

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 299 89 406  
UBA-FB 000500/1



# **Konzeptionelle Entwicklung eines Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen**

## **Teil 1**

von

**Wiebke Züghart  
Broder Breckling**

Zentrum für Umweltforschung und Umwelttechnologie, UFT,  
Universität Bremen

unter Mitarbeit von

**Ragna m Mißkamp<sup>1)</sup>, Jörn Hildebrandt<sup>1)</sup>, Konstanze Schönthaler<sup>2)</sup>,  
Stefan Balla<sup>2)</sup>, Ruth Brauner<sup>3)</sup>, Benno Vogel<sup>3)</sup>, Beatrix Tappeser<sup>3)</sup>,  
Gisela Wicke (Gehrden), Carsten Harms<sup>4)</sup>, Richard Verhoeven<sup>4)</sup>**

<sup>1)</sup> Institut für Ökologie und Evolutionsbiologie (IFÖE), Universität Bremen

<sup>2)</sup> Bosch & Partner GmbH München

<sup>3)</sup> Öko-Institut Freiburg e.V.

<sup>4)</sup> Zentrum für Umweltforschung und Umwelttechnologie (UFT),  
Universität Bremen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

**Vorauszahlung von 10,00 €**

durch Post- bzw. Banküberweisung,  
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der  
Postbank Berlin (BLZ 10010010)  
Fa. Werbung und Vertrieb,  
Ahornstraße 1-2,  
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte  
eine schriftliche Bestellung mit Nennung  
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**  
und der **Anschrift des Bestellers** an die  
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr  
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und  
Vollständigkeit der Angaben sowie für  
die Beachtung privater Rechte Dritter.  
Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 33 00 22  
14191 Berlin  
Tel.: 030/8903-0  
Telex: 183 756  
Telefax: 030/8903 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet IV 2.5  
Anne Mieke  
unter Mitarbeit von  
Frank Berhorn und Mathias Otto

Berlin, August 2003

## Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 97 410/70	2.	3.
4. Titel des Berichts Konzeptionelle Entwicklung eines Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen Band 1		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Wiebke Züghart PD Dr. Broder Breckling	8. Abschlußdatum 27.07.2002	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)  Universität Bremen Zentrum für Umweltforschung und Umwelttechnologie Postfach 33 04 40 28334 Bremen	9. Veröffentlichungsdatum	
	10. UFOPLAN-Nr. 299 89 406	
	11. Seitenzahl 200	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)  Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	12. Literaturangaben 573 (Bd. I + II)	
	13. Tabellen und Diagramme 25	
	14. Abbildungen 4	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung  Zentrale Aufgabe des Forschungsvorhabens war die Entwicklung eines methodischen Instrumentariums, anhand dessen ökologische Folgewirkungen gentechnisch veränderter Kulturpflanzen erkannt und dokumentiert werden können. Darüber hinaus wurden Möglichkeiten und Grenzen der Einbindung des Monitoring in bestehende Programme der Umweltüberwachung des Bundes und der Länder evaluiert. Als Grundlage für die Auswahl geeigneter Beobachtungsräume des Monitoring wurden relevante geographische Informationen und Sachdaten recherchiert und in ein Geographisches Informationssystem (GIS) integriert. Die Konzeptentwicklung des Monitoring erfolgte anhand der Fallbeispiele herbizidresistenter Raps, insektenresistenter Mais, virusresistente Zuckerrüben und Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum. In einem ersten Schritt wurden Ursache-Wirkungshypothesen ermittelt. Sie bilden die Grundlage für die Ableitung von Beobachtungsparametern und die Erarbeitung eines Erhebungskonzepts mit Vorschlägen zu Methoden, Erhebungsfrequenzen und räumlichen Gesichtspunkten. Das vorliegende Konzept liefert insgesamt einen Rahmen, der die Erfordernisse eines Monitoring sichtbar macht. Es werden Wirkungsbezüge über den Agrarraum hinaus thematisiert und weitergehende ökologische Wechselwirkungen, denen gentechnisch veränderte Organismen in der Natur unterliegen, verfolgt. Das Konzept bietet das Fundament für weiterführende administrative Umsetzungsschritte und kann für andere gentechnisch veränderte Pflanzen, die zukünftig eine Zulassung erhalten, fortgeschrieben werden. Band I: Grundlagen, Fallbeispiele, Konzeptvorschlag für ein GVO-Monitoring Band II: Anbindungsmöglichkeiten des GVO-Monitoring an Umweltüberwachungsprogramme des Bundes und der Länder und Beobachtungsräume für ein GVO-Monitoring		
17. Schlagwörter  Monitoring, GVO, herbizidresistenter Raps, insektenresistenter Mais, virusresistente Zuckerrüben, Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum, Parameter, Methoden		
18. Preis	19.	20.

## Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 97 410/70	2.	3.
4. Report Title Developing a concept for monitoring the environmental impacts of genetically modified plants Part 1		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Dr. Wiebke Züghart PD Dr. Broder Breckling	8. Report Date 27.07.2002	
6. Performing Organisation (Name, Address)  University Bremen Center for Environmental Research and Technology Post Box 33 04 40 D-28334 Bremen	9. Publication Date	
	10. UFOPLAN-Ref. No. 299 89 406	
	11. No. of Pages 200	
	12. No. of Reference 573 (Part I + II)	
7. Sponsoring Agency (Name, Address)  Federal Environmental Agency, Post Box 33 00 22,D-14191 Berlin	13. No. of Tables, Diagrams 25	
	14. No. of Figures 4	
	15. Supplementary Notes	
16. Abstract  Central task of the Research and Development Project (R&D) was to develop methodological instruments that allow detection and documentation of the impacts of genetically modified plants (gmgs). Furthermore possibilities and limits of integrating monitoring into existing environmental monitoring programmes of the German Federation and the Federal States have been evaluated. As a baseline for the selection of suitable investigation sites for monitoring, relevant geographical information has been gathered and integrated into a Geographic Information System (GIS). The concept development for monitoring has been conducted concerning the following case studies: herbicide-resistant oil seed rape, insect-resistant maize, virus-resistant sugar beet and potatoes with a modified carbohydrate metabolism. As a first step cause and effect hypotheses for potential adverse effects of these gmgs based on risk analysis and scientific findings have been compiled. They constitute the basis for deriving observational parameters and for setting up a sampling strategy taking into account methods, sampling frequency and spatial aspects. The present concept serves as a framework showing the requirements of monitoring. Functional chains are investigated beyond the limited scope of agricultural regions taking into account further ecological interactions influencing gmgs in nature. The concept supports the practical implementation of monitoring as part of legal requirements. It has to be further developed for genetically modified plants others than those used as case studies named above. Part I: Fundamentals, case studies, proposal for a concept for Monitoring gmgs Part II: Integrating monitoring into existing environmental monitoring programmes, regions for investigation		
17. Keywords  Monitoring GMOs herbicide-resistant oil seed rape, insect-resistant maize, virus-resistant sugar beet, potato with a modified carbohydrate metabolism		
18. Price	19.	20.

## Zusammenfassung

In Part C der novellierten Freisetzungsrichtlinie (2001/18/EG) ist die Durchführung eines Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP) nach Marktzulassung als verbindliche Maßnahme festgeschrieben. Damit werden bisherige Sicherheitsbewertungen vor Inverkehrbringen in Labor, Gewächshaus und Freiland um eine weitere Stufe der Risikoermittlung nach Inverkehrbringen ergänzt. Ein Monitoring soll dazu beitragen, direkte und indirekte, unmittelbare und spätere sowie unvorhergesehene schädliche Auswirkungen von GVO auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt zu ermitteln (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 2001). Die Mitgliedstaaten der EU sind verpflichtet, die Richtlinie bis Oktober 2002 in nationales Recht umzusetzen. An der inhaltlichen und organisatorischen Gestaltung des Monitoring wird derzeit auf verschiedensten politischen und institutionellen Ebenen gearbeitet (UMWELTBUNDESAMT 2001c).

Das Forschungsvorhaben „Konzeptionelle Entwicklung eines Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen“ wurde an der Universität Bremen im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt. Zentrale Aufgabe war die Entwicklung eines methodischen Instrumentariums, anhand dessen ökologische Folgewirkungen gentechnisch veränderter Kulturpflanzen erkannt und dokumentiert werden können. Darüber hinaus wurden Möglichkeiten und Grenzen der Einbindung des Monitoring in bestehende Programme der Umweltüberwachung des Bundes und der Länder evaluiert.

Im Mittelpunkt der konzeptionellen Überlegungen standen Pflanzen, für die eine baldige Marktzulassung zu erwarten ist. Auf der Grundlage einer vom Umweltbundesamt und der Bund/Länder-Arbeitsgruppe „Monitoring der Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen“ erstellten Prioritätenliste (UMWELTBUNDESAMT 2001c) wurden die Fallbeispiele

- Herbizidresistenter Raps,
- Insektenresistenter Mais,
- Virusresistente Zuckerrüben und
- Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum

ausgewählt. Am Beispiel dieser vier Fälle wurden konkrete Vorschläge für die Umsetzung eines Monitoring nach Marktzulassung erarbeitet. Dabei wurde ein hypothesengeleiteter Ansatz verwendet. D.h. für jedes der Fallbeispiele sind Kausalbeziehungen analysiert und plausibel ableitbare Wirkungszusammenhänge ermittelt worden. Darauf basierend wurden Ursache-Wirkungshypothesen formuliert. Diese bilden die Grundlage für die Ableitung von Beobachtungsparametern und die Erarbeitung eines Erhebungskonzeptes mit Vorschlägen zu Methoden, Erhebungsfrequenzen und räumlichen Gesichtspunkten.

Aus ökonomischen Gründen ist die Nutzung möglichst aller vorhandenen und geeigneten Ressourcen für die Etablierung eines Monitoring geboten. Vor diesem Hintergrund wurden die vorhandenen Messnetze und Umweltbeobachtungsprogramme des Bundes und der Länder hinsichtlich konkreter Anknüpfungspunkte für ein Monitoring von GVP evaluiert. Es zeichnet sich ab, dass bestehende Beobachtungsprogramme vielfach organisatorische Voraussetzungen für eine Erweiterung des jeweiligen Parameter-Sets bieten oder es können vorhandene Mess- und Beobachtungsstandorte und -flächen sowie Infrastrukturen genutzt werden. Nur in wenigen Fällen erfolgt jedoch die Erhebung von Parametern, welche in der gegenwärtigen Form einen unmittelbaren Beitrag zur Beantwortung gentechnikspezifischer Fragestellungen liefern. Anknüpfungspunkte bieten z.B. Pollen- und Depositionsmessnetze des Bundes und der Länder, das Boden-Dauerbeobachtungsflächen-Programm, die Umweltprobenbank und Agrar-Umweltprogramme wie das Ackerrandstreifenprogramm. Da ein Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen nicht flächendeckend in allen betroffenen Agrarräumen und den weiteren Nichtziel-Ökosystemen im gesamten Gebiet der BRD durchgeführt werden kann, müssen Grundlagen und Kriterien für die Auswahl repräsentativer Untersuchungsgebiete entwickelt werden. Von wesentlicher Bedeutung sind hier geographische Informationen sowie raumbezogene Sachdaten zu den Kulturpflanzen. So kann z.B. die ökologische Raumgliederung Deutschlands (SCHRÖDER UND SCHMIDT 2001) als Grundlage für die Auswahl repräsentativer Landschaftsräume verwendet werden. Unter der Prämisse, dass in Gebieten mit regionalen Anbauschwerpunkten der Kulturarten auch ein Inverkehrbringen der transgenen Kulturpflanzen wahrscheinlich ist, werden z.B. statistische Anbaudaten für eine Gebietseingrenzung hinzugezogen. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden daher verfügbare Daten recherchiert, z.T. digitalisiert und im GIS (Geographisches Informationssystem) integriert.

