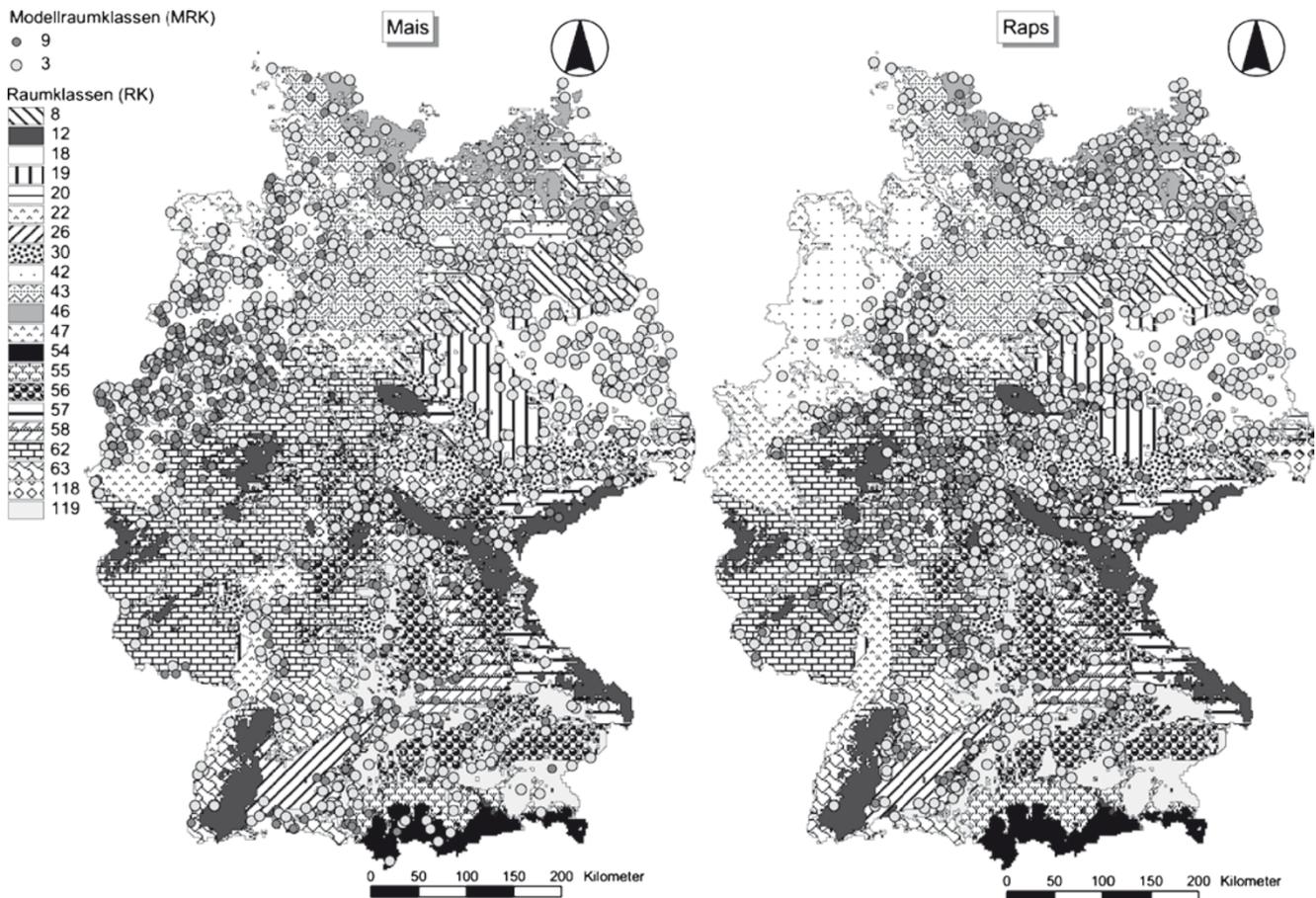


Abb. 6 Verteilung der NSG der Modellraumklassen 3 (GF = A, AF = c) und 9 (GF = C, AF = c) für Mais (Abstand 800m) und Raps (Abstand 4.000m) auf die ökologischen Raumklassen nach Schröder et al. (2006)

ten hier deutlich die Raumklassen 62 und 47, die zusammen auf einen Flächenanteil von 51% kamen, während der Flächenanteil aller NSG nur 19% betrug. Zusätzlich stieg auch der Anteil der Raumklassen 20 und 46 in den Jungmoränenlandschaften entlang der Ostseeküste, die aufgrund ihrer lehmigen Böden wichtige Anbaugelände für den Raps darstellen.

4 Diskussion

Durch die Freisetzung und/oder das Inverkehrbringen von GVP scheinen nach Auswertung von entsprechenden Ursache-Wirkungshypothesen mehrere Schutzziele betroffen zu sein. Der Schutz der Biodiversität, der auch den Schutz der genetischen Vielfalt beinhaltet, sowie der Artenschutz können durch die Auskreuzung von Transgenen gefährdet werden (BNatSchG § 2 Absätze 5, 8, 9). Dies ist sowohl für die Agrarlandschaft als auch durch Veränderung der Anbaupraxis und der Anbauschwerpunkte für die Lebensraumvielfalt und Biodiversität der Landschaft insgesamt und damit auch