Das vorliegende Konzept liefert insgesamt einen Rahmen, der die Erfordernisse eines Monitoring sichtbar macht. Es werden Wirkungsbezüge über den Agrarraum hinaus thematisiert und weitergehende ökologische Wechselwirkungen, denen gentechnisch veränderte Organismen in der Natur unterliegen, verfolgt. Das Konzept bietet die Basis für weiterführende administrative Umsetzungsschritte und kann für zukünftige gentechnisch veränderte Pflanzen die eine Zulassung erfahren fortgeschrieben werden.

# Inhaltsverzeichnis

## Teil 1

1.	Einleitung .....	1
2.	Grundlagen für die Konzeption des Monitoring transgener Kulturpflanzen .....	4
2.1	Rechtliche Rahmenbedingungen und Definitionen .....	4
2.2	Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen.....	5
2.3	Anforderungen an ein Monitoring nach Inverkehrbringen .....	8
3.	Fallbeispiele .....	11
4.	Ursache-Wirkungshypothesen .....	14
4.1	Fallübergreifende Wirkungshypothesen .....	14
	Ausbreitung und Persistenz inverkehrgebrachter Transgene in Umweltmedien (14), Positions- und Pleiotropieeffekte (15), Horizontaler Gentransfer (17), Transgen-Akkumulation, Kombinations- und Synergieeffekte (19), Biodiversität (20),	
4.2	Herbizidresistenter Raps .....	21
	Ausbreitungs- und Verwilderungspotential der Kulturpflanze (21), Pollenausbreitung (22), Auskreuzung und Ausbreitung der Fremdgenkonstrukte (23), Auswirkungen der Herbizidresistenztechnik (26), Horizontaler Gentransfer (32)	
4.3	Insektenresistenter (B.t.)-Mais .....	33
	Pollenausbreitung (33), Auskreuzung und Ausbreitung der Fremdgenkonstrukte (33), Zielorganismen (33), Nichtzielorganismen (34),	
4.4	Rizomaniar resistente Zuckerrüben.....	37
	Phytopathogene Viren (40)	
4.5	Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum.....	41
	Ausbreitungs- und Verwilderungspotential der Kulturpflanze (41), Auskreuzung und Ausbreitung der Fremdgenkonstrukte (42), Auswirkungen auf die Fauna (43)	
5.	Konzeptvorschlag für ein Monitoring .....	47
5.1	Allgemeiner Teil .....	47
5.1.1	Die Kernbereiche des Monitoring .....	47
5.1.2	Parameter.....	48
5.1.3	Methoden.....	49
5.1.4	Raumbezüge .....	49
5.1.5	Referenzflächen.....	49
5.1.6	Erhebungsintervall.....	50
5.1.7	Auswertung der Daten.....	50
5.2	Spezieller Teil .....	50
5.2.1	Dokumentation der Verbreitung und Persistenz inverkehrgebrachter Transgene in repräsentativen Umweltmedien .....	50
5.2.2	Spezifisches Monitoring der ausgewählten Kulturpflanzen .....	53
5.2.2.1	Basisparameter.....	53
5.2.2.2	Herbizidresistenter Raps .....	56

	Anmerkungen zu Tab. 6: Überprüfung der Wirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion (69), Überprüfung der Wirkungen auf Flora und Vegetation (70), Überprüfung der Wirkungen auf die epi- und hypergäische Arthropodenfauna und Wirbeltiere (72), Überprüfung von Wirkungen auf Gewässerökosysteme (74)	
5.2.2.3	Insektenresistenter (B.t.)-Mais.....	75
	Anmerkungen zu Tab. 8: Überprüfung der Wirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion (84), Überprüfung der Wirkungen auf die epi- und hypergäische Arthropodenfauna und Wirbeltiere (85), Überprüfung von Wirkungen auf aquatische Organismen (87)	
5.2.2.4	Virusresistente Zuckerrüben .....	88
	Anmerkungen zu Tab. 9: Überprüfung der Wirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion (98), Überprüfung der Wirkungen auf Flora und Vegetation (99), Überprüfung von Wirkungen auf mikrobielle Phytopathogene (100), Überprüfung der Wirkungen auf die epi- und hypergäische Arthropodenfauna und Wirbeltiere (101)	
5.2.2.5	Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum.....	103
	Anmerkungen zu Tab. 11: Überprüfung der Wirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion (112), Überprüfung der Wirkungen auf Flora und Vegetation (113), Überprüfung des Befalls durch mikrobielle Phytopathogene und Phytophage (114), Überprüfung der Wirkungen auf die epi- und hypergäische Arthropodenfauna und Wirbeltiere (114)	
5.2.3	Monitoring von Wirkungszusammenhängen mit großen Bezugsräumen .....	117
5.2.4	Erläuterungen zu den für das Monitoring vorgeschlagenen Methoden.....	121
	A - Molekulare Analysemethoden.....	122
	Polymerase Chain Reaction (PCR) (122), DNA-Chip-Technologie, Real time PCR (122), DNA-Fingerprintmethoden (126), Enzyme-linked-immunosorbent-assay (ELISA) (127), Hochdruckflüssigkeitschromatographie (127)	
	B - Vegetationsökologische Methoden.....	127
	Floristische Kartierung mittels floristischer Häufigkeitsskala nach GARVE (127), Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen (128), Floristische Aufnahme der Dauerbeobachtungsfläche nach der Schätzska von PFADENHAUER et al. (128), Dichte (129), Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (129), Phänologischer Aufnahmeschlüssel nach DIERSCHKE (130), Untersuchung der Diasporenbank (132)	
	C - Methoden zur Erfassung von Arthropoden .....	132
	Erfassung an Einzelpflanzen (132), Klopfmethode (132), Entnahme von Pflanzenteilen (133), Saugmethode (133), Käscher (134), C6: Bodenfallen (135), Fangrahmen (136)	
	D - Methoden zur Erfassung von Kleinsäugern .....	137
	Schlagfallen und Lebendfallen (137), Bodenfallen (138)	
	E - Methoden zur Erfassung von Brutvögeln .....	138
	Standardisierte Erhebung (138), Erfassung des Bruterfolges (139)	
	F - Methoden zur Erfassung von Rastvögeln.....	139
	Raumnutzungsanalysen (139)	
	G - Bodenökologische Erhebungsmethoden.....	140
	Bodenchemische und bodenphysikalische Methoden (140), Bodenmikrobiologische Methoden (141), Bodenzoologische Methoden (142)	
	H - Methoden zur Untersuchung von Gewässerzönosen.....	143



5.2.5	Ergänzende Hintergrundinformationen zu den Parametern (Fauna und Boden) .....	144
5.2.5.1	Auswahl geeigneter Arthropoden, Vögel und Säugetiere für ein Monitoring.....	144
	Besiedlungsbestimmende Faktoren und Charakteristika von Äckern (144), Tierarteninventar in Äckern: Differenzierbarkeit und Kenntnisstand (147), Auswahl geeigneter Taxa für ein Langzeitmonitoring (148), Arthropoden (148), Wirbeltiere in Äckern (152)	
5.2.5.2	Erläuterung der Parameter im Bereich Boden.....	157
5.3	Forschungs- und Entwicklungsbedarf.....	161
5.4	Schnittstellen.....	162

## Teil 2

6.	Möglichkeiten der Anbindung des Monitoring an Umweltüberwachungsprogramme des Bundes und der Länder.....	163
6.1	Einführung .....	163
6.2	Übersicht über bestehende Synopsen zu den Beobachtungsprogrammen des Bundes und der Länder .....	168
6.2.1	Umfragen zum Boden-Dauerbeobachtungsflächenprogramm .....	169
6.2.2	Condat-Fragebogenerhebung .....	170
6.2.3	Umfrage zu den Beobachtungsprogrammen von Bundesressorts .....	173
6.2.4	Umfrage zu biotischen Erhebungen .....	174
6.2.5	Umfragen im Rahmen des Pilotvorhabens ökosystemare Umweltbeobachtung im Biosphärenreservat Rhön („Rhön-Vorhaben“) .....	175
6.2.6	Nutzbarkeit des Umweltdatenkatalogs für Recherchen zu Beobachtungsprogrammen .....	179
6.3	Recherchen zum Boden-Dauerbeobachtungsflächenprogramm .....	183
6.3.1	Zielsetzungen und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) .....	184
6.3.2	Recherchequellen .....	190
6.3.3	Überblick über das Erhebungsprogramm der Bodendauerbeobachtung in den einzelnen Bundesländern..... Physikalische und chemische Parameter der Bodenfestphase (204), Inhaltstoffe der Bodenlösung (204), Bodenbiologische Parameter (213), Vegetation (219)	191
6.3.4	Boden-Dauerbeobachtung in Bayern .....	221
6.3.5	Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen.....	225
6.3.6	Perspektiven zur Nutzung des Boden-Dauerbeobachtungsflächenprogramm.....	225
6.4	Recherchen zu Depositionsmessungen und direkten Pollenflugmessungen .....	227
6.4.1	Direkte Pollenflugmessungen.....	227
6.4.2	Depositionsmessungen .....	234
6.4.3	Perspektiven für die Nutzung von Depositions- und Pollenflugmessungen.....	250
6.5	Recherchen zum europäischen Schutzgebietssystems Natura 2000 in Deutschland.....	251
6.5.1	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und Vogelschutzrichtlinie .....	251
6.5.2	Lebensraumtypen und Zielarten der Richtlinien .....	253
6.5.3	Anforderungen an die Umsetzung der Richtlinien .....	261
6.5.4	Stand der Umsetzung in den einzelnen Bundesländern.....	263
6.5.5	Perspektiven einer Nutzung der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie und Vogelschutzrichtlinie.....	267
6.6	Recherchen zur Ökologischen Flächenstichprobe .....	269
6.6.1	Ziele und Stand der Umsetzung .....	269
6.6.2	Perspektiven zur Nutzung der Ökologischen Flächenstichprobe .....	276
6.7	Recherchen zu Ackerrandstreifenprogrammen und vergleichbaren Artenschutzmaßnahmen der Bundesländer.....	276