für die Schutzgebiete als Teile der Landschaft zu befürchten (Bohn und Benzler 2001; Kjellson und Strandberg 2001). Gentechnisch veränderte, gebietsfremde Spezies könnten geschützte Arten aufgrund ihres Fitnessvorteils verdrängen, sodass es zu einer ungewollten Verschiebung des Artenspektrums kommt (Stewart et al. 1997; Züghardt und Breckling 2003). Die durch Auskreuzung in Wildrapspopulationen oder in verwandte Wildkräuter (vertikaler Gentransfer) erworbene Herbizidresistenz kann dazu führen, dass diese Pflanzen einen Standortvorteil gegenüber einheimischen Arten erhalten (Eckelkamp et al. 1997; McPherson et al. 2004; Menzel 2006; Pascher und Gollmann 1999; Snow et al. 1998). Die Fauna kann durch toxisches Pflanzenmaterial oder durch den Ausfall von Nahrungspflanzen bzw. Phytophagen geschädigt werden (Marquard und Durka 2005; Tabashnik et al. 2008). Beim großflächigen Anbau von *B. t.*-Mais ist es denkbar, dass sich Toxine im Boden oder in Gewässern anreichern, was u. a. die Bodenfunktion einschränken und Effekte auf die Bodenfauna haben kann bzw. im Wasser lebende Nicht-Zielorganismen, insbesondere Arthropoden wie Spinnen (*Araneae*), Flurfliegen (*Crysopepla carnea*)

oder Schmetterlinge (*Lepidoptera*) schädigen könnte (Felke und Langenbruch 2005; Hilbeck 2001; Hilbeck et al. 1998; Lang und Vojtech 2006; Ludy und Lang 2006; Meissle und Lang 2005). Eine Reihe von Studien beschäftigte sich mit der Gefährdung des in den USA geschützten Monarchfalters (*Danaus plexippus*) durch eine Exposition des B. t.-Toxins Cry1Ab bei unterschiedlichen Pollenkonzentrationen (Anderson et al. 2004; Dively et al. 2004; Sears 2004). Bereits geringe Mengen von zehn Pollenkörnern pro cm² des B. t.-176-Mais reichten nach Hansen et al. (2000) für mortale Effekte auf Monarchfalterlarven aus. Der Verbleib und die Persistenz von Fremdgenkonstrukten in der Umwelt sind wenig erforscht. Erste Studien geben jedoch Hinweise darauf, dass Auskreuzungen durchaus relativ häufig vorkommen (Wilkinson et al. 2003). Die Persistenz rekombinanter DNS-Fragmente aus zersetzten (gentechnisch veränderten) Pflanzen in Umweltmedien wie dem Boden, Grund- oder Oberflächengewässern ist nachgewiesen, solche DNS-Sequenzen könnten in das Genom von Mikroorganismen integriert werden (horizontaler Gentransfer) (Alvarez et al. 1996; Eckelkamp et al. 1998; Ernst et al. 1996; Gebhard und Smalla 1998; Matsui et al. 2001; Smalla et al. 2000; Vercesi et al. 2006). Nach Marvier und Van Acker (2005) scheint eine unkontrollierte und unrückholbare Ausbreitung des durch den großflächigen Anbau in Verkehr gebrachten Transgens nicht zu verhindern sein, sie halten die Freisetzung von Transgenen für irreversibel. Neben der Problematik der unkontrollierten Ausbreitung und Persistenz von Transgenen in der Umwelt können auch Positions- und Pleiotropieeffekte auftreten, die zu Veränderungen der Physiologie, Morphologie und Phänologie der Pflanzen führen und sich auf die Diversität und Abundanz von Flora und Fauna auswirken können. Die Veränderung eines Gens bzw. die Insertion eines Transgens kann nicht nur zur Veränderung der gewünschten Eigenschaft des Zielorganismus führen, sondern auch weitere, nicht vorhersehbare Merkmalsänderungen hervorrufen (Breckling und Züghardt 2001). Zwar werden Pflanzen mit solchen unerwünschten Veränderungen bei der Sortenentwicklung ausgesondert, das Auftreten neuer, unvorhergesehener Eigenschaften kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Über Auskreuzungsereignisse können solche Merkmalsveränderungen auch in das Genom der Kreuzungspartner übertragen werden (Casler et al. 2002; Donegan und Seidler 1999; Donegan et al. 1995; Fladung 1999; Fladung et al. 1997; Labes et al. 1999; Lorenz und Wackernagel 1994). Durch den Anbau von GVP verschiedener Linien der gleichen Kulturart mit verschiedenen Transgenen könnte die Akkumulation von Fremdgenkonstrukten im Genom potenzieller Kreuzungspartner zu einem weiteren Problem führen. In Nordamerika etwa wurde nach Anbau von verschiedenen Linien herbizidresistenter Rapskulturen Durchwuchsraps gefunden, der eine Dreifachresistenz gegenüber Spritzmitteln aufwies (Hall et al. 2000).

Bei der Bewertung von Auswirkungen eines GVP-Anbaus auf Schutzgebiete sind die Schutzziele und die Eigenschaften der zu schützenden Organismen einerseits sowie die Ausbreitungseigenschaften und -mechanismen der transgenen Pflanzen und die möglichen Veränderungen in der landwirtschaftlichen Praxis andererseits bei der Bewertung der Gefährdung und der Wirksamkeit möglicher Schutzmaßnahmen zu bedenken. Vor dem geschilderten Hintergrund lassen sich die GVP verschiedenen Risikokategorien („Umweltinteraktionstypen“) zuordnen (Menzel et al. 2005). Von Pflanzen des „Invarianztyps“ dürften kaum Risiken ausgehen, da hierunter GVP zusammengefasst werden, die steril und nicht frostresistent sind sowie keine toxischen Wirkungen entfalten. Als relativ unproblematisch erscheinen auch GVP des „Persistenztyps“, die ebenso ihre Wirkungen nur auf der jeweiligen Anbaufläche entfalten und sich vegetativ vermehren. Sie sind allerdings relativ frostunempfindlich und können so auf den Anbauflächen überdauern und als Durchwuchs noch einige Jahre nach dem Ausbringen in Erscheinung treten. B. t.-Mais wird zum „Emissionstyp“ gerechnet, der sich dadurch auszeichnet, dass sich lebensfähige transgene Pflanzen ebenfalls nicht über die eigentliche Anbaufläche hinaus ausbreiten, jedoch toxisch wirkende Substanzen an die Umwelt abgeben. Die Konzentrationen solcher Substanzen nehmen mit steigender Entfernung zur Quelle ab oder lassen sich auf spezifischen Pfaden potenziell verfolgen, sodass sie bei einer Risikoanalyse ähnlich wie Chemikalien behandelt werden können. Der Umgang, die Überwachung und die Bewertung der Umweltwirkungen von GVP des „Dispersionstyps“ scheinen am problematischsten, da sie sich selbst vermehren können, ihre Ausbreitung nicht zu verhindern und eine Überwachung aufgrund der komplexen Verbreitungsmechanismen nur schwer realisierbar ist. Zu diesem Typ zählt insbesondere auch herbizidresistenter Raps, der nicht nur über den Pollen in nicht transgene Kulturen oder Wildbestände eingekreuzt wird, sondern in Form von Rapssamen auch durch Mensch und Tier über weite Strecken in Schutzgebiete transportiert werden kann oder in Nachfolgekulturen als Durchwuchsraps überdauert und so seinen Ausbreitungsradius erheblich erweitern kann.

Bei der Festlegung von Sicherheitsabständen von GVP-Feldern zu konventionellen Anbauflächen der gleichen Kulturart, aber auch zu benachbarten Schutzgebieten sowie der Bewertung ihrer Wirksamkeit und praktischen Anwendbarkeit ist entsprechend den vorangestellten Ausführungen kulturartenspezifisch vorzugehen. Nach den EU-Richtlinien 66/402/EWG, 2002/54/EG und 2002/57/EG zur Minimierung von ungewünschten Auskreuzungen bei der Erzeugung von Saatgut sind sowohl für Mais (*Zea mays*) als auch für Raps (*Brassica napus*) minimale Isolationsabstände von 200 m einzuhalten (Brauner et al. 2004). Bei verschiedenen Feldversuchen hat es sich jedoch gezeigt, dass Auskreuzungen durch die Pollenvektoren Insekten oder Wind auch über

weitaus größere Entfernungen stattfinden können. Zwar nimmt die Wahrscheinlichkeit einer Hybridisierung mit zunehmender Entfernung vom Quellfeld überproportional ab (Beckie et al. 2003), was auch durch Ausbreitungsmodellierungen, die mit variierenden Feldgrößen für verschiedene Abstände operierten, simulieren ließ (Damgaard und Kjellsson 2005). Allerdings konnten Ein- oder Auskreuzungen in Wildpopulationen oder verwandte Kreuzungspartner auch noch in mehreren Kilometern Entfernung festgestellt werden (Klinger et al. 1992; Rieger et al. 2002), Auskreuzungsraten von bis zu 5% bei einer Distanz von 4.000m sind belegt (Thompson et al. 1999). Auskreuzungsraten allein lassen allerdings noch keinen direkten Schluss darauf zu, wie hoch die tatsächliche Exposition von Pollen außerhalb der Anbauflächen ist, letztlich reicht schon ein Pollenkorn für eine Fremdbestäubung aus (Menzel et al. 2005). Für verschiedene Insektenarten als Hauptbestäuber der Rapsblüten wurden maximale Aktionsradien von 800 m (Solitärbiene) und mehr als 4km (Honigbiene, Hummel) festgestellt (Darvill et al. 2004; Ulrich et al. 1998; Walther-Hellwig und Frankl 2000). Transgene Rapspollen konnten in Bienenhonig noch in vier Kilometer Entfernung vom Quellfeld nachgewiesen werden (Hofmann et al. 2005). Der Windtransport von Pollen kann theoretisch über viele hundert Kilometer erfolgen, sofern der Pollen in die oberen Atmosphärenschichten gelangt (Brunet et al. 2003; Treu und Emberlin 2000). Hofmann et al. (2005) stellten mithilfe von insgesamt 72 technischen Pollensammlern und Bienenstöcken nach einer Expositionsdauer von jeweils vier Wochen sowohl für Raps- als auch für Maispollen Einträge bis in mehrere Kilometer Entfernung von Versuchsfeldern. Beismann und Kuhlmann (2006) exponierten in einem 625 km² großen Untersuchungsraum bei München raumrepräsentativ 50 technische Pollensammler während der Raps- und Maisblüte und stellten selbst in Entfernungen von über 1 km zum nächsten Feld noch Polleneinträge fest. Hofmann (2007) wertete Messungen an 124 Standorten zum Maispollenflug unter Anlegung einer Abstandsregel zum nächstgelegenen Maisfeld aus. Die auf die gleiche, standardisierte Weise über sechs Jahre gewonnenen Daten erlaubten eine statistische Auswertung des Maispollenflugs vom Nahbereich bis in 3,4km Entfernung mit Angabe von Vertrauensbereichen, wobei sich eine potenzielle Beziehung zwischen Maispollendeposition und Entfernung zeigte. Hieraus ergab sich, dass Sicherheitsabstände von 1.000m erforderlich sind, um Maispollendepositionen von zehn Pollen/cm² mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% auszuschließen. Hofmann et al. (2007) ermittelten in einem NSG in Brandenburg mit technischen und biologischen Sammlern erhebliche Maispolleneinträge aus dem Anbau von *B. t.*-Mais in der Umgebung. Die Verbreitung von GVO per Pollen spielt insbesondere für einen horizontalen Gentransfer von freier DNS oder bei der Betrachtung toxischer Wirkungen auf Nicht-Zielorganismen eine Rolle (Feil und

Schmid 2002). Bei einem vertikalen Gentransfer muss bei der Abschätzung der Ein- bzw. Auskreuzungswahrscheinlichkeit neben dem Vorhandensein von Empfängerpflanzen (Kultur-/Wildpopulationen, Kreuzungspartner) auch die Lebensfähigkeit der Pollen bei größeren Entfernungen über 1.000m berücksichtigt werden, die von der Pollenart und den aktuellen und standortabhängigen Witterungsverhältnissen abhängt (Emberlin et al. 1999).