6.7.1	Allgemeine Rahmenbedingungen .....	277
6.7.2	Rechercheergebnisse aus den einzelnen Bundesländern .....	278
6.7.3	Perspektiven einer Nutzung des Ackerrandstreifenprogrammes .....	289
6.8	Datenbanken des Bundesamtes für Naturschutz .....	290
6.8.1	Datenbank Gefäßpflanzen .....	290
6.8.2	Datenbank Lepidopteren .....	292
6.9	Forstliches Umweltmonitoring: WSE, BZE und Level II .....	293
6.9.1	WSE .....	295
6.9.2	BZE .....	296
6.9.3	Level II .....	297
6.9.4	Übersicht über die im Level I - und Level II-Programm erhobenen Parameter .....	302
6.9.5	Andere forstliche Umweltbeobachtungsprogramme in den Ländern .....	305
6.9.6	Perspektiven zur Nutzung des forstlichen Umweltmonitoring .....	306
6.10	Recherchen zum Gewässermonitoring .....	307
6.10.1	Erhebung zur Erstellung der bundesweiten Gewässergütekarte – das LAWA-Messstellennetz .....	307
6.10.2	Landesmessnetze zur Gewässerüberwachung am Beispiel von Bayern, Nordrhein-Westfalen und Mecklenburg-Vorpommern .....	312
6.10.3	Regionalmessnetze und örtliche Messnetze zur Gewässerüberwachung in Bayern, NRW und Mecklenburg-Vorpommern .....	332
6.10.4	Gewässerstrukturgütekartierung .....	332
6.10.5	Vorgaben der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie .....	336
6.10.6	Perspektiven zur Nutzung von Gewässermonitoringprogrammen .....	336
6.11	Recherchen zu ornithologischen Beobachtungsprogrammen .....	337
6.11.1	Monitoring Greifvögel und Eulen Europas .....	337
6.11.2	Integriertes Monitoring von Singvogelpopulationen (IMS) .....	338
6.11.3	Höhlenbrüterprogramm .....	339
6.11.4	Perspektiven zur Nutzung ornithologischer Beobachtungsprogramme .....	339
6.12	Recherchen zu Nutzungserhebungen .....	340
6.12.1	Bodennutzungshaupterhebung .....	341
6.12.2	Flächenerhebungen nach Art der tatsächlichen und geplanten Nutzung .....	341
6.12.3	Datenverfügbarkeit der Bodennutzungserhebung .....	342
6.12.4	Perspektiven zur Nutzung der Bodennutzungserhebungen .....	343
6.13	Recherchen zur Umweltprobenbank des Bundes .....	343
6.13.1	Bank für Umweltproben .....	346
6.13.2	Bank für Human-Organproben und Umweltsurvey .....	348
6.13.3	Organisation der Umweltprobenbank .....	349
6.13.4	Informationssystem Umweltprobenbank (IS-UPB) .....	350
6.13.5	Perspektiven zur Nutzung der Umweltprobenbank für das Monitoring von transgenen Kulturpflanzen .....	351
6.14	Integrierte Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Umweltradioaktivität (IMIS) .....	352
6.14.1	Zielsetzung und Durchführung des IMIS .....	353
6.14.2	Perspektiven der Nutzung des IMIS .....	361
6.15	Weitere Naturschutz- und Artenmonitoringprogramme der Länder sowie Untersuchungen zu Wildtierarten .....	362

6.15.1	Naturschutz- und Artenmonitoringprogramme der Länder.....	363
	Baden-Württemberg (363), Bayern (365), Berlin (365), Brandenburg (366), Bremen (368), Hessen (368), Mecklenburg-Vorpommern (370), Niedersachsen (374), Nordrhein-Westfalen (377), Rheinland-Pfalz (377), Saarland (379), Sachsen (380), Sachsen-Anhalt (380), Schleswig-Holstein (382), Thüringen (382)	
6.15.2	Untersuchungen zu Wildtierarten.....	383
	Sachsen-Anhalt (383), Hessen (384), Rheinland-Pfalz (385), Mecklenburg- Vorpommern (386), Nordrhein-Westfalen (386), Niedersachsen (387), Schleswig-Holstein (387), Brandenburg (387)	
6.15.3	Perspektiven zur Nutzung von Naturschutz- und Artenmonitoringprogrammen sowie Untersuchungen von Wildtieren auf Länderebene .....	388
7.	Beobachtungsräume für ein Monitoring .....	389
7.1	Grundlagen und Kriterien für die Auswahl geeigneter Beobachtungsräume.....	389
7.2	Beschreibung der recherchierten Datensätze .....	391
7.2.1	Bundesweite Raumgliederungen .....	391
7.2.2	Messstandorte und Beobachtungsflächen laufender Umweltbeobachtungsprogramme.....	407
7.2.3	Anbauflächen gentechnisch veränderter Kulturpflanzen .....	433
7.2.4	Landwirtschaftliche Rauminformationen.....	439
7.2.5	Kreuzungspartner der Kulturpflanzen .....	449
7.2.6	Gebiete von besonderem Nutzungs- oder Schutzstatus.....	481
7.3	Beispiele für Datenverknüpfungen .....	491
8.	Ausblick .....	516
9.	Zusammenfassung.....	519
10.	Literatur.....	521

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Raumkonzept für eine Untersuchungseinheit.....	74
Abb. 2:	Raumkonzept für eine Untersuchungseinheit.....	87
Abb. 3:	Schematische Darstellung des Aufbaus eines DNA-Arrays.....	124
Abb. 4:	Schematisierter Ablauf der TaqMan™-PCR.....	126
Abb. 5:	Struktur des UDK.....	181
Abb. 6:	Aktive Burkard-Pollenfalle.....	228
Abb. 7:	Passives Sigma-2-Depositionsmessgerät.....	228
Abb. 8a:	Bulk-Sammler zur Messung der trockenen und nassen Deposition im Freiland und im Bestand.....	235
Abb. 8b:	Wet-only-Sammler (Typ ERNI) zur Messung der nassen Deposition im Freiland.....	235
Abb. 9:	Lage der Untersuchungsflächen in Deutschland, Stand 1997.....	338
Abb. 10:	Standorte des IMS im Jahr 1999.....	338
Abb. 11:	Naturräumliche Gliederung nach MEYEN et al. 1962.....	395
Abb. 12:	Ökologische Raumgliederung nach SCHRÖDER & SCHMIDT 2001.....	397
Abb. 13:	Bodenbedeckungsarten in Deutschland.....	399
Abb. 14:	Anteile urbaner Flächen der Landkreise.....	401
Abb. 15:	Digitales Höhenmodell Deutschland.....	403
Abb. 16:	Bodendauerbeobachtungsflächen in Deutschland.....	405
Abb. 17:	Depositionsmessstationen in Deutschland.....	409
Abb. 18:	Pollenmessstationen in Deutschland.....	411
Abb. 19:	Level- 2- Standorte.....	413
Abb. 20:	Untersuchungsflächen der Ökologischen Flächenstichprobe (ÖFS) in Nordrhein-Westfalen.....	415
Abb. 21:	Standorte der Umweltprobenbank des UBA.....	417
Abb. 22:	Luft- und Immissionsmessnetze des Umweltbundesamtes.....	419
Abb. 23:	Internationale synoptische Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes.....	421
Abb. 24:	Erhebungen mehrerer Messparameter an Stationen des Deutschen Wetterdienstes.....	423
Abb. 25:	Sonnenschein- Messstationen des Deutschen Wetterdienstes.....	425
Abb. 26:	Regen- Messstationen des Deutschen Wetterdienstes.....	427
Abb. 27:	Temperatur- Messstation des Deutschen Wetterdienstes.....	429
Abb. 28:	Freisetzungsstandorte gentechnisch veränderter Pflanzen.....	431
Abb. 29:	Versuchsgebiete des Bundessortenamtes Mais Part C.....	435
Abb. 30:	Anbauflächen ausgewählter Kulturarten der Landkreise und kreisfreien Städte in Deutschland.....	437
Abb. 31:	Ertragsanteil von Winterraps in den Landkreisen und kreisfreien Städten in Deutschland.....	441
Abb. 32:	Ertragsanteil von Mais in den Landkreisen und kreisfreien Städten in Deutschland.....	443
Abb. 33:	Landkreise mit potenzieller Befallsgefährdung durch Maiszünzler in Deutschland.....	445
Abb. 34:	Fundorte von Beta vulgaris ssp. maritima in Deutschland.....	447
Abb. 35:	Fundorte von Brassica juncea in Deutschland.....	451
Abb. 36:	Fundorte von Brassica napus in Deutschland.....	453
Abb. 37:	Fundorte von Brassica nigra in Deutschland.....	455
Abb. 38:	Fundorte von Brassica oleracea in Deutschland.....	457
Abb. 39:	Fundorte von Brassica rapa in Deutschland.....	459
Abb. 40:	Fundorte von Diplotaxis erucoides in Deutschland.....	461
Abb. 41:	Fundorte von Diplotaxis muralis in Deutschland.....	463
Abb. 42:	Fundorte von Diplotaxis tenuifolia in Deutschland.....	465
Abb. 43:	Fundorte von Erucastrum gallicum in Deutschland.....	467
Abb. 44:	Fundorte von Raphanus raphanistrum in Deutschland.....	469
Abb. 45:	Fundorte von Raphanus sativus in Deutschland.....	471
Abb. 46:	Fundorte von Sinapis alba in Deutschland.....	473
Abb. 47:	Fundorte von Sinapis arvensis in Deutschland.....	475
Abb. 48:	Winterhärtezonen für Gehölze in Deutschland.....	477
Abb. 49:	Anteil von Flächen mit kontrolliert biologischem Anbau an Agrarflächen der Bundesländer.....	479
Abb. 50:	Betriebe mit kontrolliert biologischem Anbau in Bremen und Niedersachsen.....	483
Abb. 51:	Naturschutzgebiete in Deutschland.....	485
Abb. 52:	Biosphärenreservate, Natur- und Nationalparke in Deutschland.....	487
Abb. 53:	Landkreise mit Hauptanbaugebieten von Mais, Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben.....	489

Abb. 54:	Landkreise mit Hauptanbaugebieten der vier Kulturarten und Anteile der Anbauflächen an der Landkreisfläche .....	493
Abb. 55:	Landkreise mit Hauptanbaugebieten der vier Kulturarten und Anteile der Ökologischen Raumklassen.....	495
Abb. 56:	Landkreise mit Hauptanbaugebieten von Mais, Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben sowie Lage von Depositionsmessstellen .....	497
Abb. 57:	Landkreise mit Hauptanbaugebieten von Mais, Raps, Kartoffeln und Zuckerrüben sowie Lage von Bodendauerbeobachtungsflächen .....	499
Abb. 58:	Hauptanbaugebiete der vier Kulturarten und Schutzgebiete in Deutschland.....	501
Abb. 59:	Raps- Anbauflächen der Landkreise und kreisfreien Städte in Deutschland 1995 sowie Freisetzungsorte gentechnisch veränderter Rapspflanzen .....	503
Abb. 60:	Mais- Anbauflächen der Landkreise und kreisfreien Städte in Deutschland 1995 sowie Freisetzungsorte gentechnisch veränderter Maispflanzen .....	505
Abb. 61:	Zuckerrüben- Anbauflächen der Landkreise und kreisfreien Städte in Deutschland 1995 sowie Freisetzungsorte gentechnisch veränderter Zuckerrübenpflanzen .....	507
Abb. 62:	Kartoffel- Anbauflächen der Landkreise und kreisfreien Städte in Deutschland 1995 sowie Freisetzungsorte gentechnisch veränderter Kartoffelpflanzen .....	509
Abb. 63:	Mais- Anbauflächen der Landkreise und Befallsgefährdung durch Maiszünzler .....	511
Abb. 64:	Bodendauerbeobachtungsflächen und Ökologische Raumgliederung .....	513

# Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Fallbeispiele.....	11
Tab. 2:	Arten, die als potentielle Kreuzungspartner von Raps diskutiert werden.....	24
Tab. 3:	Tabellarische Zusammenstellung der Ursache-Wirkungshypothesen.....	43
Tab. 4:	Monitoring der Verbreitung und Persistenz inverkehrgebrachter Transgene in Umweltmedien.....	52
Tab. 5:	Parameter zur landwirtschaftlichen Praxis und zur Standortcharakterisierung auf ausgewählten Test- und Referenzflächen.....	54
Tab. 6:	Monitoring von Umweltwirkungen herbizidresistenten Rapses auf ausgewählten Probenflächen, Referenzflächen und Untersuchungsräumen.....	57
Tab. 7:	Zielarten der floristischen Kartierung und molekulargenetischen Analysen.....	70
Tab. 8:	Monitoring der Umweltwirkungen von B.t.-Mais auf ausgewählten Probenflächen, Referenzflächen und Untersuchungsräumen.....	76
Tab. 9:	Monitoring von Umweltwirkungen virusresistenter Zuckerrüben auf ausgewählten Probeflächen, Referenzflächen und Untersuchungsräumen.....	89
Tab. 10:	Zielarten der floristischen Kartierung und molekulargenetischen Analysen.....	99
Tab. 11:	Monitoring der Umweltwirkungen von Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum auf ausgewählten Probeflächen, Referenzflächen und Untersuchungsräumen.....	104
Tab. 12:	Zielart der floristischen Kartierung und molekulargenetischen Analysen.....	113
Tab. 13:	Monitoring von Wirkungszusammenhängen mit großen Bezugsräumen.....	119
Tab. 14:	Floristische Häufigkeitsskala nach GARVE (1994).....	128
Tab. 15:	Aufnahmeskalen von BRAUN-BLANQUET (1964) und PFADENHAUER et al. (1986).....	129
Tab. 16:	Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991).....	130
Tab. 17:	Phänologischer Aufnahmeschlüssel nach DIERSCHKE (1994).....	130
Tab. 18:	Klopfmethode.....	133
Tab. 19:	Entnahme von Pflanzenteilen.....	133
Tab. 20:	Saugmethode.....	134
Tab. 21:	Käschermethode.....	135
Tab. 22:	Bodenfallen.....	136
Tab. 23:	Fangrahmen.....	137
Tab. 24:	Brutvögel in Äckern und Brach- und Ödflächen.....	155
Tab. 25:	Säugetiere in Äckern.....	157
Tab. 26:	Übersicht über die evaluierten Mess- und Beobachtungsprogramme.....	165
Tab. 27:	Schnittstellen zwischen den recherchierten Überwachungsprogrammen und einem Monitoring transgener Kulturpflanzen.....	167
Tab. 28 :	Bodenrelevante Erhebungen - Befragte Institutionen.....	172
Tab. 29:	Mess- und Beobachtungsprogramme der Länder Bayern, Hessen und Thüringen in den Bereichen Luftreinhaltung und Bodenschutz sowie Flora.....	176
Tab. 30:	Beobachtungsprogramm der BDF / LABO-Empfehlungen.....	187
Tab. 31:	Untersuchungen auf Offenland-BDF ohne Bodenfestphase.....	193
Tab. 32:	Untersuchungen auf forstlich genutzten BDF ohne Bodenfestphase.....	197
Tab. 33:	Erfassung von Inhaltsstoffen der Bodenfestphase auf Offenland-BDF und forstlich genutzten BDF - Teil 1.....	205
Tab. 34:	Erfassung von Inhaltsstoffen der Bodenfestphase auf Offenland-BDF und forstlich genutzten BDF - Teil 2.....	209
Tab. 35:	Erfassung von Inhaltsstoffen der Bodenlösung auf Offenland-BDF und forstlich genutzten BDF.....	211
Tab. 36:	Erfassung bodenmikrobiologischer Größen auf Offenland-BDF und forstlich genutzten BDF.....	215
Tab. 37:	Erfassung der Bodenmakro- und -mesofauna auf Offenland-BDF und forstlich genutzten BDF.....	217
Tab. 38:	Erfassung der Vegetation auf Offenland-BDF.....	219
Tab. 39:	Erfassung der Vegetation auf forstlich genutzten BDF.....	220
Tab. 40:	Beobachtungsprogramm auf den landwirtschaftlich genutzten BDF der Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau.....	222
Tab. 41:	Pollenmessstellen des Messnetzes der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst.....	231
Tab. 42:	Übersicht über die derzeitigen Messstellen des Kurorte-Messnetzes des DWD.....	232
Tab. 43:	Zusammenfassender Vergleich der Pollenmessnetze der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst und des DWD.....	234

Tab. 44:	Zusammenstellung der Ergebnisse der UBA-Umfrage (graue Zeilen) sowie der eigenen Erhebungen von Depositionsmessprogrammen in den Bundesländern .....	241
Tab. 45:	Ausgewählte höhere Pflanzen der FFH-Richtlinie. Verbreitung nach ELLWANGER (2002). .....	254
Tab. 46:	Ausgewählte Wirbellose der FFH-Richtlinie .....	255
Tab. 47:	Ausgewählte Wirbeltiere der FFH-Richtlinie .....	256
Tab. 48:	Ausgewählte Amphibien der FFH-Richtlinie .....	257
Tab. 49:	Ausgewählte Fische und Rundmäuler der FFH-Richtlinie .....	258
Tab. 50:	Ausgewählte Vogelarten der VSchRL.....	259
Tab. 51:	Parameter zum Artenmonitoring in der Normallandschaft (ÖFS) und zum speziellen Artenmonitoring .....	271
Tab. 52:	Erhebungsmethoden zum Artenmonitoring in der Normallandschaft (ÖFS) .....	272
Tab. 53:	Parameter und Erhebungsmethoden des Landschaftsmonitoring in Nordrhein-Westfalen .....	275
Tab. 54:	Ackerrandstreifenprogramme in Deutschland 1996 und 1997 .....	279
Tab. 55:	Überblick über forstliche Umweltmonitoringprogramme und mögliche Anbindungspunkte für ein Monitoring transgener Kulturpflanzen.....	296
Tab. 56:	Übersicht über Messflächen im Level II-Programm .....	300
Tab. 57:	Beobachtungsprogramm der WSE/BZE und Level II .....	303
Tab. 58:	Parameter der Grundmessprogramme Chemie und Biologie gemäß LAWA-Empfehlungen .....	308
Tab. 59:	LAWA-Messstellen in den Ländern.....	309
Tab. 60:	Messstellen in Bayern, Mecklenburg-Vorpommern und Nordrhein-Westfalen, Koordinaten und Messprogramme .....	310
Tab. 61:	Ausgewählte Messprogramme des Gewässerkundlichen Messwesens in Bayern .....	313
Tab. 62:	Ausgewählte Messprogramme des Gewässerkundlichen Landesdienstes in Mecklenburg-Vorpommern – Fließgewässer .....	315
Tab. 63:	Fließgewässermessstellen Mecklenburg-Vorpommern .....	317
Tab. 64:	1999 in Mecklenburg-Vorpommern untersuchte Seen bzw. Seeteile .....	323
Tab. 65:	Ausgewählte Messprogramme des Gewässerkundlichen Landesdienstes in Mecklenburg-Vorpommern – stehende Gewässer.....	325
Tab. 66:	Messstellen der INGO (Nordrhein-Westfalen).....	327
Tab. 67:	Messstellen im GÜS NRW .....	328
Tab. 68:	Messprogramme der Gewässerüberwachung in Nordrhein-Westfalen.....	329
Tab. 69:	Erhebungsanforderungen aus der EU-Wasserrahmen-Richtlinie .....	335
Tab. 70:	Kategorien der Bodennutzungshaupterhebung.....	342
Tab. 71:	Probenahmegebiete der Umweltprobenbank/Bank für Umweltproben .....	345
Tab. 72:	Probenarten der Umweltprobenbank/Bank für Umweltproben .....	347
Tab. 73:	Elemente und Verbindungen, auf die Proben der Bank für Umweltproben analysiert werden .....	348
Tab. 74:	Arbeitsteilung zwischen Bund und Ländern bei der Ermittlung der Radioaktivität und der Datenübermittlung .....	354
Tab. 75:	Im Rahmen von IMIS untersuchte Umweltmedien .....	356
Tab. 76:	Anzahl von Messstellen bzw. Messungen des Bundes im Rahmen von IMIS .....	357
Tab. 77:	Von den Ländern im Rahmen der IMIS untersuchte Medien.....	358
Tab. 78:	Anzahl von Messstellen bzw. Messungen der Länder für ausgewählte Probenarten des IMIS .....	360
Tab. 79:	Anzahl der Messstellen und Messungen für die Probenart Milch in den einzelnen Ländern.....	361
Tab. 80:	Übersicht der aufbereiteten und visualisierten Datensätze .....	390
Tab. 81:	Kategorien der Bodenbedeckungsarten, die im CORINE Landcover verwendet werden .....	392
Tab. 82:	Anzahl von Bodendauerflächen pro Raumklasse .....	515



## 1. Einleitung

Eine Markteinführung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen ist auch in Deutschland für die nächsten Jahre zu erwarten. Voraussichtlich werden transgene Varietäten von Raps, Mais, Zuckerrüben und Kartoffeln als erste zum Anbau in der Landwirtschaft zugelassen (ROBERT KOCH INSTITUT, [www.rki.de](http://www.rki.de)). Der heutige Wissensstand zu möglichen Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen gilt allgemein als lückenhaft (SRU 1998, SAUTER & MEYER 2000, UMWELTBUNDESAMT 2001a) und begründet sich vorwiegend auf zeitlich und räumlich begrenzte Labor- und Gewächshausexperimente sowie auf Freisetzungsversuche. Langzeitwirkungen und die Folgen eines großflächigen Anbaus sind weitgehend unbekannt und derzeit nur schwer prognostizierbar. Der damit einhergehenden Unsicherheit in der Risikoabschätzung wird in der Neufassung der Richtlinie des Europäischen Parlaments und Rates zur absichtlichen Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen (2001/18/EG) Rechnung getragen. In Part C der neuen Richtlinie wird die Durchführung eines Monitoring nach Inverkehrbringen als verbindliche Maßnahme festgeschrieben. Damit werden bisherige Sicherheitsbewertungen vor Marktzulassung in Labor, Gewächshaus und Freiland um eine weitere Stufe der Risikoermittlung nach Inverkehrbringen ergänzt. Das Monitoring soll dazu beitragen, direkte, indirekte, sofortige, spätere sowie kumulative langfristige und unvorhergesehene schädliche Auswirkungen von gentechnisch veränderten Organismen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt zu ermitteln (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 2001). Es soll helfen, einmal getroffene Entscheidungen an der Realität zu überprüfen und damit die Prognosesicherheit zu erhöhen. Außerdem soll es Langzeitwirkungen erfassen und darüber hinaus als Frühwarnsystem für unerwünschte Wirkungen dienen (UMWELTBUNDESAMT 2001a).

Die Mitgliedstaaten der EU sind verpflichtet, die Richtlinie bis Oktober 2002 in nationales Recht umzusetzen. An der inhaltlichen und organisatorischen Gestaltung des Monitoring wird derzeit auf verschiedensten politischen und institutionellen Ebenen gearbeitet (siehe UMWELTBUNDESAMT 2001a). Das Umweltbundesamt (UBA) beschäftigt sich bereits seit 1995 mit dem Thema Monitoring und führte hierzu Fachgespräche und Forschungsvorhaben durch (NEEMANN & SCHERWAß 1999, UMWELTBUNDESAMT 1996a, 1998a, u.a.). Als sich der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 1998 für die Einrichtung einer Dauerbeobachtung gentechnisch veränderter Organismen aussprach, hat die Umweltministerkonferenz diese Empfehlungen des SRU unterstützt und den Bund gebeten, gemeinsam mit den Bundesländern ein Konzept für die Umsetzung dieser Empfehlungen zu erarbeiten. Im März 1999 wurde daraufhin die Bund/Länder-AG „Monitoring der Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen“ (kurz BLAG Monitoring) unter der Federführung des Umweltbundesamtes gegründet. Das vorliegende Forschungsvorhaben „Konzeptionelle Entwicklung eines Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen“ wurde vom UBA zur wissenschaftlichen Unterstützung der Arbeit in der BLAG Monitoring in Auftrag gegeben.

Im Mittelpunkt der konzeptionellen Überlegungen des Umweltbundesamtes stehen zunächst Pflanzen, für die eine baldige Marktzulassung zu erwarten ist. In diesem Zusammenhang wurde eine Prioritätenliste nach den Kriterien „Stand der Marktzulassung“, „wirtschaftliche Bedeutung“ und „Potenzial für biologische Wirkungen“ erstellt (UMWELTBUNDESAMT 2001a). Ein für die erste Generation transgener Kulturpflanzen entwickeltes Monitoring ist dann für alle folgenden gentechnisch veränderten Pflanzen, die in den Verkehr gebracht werden sollen, fortzuschreiben.