Nach Auswertung der aufgeführten Befunde zur Reichweite von Raps- und Maispollen scheinen die für die Erzeugung von zertifiziertem Saatgut angegebenen Isolationsdistanzen von 200m zu gering. Für die hier vorgestellten geostatistischen Analysen zur Einteilung der Schutzgebiete in verschiedene Gefährdungskategorien wurde daher mit realistischeren Abstandsweiten von 800m für Mais und 4.000m für Raps gerechnet (Menzel et al. 2005). Zur Bestimmung der durch entsprechende Sicherheitszonen um die Schutzgebiete für einen GVP-Anbau nicht mehr zur Verfügung stehenden Agrarflächen wurden Mindestabstände von 100 bis zu 10.000m variiert. Die Untersuchungen belegen, dass bei Abständen bis 500m der Wegfall geringfügig ist und noch 94% der Ackerfläche für den Anbau zur Verfügung stünde. Bei Sicherheitsabständen von 1.000m um die Schutzgebiete verbleiben noch 88% der nutzbaren Agrarfläche. Bei größeren Sicherheitsabständen wird die verbleibende Ackernutzfläche für einen Anbau von GVP zunehmend stärker eingeschränkt. Bei einem Sicherheitsabstand um die NSG von 4.000m wäre die nutzbare Agrarfläche bereits mehr als halbiert und bei 10.000m stünden nur noch etwa 11% der Flächen für einen GVP-Anbau zur Verfügung. Die mithilfe von GIS-Operationen und häufigkeitsstatistischen Methoden berechneten Schutzgebietskategorien helfen, die Folgen eines GVP-Anbaus hinsichtlich einer möglichen Gefährdung von Schutzgebieten in der Anbaupraxis abzuschätzen. Die für eine kleine Stichprobe aller NSG durchgeführten Modellrechnungen wurden anschließend per Analogieschluss jeweils auf Räume derselben Modellraumklasse übertragen. Auf ähnliche Art und Weise wurden schon in dem Vorläuferprojekt „GenEERA“ (Breckling et al. 2003) repräsentative Klimastationen in Norddeutschland für eine Übertragung lokal gerechneter Simulationsrechnungen auf die gesamte Untersuchungsregion verwendet (Schmidt und Schröder 2008; Schröder und Schmidt 2006). Zusammen mit Informationen über die in den jeweiligen Schutzgebieten vorkommenden Schutzgüter bietet eine solche Klassifizierung ein wichtiges Werkzeug für eine qualitative Einschätzung der Gefährdung durch den Anbau von GVP.

5 Schlussfolgerungen

Der technische Ablauf der Einteilung der Schutzgebiete in unterschiedlichen Gefährdungstypen erfolgte nach einem

regelbasierten hierarchischem System und wurde durch Implementierung eigener GIS-Prozeduren teilautomatisiert, sodass zusätzliche Auswertungen mit anderen GV-Pflanzen, anderen Schutzgebietstypen, zusätzlichen Steuergrößen wie meteorologischen Daten, Karten zur Verteilung von potenziellen Kreuzungspartnern, anderen Abstandsweiten oder aktualisierten Agrardaten ohne erheblichen Arbeitsaufwand möglich sind. Die Auswertungen belegen einerseits, dass Abstandsregelungen in Abhängigkeit von den Ausbreitungsmechanismen und dem Gefährdungspotenzial der jeweiligen Kulturart und seiner transgenen Eigenschaft und auch hinsichtlich möglicher Kombinationseffekte betrachtet werden müssen. Besonders der zum Dispersionstyp zu zählende HR-Raps birgt aufgrund von Wildpopulationen und aufgrund seiner vielfältigen Kreuzungspartner, die durch Wind und Insekten getragene Pollen über weite Entfernungen bestäubt werden könnten, ein hohes Risiko für einen Eintrag von Transgenen in die Schutzgebiete, insbesondere sofern dort auch konventioneller Anbau stattfindet. Dies gilt umso mehr, solange es nicht gewährleistet ist, das Saatgut frei von Verunreinigungen mit gentechnisch verändertem Saatgut zu halten. Zudem können Rapssamen über mehrere Jahre keimfähig bleiben (Schlink 1994). Die spezifische Gefährdung, die durch den Anbau von *B. t.*-Mais ausgeht, resultiert v. a. aus der Exposition seiner toxisch wirkenden Fremdproteine auf Nicht-Zielorganismen und ihrer bisher noch nicht abschätzbaren Akkumulation in der Nahrungskette. Welche Pollendosen für eine mortale Wirkung z. B. auf Arthropoden notwendig sind und bis zu welchen Abständen zum Quellfeld unter welchen Randbedingungen diese auftreten können, ist noch nicht abschließend geklärt und zudem sowohl sortenspezifisch als auch artenabhängig. Insofern sind die in der Novellierung des Gentechnikgesetzes (GenTG) für eine Gute Fachliche Praxis (GFP) beim Anbau von GV-Mais beschlossenen und ab 2008 in Kraft tretenden Isolationsabstände von 150 m zu konventionellen Maisfeldern und 300 m zu ökologischen Anbauflächen als eine Sicherungsmaßnahme anzusehen, die es durch künftige wissenschaftliche Untersuchungen zu prüfen gilt. Allerdings ist weder im deutschen GenTG noch in der GFP eine entsprechende Regelung für Schutzgebiete vorgesehen, sodass hier zur Erfüllung des per EU-Richtlinie gesetzlich geforderten Schutzes von Naturschutzgebieten noch ein Nachbesserungsbedarf besteht.

6 Empfehlungen und Ausblick

Zur Konkretisierung und Umsetzung von Maßnahmen für die Reduzierung von Auswirkungen eines GVP-Anbaus auf Schutzgebiete bedarf es eines politischen und gesellschaftlichen Diskurses zur Abwägung, welche der Beeinträchtigungen und Veränderungen der gesetzlich festgelegten

Schutzgüter toleriert werden sollen. Hierfür ist es notwendig, für GVP, die freigesetzt werden und/oder zum Anbau zugelassen werden, entsprechende Schutzmaßnahmen gemäß vorliegendem Kenntnisstand festzulegen. Für *B. t.*-Mais, der bereits im freien Anbau ist, wird hier für Naturschutzgebiete ein Schutzabstand von 800 m empfohlen. Für transgene Rapslinien, die derzeit noch nicht allgemein zugelassen sind, werden 4.000 m für Freisetzungsexperimente vorgeschlagen. Zur Absicherung sind wissenschaftliche Studien notwendig, die auf empirischer und modelltheoretischer Grundlage die Ausbreitungsreichweite von Pollen von GVP und die Verbreitung und Wirkung von in die Umwelt eingebrachten Transgenen und freigesetzten Toxinen abschätzen. Dies ist notwendig, um einerseits die Auskreuzungswahrscheinlichkeit von GVP in die Vegetation der Naturschutzgebiete und andererseits die Gefährdung von Nicht-Zielorganismen z. B. durch die von den GVP gebildeten Toxine abschätzen zu können. Nur so können individuell für jedes Schutzgebiet kulturartenspezifisch ausreichende Sicherheitsabstände festgelegt, überprüft und die jeweiligen Schutzziele erfüllt werden. Die vorgestellten Untersuchungen haben gezeigt, was unterschiedliche Abstandsweiten für einen GVP-Anbau bedeuten können. Die berechneten Modellraumklassen erlauben bei einer schwer überschaubaren Zahl von Naturschutzgebieten eine erste Abschätzung darüber, wie hoch das Gefährdungspotenzial durch einen Anbau von HR-Raps oder *B. t.*-Mais für einzelne Schutzgebietskategorien ist. Für differenziertere Aussagen sollten die für die Ableitung der Schutzgebietstypen verwendeten Eingangsdaten aktualisiert (aktuelle Agrardaten, CORINE 2000) und z. B. durch Karten über die Verbreitung potenzieller Kreuzungspartner, die bislang noch nicht flächendeckend und mit genügender Auflösung zur Verfügung stehen (flora.web), um Vorkommen potenzieller und gefährdeter Nicht-Zielorganismen (Rote-Listen-Arten) sowie mit Ergebnissen aus Ausbreitungsmodellen ergänzt werden. Für eine individuelle und flächenscharfe Abschätzung des Gefährdungspotenzials ist die Verwendung eines digitalen Anbaukatasters erforderlich, das genauere Angaben über die zeitliche und räumliche Anbausituation im Umfeld eines Schutzgebiets liefert. Diesbezüglich wurde im Jahr 1992 im Zuge der Reform der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) die Einführung eines „Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems“ (InVeKoS) beschlossen und per Verordnung Nr. 1782/2003 am 3. 12. 2004 (BGBl. I, S. 3194) in Deutschland u. a. zur Festlegung der Betriebsprämien eingeführt. Ein gesamtdeutsches Anbauinformationssystem, das die Anbauinformationen aller Bundesländer zusammenführt, ist allerdings noch nicht realisiert. Für einzelne Schutzgebietstypen, für die Schutzziele im elektronischen Datenbankformat vorliegen (z. B. FFH), ist ein detaillierter Abgleich der Schutzziele in Bezug auf schützenswerte Biotope und Arten mit den potenziellen Wirkungen eines kulturartenspezifischen GVP-

Anbaus anzustreben. Hierdurch kann die Identifikation von Gefährdungspotenzialen regional differenziert werden. Der Anbau von konventionellem Mais und Raps in Deutschland wird vermutlich in den nächsten Jahren u. a. auch wegen der Ausweitung der Nutzung als Energiepflanzen (Biodiesel, Biogasanlagen) weiter zunehmen. Im Vergleich zum Vorjahr erhöhte sich die Anbaufläche für Mais 2007 um 9,6% auf 1,475 Mio. ha, die für Winterraps um 8,8% auf 1,534 Mio. ha. Demgegenüber nahm nach Angaben des Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) auch der Anbau von GV-Mais seit 2005 von 342 ha auf 2.700 ha im Jahr 2007 zu. Für GV-Raps kann derzeit davon ausgegangen werden, dass dieser aufgrund seiner Biologie in Europa nicht in den Anbau gelangen wird, da er nicht koexistenzfähig ist. Bismal liegt kein Antrag auf Anbau vor, auch nicht für den Energiepflanzenektor. Allerdings liegen nach Auskunft des BfN aktuelle Anträge für andere relevante GVP wie z. B. Zuckerrüben, Getreidesorten und Kartoffeln vor, für die vergleichbare Analysen durchgeführt werden sollten. Die Überwachung der GVP-Anbauflächen sollte im Rahmen des nach EU-Richtlinie 2001/18/EC zur Freisetzung von GVO in die Umwelt geforderten fallspezifischen und allgemeinen Monitorings erfolgen. Die für die Planung des Monitorings sowie für die Analyse und Bewertung der Umweltwirkungen notwendigen Informationen sowie die Monitoringdaten selbst sollten in einem webbasierten Geoinformationssystem (WebGIS) integriert, ausgewertet, interpretiert und für weitere Analysen zur Verfügung gestellt werden, wie es im Fall des bundesweiten UNECE-Moosmonitoring bereits erfolgreich praktiziert wird (Pesch et al. 2007).