Entsprechend erfolgt die Konzeption eines Monitoring in dem vorliegenden Forschungsbericht fallbezogen. Auf der Grundlage der oben genannten Prioritätenliste wurden die transgenen Pflanzen

- herbizidresistenter (HR)-Raps
- insektenresistenter (B.t.)-Mais
- virusresistente (VR)-Zuckerrüben und
- Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum

ausgewählt.

Am Beispiel dieser vier Fälle wurden konkrete Vorschläge für die Umsetzung eines Monitoring nach Marktzulassung erarbeitet. Im Zentrum stand die Entwicklung eines methodischen Instrumentariums, anhand dessen ökologische Folgewirkungen des Anbaus gentechnisch veränderter Kulturpflanzen erkannt und dokumentiert werden können. Darüber hinaus wurden Möglichkeiten und Grenzen der Einbindung des Monitoring in bestehende Programme des Bundes und der Länder evaluiert. Kriterien für die Bewertung der über das Monitoring erhobenen Daten sowie anschließende Maßnahmen sind nicht Gegenstand dieses Auftrages.

Der vorliegende Bericht geht zunächst auf Grundlagen für die Konzeption eines Monitoring ein (Kap. 2) und erläutert die transgenen Eigenschaften der ausgewählten Fallbeispiele (Kap. 3).

Die Ausführung des Vorhabens erfolgte anhand eines hypothesengeleiteten Ansatzes. In einem ersten Schritt wurden mögliche Umweltwirkungen bei einem großflächigen Anbau für jedes der vier Fallbeispiele ermittelt. Das Ergebnis ist eine umfangreiche Zusammenstellung von Ursache-Wirkungshypothesen (Kapitel 4).

Die Ursache-Wirkungshypothesen bilden die Grundlage für die Ableitung geeigneter Parameter und die Auswahl von Methoden, anhand derer die Wirkungshypothesen nach einer Marktzulassung überprüft werden sollen (Kapitel 5).

Aus ökonomischen Gründen ist die Nutzung möglichst aller vorhandenen und geeigneten Ressourcen für die Etablierung eines Monitoring geboten. Vor diesem Hintergrund wurden Messnetze und Umweltbeobachtungsprogramme des Bundes und der Länder hinsichtlich konkreter Anbindungspunkte für ein Monitoring von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen evaluiert (Kapitel 6).

Da ein Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen nicht flächendeckend in allen betroffenen Agrarräumen im gesamten Gebiet der Bundesrepublik durchgeführt werden kann, müssen Grundlagen und Kriterien für die Auswahl repräsentativer Untersuchungsgebiete entwickelt werden. Von wesentlicher Bedeutung sind hier geographische Informationen sowie raumbezogene Sachdaten zu den Kulturpflanzen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden verfügbare Daten recherchiert, z.T. digitalisiert und im Geographischen Informationssystem (GIS) integriert und visualisiert (Kapitel 7).

Im Verlauf des Vorhabens haben drei Workshops stattgefunden, auf denen die Ergebnisse der verschiedenen Arbeitsschritte präsentiert und zur Diskussion gestellt wurden. Ein erster Workshop (1./2. März 2001 in Bremen) hatte im Wesentlichen die Ursache-Wirkungshypothesen zum Inhalt. Der zweite (13./14. Dezember 2001 in Berlin) galt den abgeleiteten Parametern und ein dritter (21./22. Februar 2002 in Berlin) der Auswahl von Methoden für das Monitoring. Teilgenommen haben neben den Mitgliedern der BLAG Monitoring und Forschungsnehmern aus den Modellprojekten zum Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen (FKZ 200 89 412/01 bis 05 und FKZ 201 67 430-3/1 bis /3) auch Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus verschiedenen Fachdisziplinen, z.B. aus den Bereichen Ökologie, Zoologie (Wildbiologie, Ornithologie, Agrarentomologie), Bodenkunde und Bodenbiologie, Vegetationskunde, Geobotanik, Landschaftsökologie, Mikrobiologie, Agrarwissenschaften, Phytopathologie und Virologie. Die Ergebnisse der sehr konstruktiven und fruchtbaren Diskussionen sind in die weitere Bearbeitung des Konzeptes eingeflossen. Wir bedanken uns an dieser Stelle bei allen, die uns bei den Workshops, aber auch in zahlreichen anschließenden Gesprächen mit ihrem Fachwissen unterstützt haben.

## 2. Grundlagen für die Konzeption des Monitoring transgener Kulturpflanzen

### 2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen und Definitionen

In der Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. März 2001 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt wird ein Monitoring nach Marktzulassung verbindlich festgeschrieben. Die Überwachung des gentechnisch veränderten Organismus nach Inverkehrbringen wird damit Bestandteil der gesetzlichen Regelungen.

Begrifflich vom Monitoring abzugrenzen ist zum einen **experimentelle Sicherheitsforschung**, die auf der Ebene von Labor- und Gewächshausversuchen erfolgt und zum anderen **freisetzungsbegleitende Sicherheitsforschung**, die im Rahmen von zeitlich und räumlich begrenzten Freisetzungen durchgeführt wird (SAUTER & MEYER 2000, STEINHÄUSER & MIEHE 2001).

Der Anhang VII der Richtlinie enthält Ziele und allgemeine Grundsätze für die Erstellung des Überwachungsplans bzw. Monitoring. Diese werden durch Leitlinien ergänzt und sollen bis Oktober 2002 von den Mitgliedstaaten in nationales Recht umgesetzt werden.

Ziel des Überwachungsplans ist es:

- zu bestätigen, dass eine Annahme über das Auftreten und die Wirkung einer etwaigen schädlichen Auswirkung eines genetisch veränderten Organismus (GVO) oder dessen Verwendung in der Umweltverträglichkeitsprüfung zutrifft, und
- das Auftreten schädlicher Auswirkungen des GMO oder dessen Verwendung auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt zu ermitteln, die in der Umweltverträglichkeitsprüfung nicht vorhergesehen wurden.

In Anhang II der Richtlinie werden direkte, indirekte, sofortige und spätere sowie kumulative Auswirkungen folgendermaßen definiert :

**Direkte Auswirkungen** sind die primären Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt, die sich durch die GMO selbst und nicht durch eine Kausalkette von Ereignissen ergeben.

**Indirekte Auswirkungen** sind die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt, die durch eine Kausalkette von Ereignissen, z.B. durch Wechselwirkungen

mit anderen Organismen, Übertragung von genetischem Material oder Änderungen der Verwendung oder der Handhabung, ausgelöst werden.

Indirekte Auswirkungen können möglicherweise erst später festgestellt werden.

**Sofortige Auswirkungen** sind die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt, die während des Zeitraums der Freisetzung der GVO beobachtet werden. Sofortige Auswirkungen können direkt oder indirekt sein.

**Spätere Auswirkungen** sind die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder die Umwelt, die nicht während des Zeitraums der Freisetzung der GVO beobachtet werden, sondern als direkte oder indirekte Auswirkungen entweder in einer späteren Phase oder nach Abschluss der Freisetzung auftreten.

Kumulative langfristige Auswirkungen sind die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt, die erst aufgrund des Zusammenwirkens vieler Freisetzungseignisse manifest werden. Kumulative Auswirkungen können auf indirektem Wege oder später erfolgen.

Die Richtlinie sieht gemäß Teil C eine fallspezifische Überwachung (case specific monitoring) und eine allgemeine überwachende Beobachtung (general surveillance) vor. Eine inhaltliche Ausgestaltung der Begriffe steht noch aus. Im Rahmen des EU-Workshops: Monitoring of environmental impacts of genetically modified plants (Umweltbundesamt 2001c) wurden folgende Definitionen vorgeschlagen:

Die **fallspezifische Überwachung (case specific monitoring)** dient dazu, jede Vermutung aus der Risikoabschätzung, die mögliche nachteilige Effekte des GVO oder seiner Verwendung auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt betrifft, zu überprüfen. Es beschäftigt sich über einen begrenzten Zeitraum mit einzelnen Anträgen auf Inverkehrbringen und mit der Beobachtung nachteiliger Effekte, z.B. sofortiger und direkter, späterer oder indirekter Effekte, die in der Risikoabschätzung aufgezeigt wurden.

Die **allgemeine überwachende Beobachtung (general surveillance)** dient der Beobachtung von Langzeiteffekten von GVO und deckt die Beobachtung jener nachteiligen Effekte für die menschliche Gesundheit und die Umwelt ab, die in der Risikoabschätzung für ein bestimmtes Produkt nicht vorhergesehen wurden. Um nachteilige Wirkungen erfassen zu können, soll die allgemeine überwachende Beobachtung sowohl aus Elementen bestehen, die auf Ursache-Wirkungshypothesen aufbauen, als auch aus Elementen, die nicht auf klar definierten Hypothesen beruhen. Sobald Veränderungen in der Umwelt festgestellt werden, sind weitere Untersuchungen notwendig.

## 2.2 Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen

Die Einführung molekulargenetischer Methoden in die Pflanzenzüchtung eröffnet qualitativ völlig neue Möglichkeiten. Biologische Grenzen der Merkmalsübertragung können zwischen den Arten des gesamten Organismenreiches überwunden werden. Dabei wer-

den nicht nur Zielgene, die für die gewünschte Eigenschaft codieren, in die Pflanze eingebracht, sondern auch regulatorische Gensequenzen, die oft mikrobiellen oder viralen Ursprungs sind (ROBERT KOCH INSTITUT, [www.rki.de](http://www.rki.de)).

Gentechnisch veränderte Kulturpflanzen, für die bereits Anträge auf Marktzulassung gestellt wurden, beinhalten überwiegend transgene Eigenschaften wie Herbizid-, Insekten- oder Virusresistenz sowie männliche Sterilität. Dies sind Eigenschaften, die primär für die Züchtungs- bzw. Anbaupraxis der Kulturpflanzen relevant sind. Zukünftig sind aber auch Pflanzen zu erwarten, die Veränderungen in ihrem ökologischen Verhalten aufweisen. Vielfältige Forschungsansätze befassen sich mit der gentechnischen Herstellung von Pflanzen mit Toleranzen gegen abiotischen Stress (z.B. Hitze, hohe Salzgehalte, Trockenheit, Nährstoffmangel), verändertem Wachstumsverhalten und industriell oder pharmazeutisch nutzbaren Inhaltstoffen (BRANDT 1995, KJELLSSON & STRANDBERG 2001, SAUTER & MEYER 2000). Neben landwirtschaftlich bedeutenden Kulturpflanzen werden zunehmend auch Arten gentechnisch verändert, die in naturnahen Landschaften weit verbreitet sind. Hierzu gehören z.B. Futtergräser und Bäume (FLADUNG et al. 1999, UMWELTBUNDESAMT 1999a).

Mögliche ökologische Folgen des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen sind bisher weitgehend unbekannt (SAUTER & MEYER 2000, SRU 1998, UMWELTBUNDESAMT 2001a). Das Wissen über Folgewirkungen stammt im Wesentlichen aus Labor-, Gewächshaus- oder freisetzungsbegleitenden Untersuchungen. Zu erwarten sind zusätzliche und neuartige Wirkungszusammenhänge, die ökologische und evolutionäre Prozesse beeinflussen und im Rahmen von Laborexperimenten sowie zeitlich und räumlich begrenzten Freilandexperimenten nicht untersuchbar und daher prospektiv auch nicht erkennbar sind (BRECKLING & ZÜGHART 2001, SRU 1998).