Literatur

- Alvarez AJ, Yumet GM, Santiago CL, Toranzos GA (1996) Stability of manipulated plasmid DNA in aquatic environment. *Environ Toxicol Water Qual* 11:129–135
- Anderson PL, Hellmich RL, Sears MK, Sumerford DV, Lewis LC (2004) Effects of *Cry1Ab* expressing corn anthers on monarch butterfly larvae. *Environ Entomol* 33:1109–1115
- Andow DA, Zwahlen C (2006) Assessing environmental risks of transgenic plants. *Ecol Lett* 9:196–214
- Beckie HJ, Warwick SI, Nair H, Seguin-Swartz GS (2003) Gene flow in commercial fields of herbicideresistant canola (*Brassica napus*). *Ecol Appl* 13:1276–1294
- Beismann H, Kuhlmann M (2006) Raumrepräsentativität technischer Pollensammler für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP). BfN-Skripte 169
- Breiman L, Friedman JH, Olshen RA, Stone CJ (1984) Classification and regression trees. Pacific Grove, California
- Bohn U, Benzler A (2001) Naturschutzziele und naturschutzfachliche Bewertung der Risiken bei der Ausbringung gentechnisch veränderter Organismen. In: Lemke M, Winter G (Hrsg), Bewertung von Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Organismen im Zusammenhang mit naturschutzbezogenen Fragestellungen. Umweltbundesamt Berichte 3/01. Berlin, S. 238–266
- Brauner R, Moch K, Christ H (2004) Aufbereitung des Wissensstandes zu Auskreuzungsdistanzen. Öko-Institut, Freiburg
- Breckling B, Züghart W (2001) Die Etablierung einer ökologischen Langzeitbeobachtung beim großflächigen Anbau transgener Nutzpflanzen. In: Lemke M, Winter G (Hrsg), Bewertung von Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Organismen im Zusammenhang mit naturschutzbezogenen Fragestellungen. Umweltbundesamt Berichte 3/01. Berlin, S. 319–340
- Breckling B, Middelhoff U, Borgmann P, Menzel G, Brauner R, Neuffer B, Born A, Laue H, Schmidt G, Schröder W, Wurbs A, Glemnitz M (2003) Biologische Risikoforschung zu gentechnisch veränderten Pflanzen in der Landwirtschaft: Das Beispiel Raps in Norddeutschland. In: Reuter H, Breckling B, Mittwollen A (Hrsg), Gene, Bits und Ökosysteme. Peter Lang, Frankfurt/M., S. 19–45
- Brunet YFX, Audran A, Garrigou D, Dayau S, Tardieu L (2003) Evidence for long-range transport of viable maize pollen grains. In: Boelt B (Hrsg), Proceedings of the 1st European conference on the co-existence of genetically modified crops with conventional and organic crops. Danish Institute of Agricultural Sciences, Slagelse, Denmark, pp. 74–76
- Casler MD, Buxton DR, Vogel KP (2002) Genetic modification of lignin concentration affects fitness of perennial herbaceous plants. *Theor Appl Genet* 104:127–131
- Castellazzi MS, Perry JN, Colbach N, Monod H, Adamczyk K, Viaud V, Conrad KF (2007) New measures and tests of temporal and spatial pattern of crops in agricultural landscapes. *Agr Ecosys Environ* 118:339–349
- Chapman MA, Burke JM (2006) Letting the gene out of the bottle: the population genetics of genetically modified crops. *New Phytol* 170:429–443
- Damgaard C, Kjellsson G (2005) Gene flow of oilseed rape (*Brassica napus*) according to isolation distance and buffer zone. *Agr Ecosys Environ* 108:291–301
- Darvill B, Knight ME, Goulson D (2004) Use of genetic markers to quantify bumblebee foraging range and nest density. *Oikos* 107:471–478
- Devaux C, Lavigne C, Austerlitz F, Klein EK (2007) Modelling and estimating pollen movement in oilseed rape (*Brassica napus*) at the landscape scale using genetic markers. *Mol Ecol* 16:487–499
- Dively GP, Rose R, Sears MK, Hellmich RL, Stanley-Horn DE, Calvin DD, Russo JM, Anderson PL (2004) Effects on monarch butterfly larvae (*Lepidoptera: Danaidae*) after continuous exposure to *Cry1Ab* expressing corn during anthesis. *Environ Entomol* 33:1116–1125
- Donegan KK, Seidler RJ (1999) Effects of transgenic plants on soil and plant microorganisms. *Recent Res Dev Microbiol* 3:415–424
- Donegan KK, Palm CJ, Fieland VJ, Porteous LA, Ganio LM, Schaller DL, Bucuo LQ, Seidler RJ (1995) Changes in levels, species and DNA fingerprints of soil microorganisms associated with cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* endotoxin. *Appl Soil Ecol* 2(2):111–124
- Eckelkamp C, Mayer M, Weber B (1997) BASTA-resistenter Raps. Vertikaler und horizontaler Gentransfer unter besonderer Berücksichtigung des Standortes Wölfersheim-Melbach. Werkstattreihe 100 (Selbstverlag Öko-Institut, Freiburg)
- Eckelkamp C, Jäger M, Tappeser B (1998) Verbreitung und Etablierung rekombinanter Desoxyribonukleinsäure (DNS) in der Umwelt. UBA-Texte 51/98, Umweltbundesamt, Berlin
- Emberlin J, Adams-Groom B, Tidmarsh J (1999) A report on the dispersal of maize pollen. National Pollen Research Unit, University College Worcester
- Ernst D, Kiefer E, Drouet A, Sandermann H (1996) A simple method of DNA extraction from soil for detection of composite transgenic plants by PCR. *Plant Mol Biol Reporter* 14:143–148
- Feil B, Schmid EJ (2002) Dispersal of maize, wheat and rye pollen – a contribution to determining the necessary isolation distances for the cultivation of transgenic crops. Institute of Plant Sciences, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich

- Felke M, Langenbruch GA (2005) Auswirkungen des Pollens von transgenem Bt-Mais auf ausgewählte Schmetterlingslarven. Bfn-Skripten 157
- Fladung M (1999) Gene stability in transgenic aspen-Populus. I. Flanking DNA sequences and T-DNA structure. Mol Gen Genet 260:574–581
- Fladung M, Kumar S, Ahuja MR (1997) Genetic transformation of Populus genotypes with different chimeric gene constructs: transformation efficiency and molecular analysis. Transgenic Res 6:111–121
- Gebhard F, Smalla K (1998) Transformation of *Acinetobacter* sp. strain BD413 by transgenic sugar beet DNA. Appl Environ Microbiol 64:1550–1554
- Hall LM, Topinka K, Huffman J, Davis L, Good AG (2000) Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* (*Argentina canola*) is the cause of multiple resistant *B. napus* volunteers. Weed Sci 48:688–694
- Hansen LC, Obrycki J, Obrycki JJ (2000) Field deposition of *B. t.* transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. Oecologia, 125:241–248
- Hilbeck A (2001) Implications of transgenic, insecticidal plants for insect and plant biodiversity. Perspect Plant Ecol Evol Syst 4:43–61
- Hilbeck A, Baumgartner M, Fried PM, Bigler F (1998) Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Environm Entomol 27(2):480–487
- Hofmann F, Schlechtriemen U, Wosniok W, Foth M (2005) GVO-Pollenmonitoring – technische und biologische Pollenakkumulatoren und PCR-Screening für ein Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen. BfN-Skripte 139
- Hofmann F (2007) Kurzgutachten zur Abschätzung der Maispollendeposition in Relation zur Entfernung von Maispollenquellen mittels technischem Pollensammler PMF. BfN, Bonn
- Kjellson G, Strandberg M (2001) Monitoring and surveillance of genetically modified higher plants. Guidelines for procedures and analysis of environmental effects. Basel
- Klinger T, Arriola PE, Ellstrand NC (1992) Crop-weed hybridization in radish (*Raphanus sativus*) – effects of distance and population-size. Am J Bot 79:1431–1435
- Labes G, Danneberg G, Simon R (1999) Abschätzung der Einwirkungen gentechnisch veränderter Kulturpflanzen auf den Boden, vor allem auf die organische Substanz als Träger der Lebensraumfunktion. UBA-Texte 34/99, Umweltbundesamt, Berlin
- Lang A, Vojtech E (2006) The effects of pollen consumption of transgenic Bt maize on the common swallowtail, *Papilio machaon* L. (Lepidoptera, Papilionidae). Basic Appl Ecol 7:296–306
- Ludy C, Lang A (2006) Bt maize pollen exposure and impact on the garden spider, *Araneus diadematus*. Entomol Exp Appl 118:145–156
- Liebel G, Aubrecht P (1996) Das CORINE Landcover Projekt der EU. Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation 84(1):43–44
- Lorenz MG, Wackernagel W (1994) Bacterial gene transfer by natural genetic transformation in the environment. Microbiol Rev 58:563–602
- Marquard E, Durka W (2005) Auswirkungen des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen auf Umwelt und Gesundheit: Potenzielle Schäden und Monitoring. Bericht erstellt im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL), UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
- Marvier M, Van Acker RC (2005) Can crops transgenes be kept on a leash? Front Ecol Environ 3:99–106
- Matsui K, Honjo M, Kawabata Z (2001) Estimation of the fate of dissolved DNA in thermally stratified lake water from the stability of exogenous plasmid DNA. Aquat Microb Ecol 26:95–102
- McPherson MA, Good AG, Topinka AKC, Hall LM (2004) Theoretical hybridization potential of transgenic safflower (*Carthamus tinctorius* L.) with weedy relatives in the New World. Can J Plant Sci 84:923–934
- Meissle M, Lang A (2005) Comparing methods to evaluate the effects of Bt maize and insecticide on spider assemblages. Agr Ecosyst Environ 107:359–370
- Menzel G (2006) Verbreitungsdynamik und Auskreuzungspotenzial von *Brassica napus* L. (Raps) im Großraum Bremen: Basiserhebung zum Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen. GCA, Waabs
- Menzel G, Lünsmann I, Middelhoff U, Breckling B, Schmidt G, Tillmann J, Schröder W, Windhorst W, Filser J, Reuter H (2005) Abstandsregelungen beim Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) in der Nähe von Schutzgebieten. Naturschutz und Biologische Vielfalt 10 (Selbstverlag Bundesamt für Naturschutz, Bonn)
- Pascher K, Gollmann G (1999) Ecological risk assessment of transgenic plant releases: An Austrian perspective. Biodivers Conserv 8:1139–1158
- Pesch R, Schmidt G, Schröder W, Aden C, Kleppin L, Holy M (2007) Development, implementation and application of the WebGIS MossMet. In: Tochtermann K, Scharl A (eds), The Geospatial Web. How geo-browsers, social software and the Web 2.0 are shaping the network society. Springer, London, pp 191–200
- Pilson D, Prendeville HR (2004) Ecological effects of transgenic crops and the escape of transgenes into wild populations. Annu Rev Ecol Syst 35:149–174
- Rieger MA, Lamond M, Preston C, Powles SB, Roust RT (2002) Pollen-mediated movement of herbicide resistance between commercial canola fields. Science 296:2386–2388
- Schlink S (1994) Ökologie der Keimung und Dormanz von Körnerrops (*Brassica napus* L.) und ihre Bedeutung für eine Überdauerung der Samen im Boden. Dissertationes Botanicae 22, Cramer Verlag, Berlin
- Schmidt G, Schröder W (2008) Auswahl repräsentativer Standorte zur Modellierung der Ausbreitung von gentechnisch veränderten Pflanzen in Nord-Deutschland. Umweltwiss Schadst Forsch 20(1):9–22
- Schröder W, Schmidt G (2006) A methodological approach of site selection and data analysis to provide model input data for an up-scaling of population effects of transgenetic oilseed rape in Northern Germany. Ecol Indicators 6:168–183
- Schröder W, Schmidt G, Hornsmann I (2006) Landschaftsökologische Raumlagerung Deutschlands. In: Fränze O, Müller F, Schröder W (Hrsg) Handbuch der Umweltwissenschaften – Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. ecomed, Landsberg am Lech, Kap. V–1.9, 17. Erg. Lfg., S. 1–100
- Sears MK (2004) Impact of *Bacillus thuringiensis* corn pollen on monarch butterfly populations: a risk assessment. Agr Biotech – challenges and Prospects 866:125–137
- Smalla K, Gebhard F, Heuer H (2000) Antibiotika-Resistenzgene als Marker in gentechnisch veränderten Pflanzen – Gefahr durch horizontalen Gentransfer? Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 52:62–68
- Snow AA, Rieseberg LH, Alexander HM, Cummings C, Pilson D (1998) Assessment of gene flow and potential effects of genetically engineered sunflowers on wild relatives. In: 5th international symposium – the biosafety results of field tests of genetically modified plants and microorganisms, 6.–10. September 1998, Braunschweig
- Spök A, Hofer H, Lehner P, Valenta R, Stirn S, Gaugitsch H (2005) Risk assessment of GMO products in the European Union. Toxicity assessment, allergenicity assessment and substantial equivalence in practice and proposals for improvement and standardisation. Berichte 253 (Selbstverlag Umweltbundesamt, Wien)
- Squire GR, Brooks DR, Bohan DA, Champion GT, Daniels RE, Houghton AJ, Hawes C, Heard MS, Hill MO, May MJ, Osborne JL, Perry JN, Roy DB, Woiwod IP, Firbank LG (2003) On the