**Umweltwirkungen transgener Pflanzen können große Skalenbereiche umfassen.**

Bei einem Anbau transgener Kulturpflanzen können mögliche Umwelteffekte auf vielfältigen systemaren Organisationsebenen (und auf unterschiedlichen trophischen Stufen) wirksam werden:

- auf der Ebene molekularer und physiologischer Prozesse  
z.B.
  - Veränderungen des pflanzlichen Stoffwechsels über Positions- oder Pleiotropieeffekte
  - Transformations- oder Rekombinationsereignisse zwischen Pflanzenzellen und Mikroorganismen
- auf der Ebene des Individuums  
z.B.
  - Veränderungen individueller Merkmale und Eigenschaften der Pflanze
  - Hybridisierungsereignisse
- auf der Ebene der Population  
z.B.
  - Vermehrungs- und Ausbreitungsprozesse rekombinanter Pflanzen
  - Resistenzentwicklungen
- auf der Ebene des Ökosystems  
z.B.
  - Nahrungsketteneffekte (Räuber-Beute Prozesse)
  - Wirkungen auf den Stoffhaushalt
  - Wirkungen auf das Artenspektrum
- auf der Ebene der Landschaft  
z.B.
  - Merkmale der Landschaftsausstattung
  - Veränderungen des Landschaftsbildes

Dabei lassen sich mögliche Umweltfolgen häufig nicht nur einer der genannten Organisationsstufen zuordnen, sondern stehen mit vielen ökologischen Integrationsebenen in Beziehung. Hierzu gehören z.B. Auswirkungen auf die biologische Vielfalt (Biodiversität), die die drei Ebenen genetische Vielfalt, Artenvielfalt und Vielfalt der Ökosysteme umfasst.

**Umwelteffekte transgener Pflanzen können in langen Zeithorizonten wirksam werden.** Gentechnisch veränderte Kulturpflanzen sowie durch vertikalen oder horizontalen Gentransfer entstandene transgene Organismen besitzen in der Regel die Fähigkeit zur Selbstvermehrung. Werden Fremdgene durch den Anbau transgener Pflanzen in die Umwelt eingebracht, sind sie demnach nicht mehr rückholbar und können langfristig wirksam sein. Beobachtungen an Neophyten haben gezeigt, dass lange Zeiträume,

teilweise über 100 Jahre, vergehen können, bis eingeführte Pflanzen plötzlich zur Ausbreitung gelangen bzw. unerwartete Auswirkungen sichtbar werden (KOWARIK & SUKOPP 1986). Übertragen auf das Inverkehrbringen transgener Pflanzen bedeutet dies, dass Umweltwirkungen möglicherweise erst nach langen Zeiträumen eintreten können und nicht abschätzbar sind. Verbleibt ein Genkonstrukt im Genom der jeweiligen Populationen, führt dies zu Veränderungen im Genreservoir und kann auf evolutionäre Prozesse wie z.B. Anpassungsprozesse Einfluss nehmen.

**Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen können in großen Raumbezügen wirksam werden.** Fremdgenkonstrukte können sich durch Verwilderungsereignisse, Auskreuzung und horizontalen Gentransfer in der Umwelt ausbreiten. Pollen werden mit dem Wind über große Entfernungen verfrachtet. Der Verbleib und die Persistenz von Fremdgenkonstrukten in der Umwelt ist heute weitgehend unbekannt. Damit ist der Raum, in dem Fremdgensequenzen bzw. transgene Organismen zur Wirkung kommen können, langfristig weder vorhersagbar noch eingrenzbar.

**Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen können seltene Ereignisse zu Grunde liegen.** Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen können sehr seltene und damit schwer erfassbare Ereignisse zu Grunde liegen, die sich erst langfristig bemerkbar machen. So sind z.B. Rekombinations- und Transformationsereignisse zwischen Pflanzen und Mikroorganismen im Freiland nach derzeitigem Kenntnisstand nur selten zu erwarten und daher, wenn überhaupt, nur mit großem Aufwand nachzuweisen. Bemerkbar werden rekombinante Mikroorganismen erst, wenn sie stabile Populationen ausgebildet haben, sich vermehren und Veränderungen bewirken. Aufgrund der hohen Anzahl potenziell möglicher Kombinationen sind die Eigenschaften entsprechender Populationen nicht vollständig im Vorhinein überprüfbar.

## **2.3 Anforderungen an ein Monitoring nach Inverkehrbringen**

Ein Monitoring nach Inverkehrbringen im Sinne der Richtlinie 2001/18/EG wird als zusätzliche und dritte Stufe in der Sicherheitsbewertung gentechnisch veränderter Organismen eingerichtet. Im Gegensatz zur experimentellen und freisetzungsbegleitenden Sicherheitsforschung, die grundsätzlich vor Entscheidungen zur Marktzulassung durchzuführen sind, kommt ein Monitoring nach dem Inverkehrbringen von transgenen Kulturpflanzen zum Einsatz. Die drei Stufen der Risikoabschätzung müssen in ihrer Definition und inhaltlichen Gestaltung klar voneinander abgegrenzt werden. Das Konzept des schrittweisen Vorgehens (step by step) erfüllt nur dann seine Funktion, wenn in jeder Stufe des Zulassungsverfahrens das gegebene Spektrum der Untersuchungsmöglichkeiten voll ausgeschöpft wird. Es dürfen keine Fragestellungen aus der freisetzungsbegleitenden Sicherheitsforschung auf das Monitoring verschoben werden. Die Aufgabe des Monitoring nach Marktzulassung liegt insbesondere darin, diejenigen Wirkungen zu



erfassen, die vor Inverkehrbringen aufgrund ihrer Beschaffenheit und ihres Zusammenhangs nicht testbar sind. Dies betrifft u.a. Effekte, die das komplexe Zusammenwirken der Gegebenheiten im Agrarraum und der weiteren Umwelt betreffen, Effekte die sich erst in langen Zeiträumen ausprägen, die seltene Ereignisse zur Grundlage haben oder große Skalenbereiche umfassen (BRECKLING & ZÜGHART 2001).

Gleichzeitig erfordert die Einbeziehung neu gewonnener Erkenntnisse zu möglichen Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen eine enge Rückkoppelung zwischen den Bewertungsverfahren und eine hohe Flexibilität in den Anforderungen an die Risikoermittlung jeder einzelnen Zulassungsstufe. Um dem Vorsorgeprinzip gerecht zu werden, muss der Untersuchungsumfang unmittelbar dem sich weiter entwickelnden Stand der Wissenschaft angepasst werden. An das Monitoring wird damit der Anspruch einer Fortschreibbarkeit gestellt. Ergeben sich neue, bisher nicht untersuchte Fragestellungen, sollten diese in begleitenden Forschungsvorhaben parallel bearbeitet werden.

Ein Monitoring nach Inverkehrbringen hat die Aufgabe sowohl direkte und indirekte, unmittelbare und spätere als auch unvorhergesehene Umweltwirkungen erkennbar zu machen und zu dokumentieren. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist die Erfassung der Ausbreitung und des Verbleibs von Transgenen und rekombinanten Organismen in der Umwelt. Dabei ist die Gesamtheit aller übertragenen Gensequenzen, also neben dem Zielgen auch regulatorische Sequenzen und Markergene, zu berücksichtigen. Da insbesondere unerwartete Wirkungen nicht gezielt beobachtet werden können, ist es sinnvoll auf der Grundlage des derzeitigen Wissens Wirkungshypothesen zu formulieren und im Rahmen des Monitoring zu überprüfen. Das Monitoring ist so anzulegen, dass möglichst alle potenziell betroffenen ökologischen Integrationsebenen und trophischen Stufen berücksichtigt werden. Die Möglichkeit der Ausbreitung der Transgene in der Umwelt und die Einbeziehung von Nahrungsketteneffekten erfordern eine entsprechende räumliche Ausgedehntheit der Beobachtungen. Zum Bezugsraum des Monitoring gehören somit neben den eigentlichen Anbauflächen der transgenen Kulturpflanzen und deren Umgebung alle darüber hinaus potenziell betroffenen Lebensräume. Eine erste Auswahl ist auf der Grundlage des derzeitigen Wissensstandes zu Ausbreitung und Wirkungszusammenhängen vorzunehmen. Langfristig sind die Untersuchungsräume dem Kenntnisstand anzupassen, neue potenzielle Wirkorte und Wirkungszusammenhänge sind zu integrieren.

Das breite Spektrum möglicher Wirkungszusammenhänge erfordert ein ebenso breites Spektrum von Beobachtungsansätzen. Um eine ausreichende Qualität des Monitoring sicherzustellen, sind Kompetenzen aus verschiedensten fachlichen Disziplinen in die Durchführung der Beobachtungen und die Auswertung der erhobenen Daten einzubeziehen.

Um Langzeitwirkungen transgener Kulturpflanzen erkennen und dokumentieren zu können, müssen die Beobachtungen auch über den Genehmigungszeitraum von zehn Jahren hinaus durchgeführt werden. Gensequenzen bzw. rekombinante Organismen können auch nachdem die ursprüngliche transgene Kulturpflanze nicht mehr angebaut

wird, in der Umwelt erhalten und wirksam bleiben. Auswirkungen auf ökologische und evolutionäre Prozesse werden erst nach langen Zeiträumen erkennbar. Aufgrund der natürlichen ökologischen Schwankungsbreiten sind Effekte auf die Dichte von Populationen oft erst nach zehn bis zwanzig oder mehr Jahren definitiv bestimmbar.

Die Durchführung des Monitoring, das heißt Parameter, Methoden, Erhebungsintervalle und Erhebungsorte, müssen so standardisiert sein, dass die Datensätze miteinander vergleichbar sind und entsprechend zusammengeführt und ausgewertet werden können. Gleichzeitig sind bei der Konzeption lokale und regionale Unterschiede hinsichtlich der Umweltbedingungen und Anbaupraxis einzubeziehen.

Die Erhebung des Ist-Zustands (Baseline) sollte vor der Marktzulassung transgener Kulturpflanzen beginnen, um Referenzdaten, insbesondere hinsichtlich der Verbreitung von Fremdgenen in der Umwelt, vor einem Eintrag gentechnisch veränderter Organismen zu erhalten.

### 3. Fallbeispiele

Grundlage für die Auswahl der vier Fallbeispiele war eine vom Umweltbundesamt Berlin erstellte Prioritätenliste (UMWELTBUNDESAMT 2001a). Sie umfasst eine Zusammenstellung von Kulturpflanzen und transgenen Eigenschaften, die primär für ein Langzeitmonitoring zu berücksichtigen sind. Als Begründungshintergrund wird der Stand der Marktzulassung und das Potenzial für ökologische Wirkungen angeführt.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die Kulturpflanzen Raps (*Brassica napus ssp. oleifera*), Mais (*Zea mays*), Kartoffel (*Solanum tuberosum*) und Zuckerrübe (*Beta vulgaris ssp. vulgaris var. altissima*) ausgewählt und jeweils mit einer relevanten transgenen Eigenschaft kombiniert (Tab. 1). Über diese Auswahl soll modellhaft ein möglichst breites Spektrum an plausiblen Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen abgedeckt und bearbeitet werden. Die Biologie und landwirtschaftliche Bedeutung der Kulturpflanzen wurde bereits ausführlich in vorgehenden Arbeiten beschrieben (GERDEMANN-KNÖRCK & TEGEDER 1997, NEEMANN & SCHERWAß 1999, NEUROTH 1997, u.a.). Wir möchten an dieser Stelle darauf verweisen und im Folgenden kurz auf die ausgewählten transgenen Eigenschaften eingehen.

**Tab. 1:** Fallbeispiele

Kulturpflanze	Transgene Eigenschaft
Raps ( <i>Brassica napus ssp. oleifera</i> )	Herbizidresistenz
Mais ( <i>Zea mays</i> )	Insektenresistenz
Zuckerrübe ( <i>Beta vulgaris ssp. vulgaris var. altissima</i> )	Virusresistenz
Kartoffel ( <i>Solanum tuberosum</i> )	verändertes Kohlenhydratspektrum

#### Herbizidresistenter Raps

Da Herbizidresistenz monogenetisch übertragen werden kann, ist sie eine in der Sortenzüchtung häufig verwendete transgene Eigenschaft. Rapssorten mit Toleranzen gegen nicht-selektive Herbizide wurden EU-weit bereits mehrfach zugelassen (ROBERT KOCH INSTITUT, [www.rki.de](http://www.rki.de)). Am weitesten verbreitet sind Toleranzen gegen die Wirkstoffe Glufosinat und Glyphosat. Der Einsatz von sogenannten Herbizidresistenzsystemen, d.h. ein Anbau herbizidresistenter Sorten und die Verwendung des jeweiligen Komplementärherbizides, ermöglichen die Aufbringung der Breitbandherbizide über die gesamte Vegetationsperiode. Sie können auch im Nachauflauf appliziert werden, ohne dass die Kulturpflanze Schaden nimmt. Im Zentrum der weiteren Betrachtung stehen Rapslinien mit gentechnisch vermittelten Toleranzen gegen die Breitbandherbizide Glufosinat bzw. Glyphosat.

**Glufosinat (L-Phosphinothricin, Handelsname Basta bzw. Liberty)** Die für Pflanzen toxische Wirkung von Glufosinat beruht auf der Hemmung der Glutaminsynthetase, einem zentralen Enzym des Aminosäurestoffwechsels und der Ammoniumassimilation. Diese Inhibierung verursacht eine Anreicherung von Ammoniak im grünen Pflanzengewebe und führt zum Absterben der Pflanze. Eine Glufosinat-Toleranz wird durch die Insertion des *pat*-Gens aus Mikroorganismen der Gattung *Streptomyces* vermittelt. Es codiert eine Phosphinothricin-acetyl-Transferase (PAT), die die Acetylierung von Glufosinat katalysiert. Durch Acetylierung wird das L-Phosphinothricin in das Derivat N-Acetyl-Phosphinothricin überführt, das in der Pflanze nicht mehr wirksam ist.

**Glyphosat (N-(phosphonomethyl)-glycin, Handelsname Round-up)** Glyphosat wirkt in der Pflanze hemmend auf das Enzym 5-Enolpyruvylshikimi-3-Phosphat-Synthase (EPSPS). Die darauf folgende Anreicherung von Shikimat und das Ausbleiben der Bildung aromatischer Aminosäuren führt zum Absterben der Pflanze. Eine gentechnisch vermittelte Toleranz gegen Glyphosat wird durch die Übertragung eines Gens für das Enzym CP-4EPSPS aus dem Bodenbakterium *Agrobacterium tumefaciens* erreicht. Diese Synthase unterscheidet sich in ihrer Struktur von der pflanzlichen EPSPS und wird daher nicht durch Glyphosat gehemmt.

### **Insektenresistenter Mais**

Im Mittelpunkt dieses Fallbeispiels steht eine durch Insertion des B.t.-Toxin-Gens vermittelte Resistenz gegen den Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*). EU-weit haben bereits zwei Maislinien (Event 176, Mon 186) mit dieser transgenen Eigenschaft eine Inverkehrbringensgenehmigung für den Anbau erhalten (ROBERT KOCH INSTITUT, [www.rki.de](http://www.rki.de)). Natürlicherweise wird das Toxin bei der Sporulation des Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis* gebildet. Bei einer oralen Aufnahme des Proteins durch Maiszünslerlarven tritt eine schädigende Wirkung erst nach mehreren Umwandlungsprozessen im Verdauungstrakt auf. Dabei wird das höhermolekulare Protoxin gelöst und in ein niedermolekulares, die Darmwand schädigendes Endotoxin umgewandelt. Die in das Genom der Maispflanze integrierte bakterielle DNA-Sequenz wurde derart modifiziert, dass in jeder Zelle direkt das wirksame, niedermolekulare Toxin gebildet wird und die beschriebene proteolytische Umwandlung im Darm der Organismen entfällt.

### **Virusresistente Zuckerrüben**

Die hier betrachtete transgene Zuckerrübe ist resistent gegenüber dem Befall von BNYVV (beet necrotic yellow vein virus). Das Aderngilbfleckenvirus löst in der Zuckerrübe die Wurzelkrankheit Rizomania aus. Eine Resistenz gegen das Virus wird durch die Integration des BNYVV-Hüllproteingens in das Genom der Zuckerrübe erreicht. Obwohl es Freisetzungsversuche mit transgenen rizomaniaresistenten Zuckerrüben gibt (ROBERT KOCH INSTITUT, [www.rki.de](http://www.rki.de)), ist mit einem Antrag auf Inverkehrbringen nicht unmittelbar zu rechnen. Rizomania lässt sich bisher über den Anbau konventionell gezüchteter resistenter Sorten eindämmen. In diesem Vorhaben wurde die

rizomaniaresistente Zuckerrübe als Modell für eine mittels viraler Hüllproteingene virusresistente Kulturpflanze genutzt.

### **Kartoffel mit verändertem Kohlenhydratspektrum**

Eine Vielzahl von Kartoffellinien mit verändertem Kohlenhydratspektrum wurden bzw. werden in Freisetzungsversuchen getestet. Für eine Kartoffellinie liegt bereits ein Antrag auf Marktzulassung vor (ROBERT KOCH INSTITUT, [www.rki.de](http://www.rki.de)). Die gentechnische Veränderung des Kohlenhydratspektrums wird im Wesentlichen über zwei Wege erzielt:

- Über ein gentechnisch vermitteltes erhöhtes Expressionsniveau einzelner oder mehrerer Proteine des Kohlenhydrat- bzw. Phosphatstoffwechsels, z.B. Erhöhung des Anteils löslicher Kohlenhydrate durch die Übertragung eines Gens aus der Artischocke, das für die Saccharose-Fructosyltransferase codiert ([www.rki.de](http://www.rki.de)).
- Über ein gentechnisch vermitteltes vermindertes Expressionsniveau einzelner oder mehrerer Proteine, z.B. Herstellung amylosefreier Kartoffeln durch die Inhibierung des für das Enzym GBSS (granule bond starch synthase) codierenden Gens mittels Antisense-Technik (MINISTERIE VAN VOLKSHUISVESTING RUIMTELIJKE ORDERING EN MILIEUBEHEER, 2001).

Eine weitere hier nicht prioritär betrachtete Möglichkeit der Veränderung des Kohlenhydratspektrums der Kartoffel liegt in der gentechnisch vermittelten Expression von qualitativ neuen, bisher in der Kartoffel nicht enthaltenen Proteinen.

## 4. Ursache-Wirkungshypothesen

Die Gestaltung des Monitoring ist stark von den zu erwartenden Umweltwirkungen der transgenen Kulturpflanzen abhängig. In der ersten Phase des Forschungsvorhabens wurden daher mögliche Wirkungszusammenhänge der vier Fallbeispiele evaluiert und Ursache-Wirkungshypothesen formuliert (ZÜGHART et al. 2001). Folgende Arbeitsschritte wurden dazu durchgeführt:

- Recherche und Auswertung von Forschungsergebnissen zu den Wirkungen gentechnisch veränderter Organismen
- Ableitung möglicher Umweltwirkungen auf der Grundlage des Kenntnisstandes aus Ökologie und Ökosystemtheorie

Das ursprünglich sehr breite Spektrum an Wirkungshypothesen wurde dann in der zweiten Phase des Vorhabens unter Einbeziehung der Diskussionsergebnisse aus den in der Einleitung genannten Expertenworkshops (s.S. 3) nach folgenden Kriterien überprüft und verdichtet:

- Abschätzung der ökologischen Relevanz der Ursache-Wirkungshypothesen
- Plausibilität der Wirkungshypothesen für ein Monitoring nach Marktzulassung.

Im Folgenden werden die Ursache-Wirkungshypothesen zu den vier Fallbeispielen aufgeführt, die im Rahmen eines Monitoring nach Marktzulassung überprüft werden sollen. Einige der dabei zu berücksichtigenden Wirkungshypothesen sind im Rahmen des Monitoring für alle der zur Diskussion stehenden Konstrukte zu überprüfen. Diese sind als fallübergreifende Wirkungshypothesen vorangestellt. Damit die Herleitung nachvollziehbar und eine Fortschreibung möglich ist, werden die Hypothesen kurz erläutert und zugrundeliegende sowie weiterführende Literatur angegeben. Eine tabellarische Übersicht über die Hypothesen gibt dann Tab. 3 am Ende des Kapitels.

### 4.1 Fallübergreifende Wirkungshypothesen

#### **Ausbreitung und Persistenz inverkehrgebrachter Transgene in Umweltmedien**

*H1 Inverkehrgebrachte Transgene können sich in der Umwelt ausbreiten und zu unvorhergesehenen oder späteren Umweltwirkungen führen.*

Die Möglichkeit einer langen Persistenz rekombinanter DNA-Fragmente in der Umwelt, insbesondere in Mikroorganismen, und einer potenziell unkontrollierten Ausbreitung über große Entfernungen, birgt ein hohes Potenzial unvorhergesehener und räumlich sowie zeitlich nicht abschätzbarer Umweltwirkungen.

In das Genom transgener Kulturpflanzen integrierte rekombinante DNA-Fragmente werden mit dem Anbau derselben in die Umwelt eingebracht. Dies geschieht auf einem quantitativ erheblich höherem Niveau, als es der natürlichen Verbreitung der jeweiligen als Transgen verwendeten Sequenzen entspricht. Auf dem Acker liegen sie in unterschiedlich komplexem Verbund vor. Als nackte Nukleinsäuren (im Zuge von Zersetzungsprozessen), in Pflanzenzellen, in Pflanzengewebe, in Pflanzenteilen (z.B. Pollen, Samen, Stengel, Blätter) oder in der lebenden Pflanze.

Freigesetzt werden DNA-Sequenzen bei der Lyse von Zellen im Rahmen von Zersetzungsprozessen. Je isolierter die Nukleinsäuren sind, desto wahrscheinlicher und zügiger erfolgt ein enzymatischer Abbau der DNA-Fragmente. In aquatischen und terrestrischen Systemen können die DNA-Fragmente allerdings an Partikel assoziieren und sind dadurch über lange Zeiträume vor einer Degradation geschützt. Vielfältige Untersuchungen haben gezeigt, dass freie rekombinante DNA in Umweltmedien wie Boden oder Wasser über lange Zeit persistieren und ihre biologische Aktivität erhalten kann.

Die Aufnahme und Integration von Fremdgenkonstrukten durch Mikroorganismen (siehe auch Hypothese 4) spielt eine bedeutende Rolle hinsichtlich des Erhalts und der Verbreitung von transgenen DNA-Fragmenten in der Umwelt. Solange die Nukleinsäuren in biologisch aktivierbarer Form vorliegen, ist ein horizontaler Gentransfer prinzipiell möglich. Darüber hinaus können die Gensequenzen zwischen Mikroorganismen weitergegeben werden. Die Überlebensfähigkeit rekombinanter Mikroorganismen ist schwer abschätzbar und hängt u.a. von ihren physiologischen Eigenschaften und den jeweiligen Umweltbedingungen ab. Grundsätzlich ist eine dauerhafte Etablierung möglich.