- rationale and interpretation of the farm scale evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biol Sci* 358:1779–1799
- Stewart CN, All JN, Raymer PL, Ramachandran S (1997) Increased fitness of transgenic insecticidal rapeseed under insect selection pressure. *Mol Ecol* 6:773–779
- Tabashnik BE, Gassmann AJ, Crowder DW, Carrière Y (2008) Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory. *Nat Biotechnol* 26:199–202
- Thompson CE, Squire G, Mackay GR, Bradshaw JE, Crawford J, Ramsay G (1999) Regional patterns of gene flow and its consequence for GM oilseed rape. In: Lutmann PJW (1999) *Gene flow and agriculture: relevance for transgenic crops*. BCPC Symposium Proceedings 72:95–100
- Treu R, Emberlin J (2000) Pollendispersal in the crops maize (*Zea mays*), oilseed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*), potatoes (*Solanum tuberosum*), sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *Vulgaris*) and wheat (*Triticum aestivum*). A report for the Soil Assoc from the Nat Pollen Res Unit, Worcester
- Ulrich A, Becker R, Hedke C, Augustin C, Gottwald R, Honermann B, Lentzsch P, Patschke K, Ulrich K, Wirth S (1998) Ökologische Auswirkungen der Einführung der Herbizidresistenz(HR)-Technik bei Raps und Mais. Gutachten des ZALF e. V. im Auftrag des Landesumweltamtes Brandenburg, Müncheberg
- Vercesi ML, Krogh PH, Holmstrup M (2006) Can *Bacillus thuringiensis* (Bt) corn residues and Bt-corn plants affect life-history traits in the earthworm *Aporrectodea caliginosa*? *Appl Soil Ecol* 32:180–187
- Walther-Hellwig K, Frankl R (2000) Foraging habitats and foraging distances of bumblebees, *Bombus* spp. (Hym., Apidae), in an agricultural landscape. *J Appl Entomol* 124:299–306
- Wilkinson MJ, Elliott LJ, Allainguillaume J, Shaw MW, Norris C, Welters R, Alexander M, Sweet J, Mason DC (2003) Hybridisation between *Brassica napus* and *B. rapa* on a national scale in the United Kingdom. *Science* 302:457–459
- Züghart W, Breckling B (2003) Konzeptionelle Entwicklung eines Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen – Teil I und Teil II. UBA-Texte 50/03, Umweltbundesamt, Berlin