Die Wege der Ausbreitung von Fremdgenkonstrukten in der Umwelt können sehr vielfältig sein. Ausgehend von der Anbaufläche der Kulturpflanze sind Wind- und Insektenverbreitung der Pollen oder Auswaschungen des Bodens durch Niederschläge denkbar. Sind sie ins Gewässer gelangt, können insbesondere rekombinante Mikroorganismen passiv über weite Entfernungen transportiert werden. Der Mensch trägt aktiv zur Ausbreitung der Fremdgenkonstrukte außerhalb der Anbaufläche z.B. durch Einträge in Abwässer, Ausbringung von Klärschlamm oder Kompost oder durch Transportverluste bei Saat und Ernte bei.

AARDEMA et al. (1983), ALVAREZ et al. (1996), BERGEMANN et al. (1994), ECKELKAMP et al. (1997a, 1998), ERNST et al. (1996a,b), GROSS et al. (1994), LORENZ & WACKERNAGEL (1994), PAGET & SIMONET (1994), SMALLA (1995), SMALLA et al. (2000), WACKERNAGEL et al. (1992)

### **Positions- und Pleiotropieeffekte**

*H2      Transgene können im Genom der Pflanzen über Positions- und Pleiotropieeffekte physiologische, morphologische und phänologische Veränderungen aus-*

*lösen und darüber Modifikationen des Stoffwechsels, des Lebenszyklus und des ökologischen Verhaltens bewirken.*

*H3 Veränderungen der Pflanzen durch Positions- und Pleiotropieeffekte können sich auf die Artenvielfalt und Abundanz von Fauna und Flora, einschließlich der Bodenzoenose auswirken.*

Die Funktion einzelner Gene und die Zusammenhänge und Wechselwirkungen im Genom sind sehr komplex und bisher zum großen Teil noch unbekannt. Es hat sich gezeigt, dass die Insertion identischer Genkonstrukte in verschiedenen Organismen zu unterschiedlichen Eigenschaftsveränderungen führen kann. Begründet wird diese Beobachtung u.a. mit dem Auftreten sogenannter Positions- und Pleiotropieeffekte. Gene sind nach heutigem Kenntnisstand häufig nicht nur an der Ausprägung eines, sondern mehrerer Merkmale oder Eigenschaften beteiligt (Pleiotropie). Wird ein Transgen in ein neues Umfeld eingebracht, kann dies neben der erwünschten Merkmalsveränderung gleichzeitig zu unvorhergesehenen Veränderungen anderer Merkmale führen. Auch der Insertionsort des Transgens im Genom hat einen bedeutenden Einfluss auf die Aktivität desselben und der benachbarten Gene. Wird ein neues Konstrukt beispielsweise in ein anderes Gen eingefügt, so kann dieses dadurch seine Funktionsfähigkeit verlieren. Über diesen sogenannten Positionseffekt kann es also auch zu unvorhergesehenen Merkmalsveränderungen kommen. Positions- und Pleiotropieeffekte wurden bei gentechnisch veränderten Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen beobachtet.

Während der Sortenentwicklung transgener Kulturpflanzen werden Pflanzen mit unerwünschten Merkmalen aussortiert. Dies schließt jedoch das Auftreten neuer, bisher unbemerkter oder zunächst als unbedeutend eingeschätzter Veränderungen nicht aus. Über Auskreuzungsereignisse können diese unvorhergesehenen Merkmalsveränderungen auch in das Genom der Kreuzungspartner übertragen werden.

An transgenen Kulturpflanzen wurden bereits unerwünschte Merkmale wie veränderte Samenproduktion, Erhöhung des Anteils der Fremdbestäubung, veränderte Blütenfarbe, herabgesetzte Fruchtbarkeit, gesteigertes Blatt- und Triebwachstum, erhöhte Lignifizierung, Kapseldeformationen, erhöhte Rate induzierbarer Samenruhe oder veränderte Stressreaktionen beobachtet. Diese Merkmalsveränderungen können Veränderungen in der ökologischen Konstitution und dem Lebenszyklus der Pflanzen bewirken und Einfluss auf die Wechselwirkungen zwischen der Pflanze und ihrer direkten und indirekten Umwelt nehmen. Denkbar sind z.B. eine erhöhte Invasivität der Pflanzen, Auswirkungen auf das Phytophagen- und Phytopathogenspektrum oder auf die Bodenmikroflora.

BECKER et al. (1998, 2000), BERGELSON et al. (1996), CASLER et al. (2002), COGHLAN (1999), DONEGAN et al. (1995), FLADUNG et al. (1997,1999), GERTZ et al. (1999), HAGEDORN (1997), LABES et al. (1999), LAPPE et al. (1999), LINDER (1998), MEYER et al. (1992), VENCILL (1999)



**Horizontaler Gentransfer**

- H4 Bei einem Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen gelangt das Transgen als freie DNA in den Boden und kann dort von Bodenbakterien in ihr Genom integriert werden.*
- H5 Die Integration und Expression rekombinanter Gene in Mikroorganismen des Bodens kann Effekte auf die Artenvielfalt und Abundanz der Mikroorganismen im Boden haben und sich auf die Bodenfunktion auswirken.*

Als horizontaler Gentransfer wird die asexuelle Übertragung von Genen zwischen verschiedenen Organismen bezeichnet. Beispiele sind der Gentransfer aus Pflanzenmaterial auf Bakterien des Magen-Darm-Traktes in Mensch und Tier während der Verdauung oder der Gentransfer aus Pflanzenmaterial auf Bakterien im Boden während der Zersetzung.

Der wahrscheinlichste Mechanismus für diesen Transfer ist die Transformation, d.h. die Aufnahme freier DNA aus der Umgebung des Bakteriums. Letztere werden aus lysierten Pflanzenzellen z.B. in den Boden abgegeben (nach dem Absterben von Pflanzenteilen oder während des Wachstums abgestoßene Wurzelzellen).

Freie DNA-Fragmente können durch Adsorption an Bodenpartikel, insbesondere Tonmineralien, über lange Zeiträume im Boden persistieren und ihre biologisch funktionale Sequenz behalten (siehe auch Hypothese 1). Insgesamt wurde für 40 Bakterienarten des terrestrischen und aquatischen Bereiches die Fähigkeit der Transformation nachgewiesen. Einigen ist auch die Aufnahme assoziierter Nukleinsäuren möglich.

Haben Bakterien ein Transgen in ihr Genom stabil integriert, können sie es innerhalb der Art, aber auch über Artgrenzen hinweg, an andere Mikroorganismen weitergeben. Neben der Transformation kommen hier die Mechanismen Transduktion und Konjugation vor.

Horizontaler Gentransfer von gentechnisch veränderten Pflanzen auf Mikroorganismen, insbesondere Bakterien des Bodens, wurde in begrenztem Umfang untersucht. Freilanduntersuchungen, Versuche mit Mikrokosmen und Laborexperimente konnten dabei nur in sehr wenigen Fällen einen Gentransfer dokumentieren. Es zeigte sich jedoch, dass das Vorhandensein homologer Gensequenzen im Genom der Pflanze einen horizontalen Gentransfer fördert. Bakterielle Genabschnitte werden vielfach als Regulatorsequenzen verwendet, wodurch das Pflanzengenom von GVP solche homologen Sequenzen aufweist.

Ein horizontaler Gentransfer auf Bodenmikroorganismen wird als sehr selten eintreten des Ereignis eingeschätzt. Voraussetzung dafür, dass rekombinante Bakterien umweltrelevant werden können, ist zum einen die Ausbildung von stabilen Populationen und zum anderen der Besitz einer neuen Eigenschaft durch die Expression des Transgens. Sobald sich Umweltbedingungen zugunsten dieser neuen Eigenschaft verändern, erfahren sie

einen Selektionsvorteil, der zu großen Dominanzverschiebungen innerhalb der Mikroorganismenpopulationen führen kann. Eine Folge dieser Verschiebungen können u.a. Veränderungen der Bodenfunktionen sein.

BECKER et al. (1994), BROER et al. (1996), ECKELKAMP et al. (1997a, 1998), GEBHARD & SMALLA (1998, 1999), KENNEDY & SMITH (1995), LABES et al. (1999), MITTEN et al. (1996), NIELSEN et al. (1997, 1998), SCHLÜTER et al. (1995), PAGET & SIMONET (1994), SMALLA (1995), SMALLA et al. (2000), TREVORS et al. (1994), WACKERNAGEL & LORENZ (1994)

*H6 Die Integration viraler und bakterieller Gensequenzen in das Genom der Pflanze führen zu Wechselwirkungen zwischen der transgenen Pflanze und Mikroorganismen mit homologen Genabschnitten.*

Neben dem eigentlichen Zielgen und einem Markergen werden bei der Transformation verschiedene Gensequenzen mit regulatorischen Funktionen in das Genom der Pflanze integriert. Regulatorgene sind vielfach bakteriellen oder viralen Ursprungs. Da sie homolog in rezenten Mikroorganismen vorkommen, tragen sie ein hohes Potenzial für Wechselwirkungen mit entsprechenden Organismen. Welcher Art diese Wechselwirkungen sein können und zu welchen Umweltwirkungen sie bei einem großflächigen Anbau führen, ist heute weitgehend unbekannt und nicht abschätzbar. Möglich ist z.B. die Entstehung neuer Phytopathogene durch horizontalen Gentransfer oder Rekombinationsereignisse.

Ein viel diskutiertes Beispiel für die Verwendung viraler Gensequenzen und möglichen Folgen ist der 35S-Promoter aus dem Cauliflower Mosaik Virus (CaMV). Wirtspflanzen dieses Virus sind ausschließlich Brassicaceen. Der 35S-Promoter ist jedoch universal einsetzbar und findet sich in Kombination mit verschiedensten Zielgenen in einem breiten Spektrum unterschiedlicher transgener Kulturpflanzen.

Wechselwirkungen zwischen transgenen Pflanzen mit dem 35S-Promoter im Genom und Viren mit homologen Gensequenzen wurden inzwischen nachgewiesen. Ein Befall von herbizidresistentem Raps durch CaMV hatte Auswirkungen auf die Expression des Herbizidresistenzgens, es trat ein sogenanntes gene silencing ein. Die zelluläre Reaktion auf das Eindringen des Virus führt dazu, daß auch das Transgen, welches dem viralen Promotor nachgestellt ist, blockiert wird. Dadurch wird das Genprodukt, welches die Eigenschaft der Herbizidresistenz verleiht, nicht mehr gebildet. In den USA wurden an transgenem Mais neue, bisher unbekannte Viren entdeckt, deren Entstehung vermutlich auf Rekombinationsereignisse zurückzuführen ist, bei denen der CaMV-Promoter eine zentrale Rolle spielt.

AL-KAFF et al. (2000), BRINKER (1999), HO et al. (1999, 2000a, b), KOHLI et al. (1999), LOUIE et al. (2000), [www.psrast.org/cornvir.htm](http://www.psrast.org/cornvir.htm), OHIO STATE UNIVERSITY: ([http://ohioline.osu.edu/news/11\\_00/11-21\\_02.html](http://ohioline.osu.edu/news/11_00/11-21_02.html))

**Transgen-Akkumulation, Kombinations- und Synergieeffekte**

- H7 Bei einem Anbau verschiedener Linien der gleichen Kulturart mit verschiedenen Transgenen, kann es zu einer Akkumulation von Fremdgenkonstrukten im Genom potentieller Kreuzungspartner kommen.*
- H8 Bei einem Anbau gleicher Kulturarten mit unterschiedlichen Transgenen oder verschiedenen Kulturarten mit gleichen Fremdgenkonstrukten sind Synergien und Kombinationseffekte denkbar.*

Über Auskreuzung können rekombinante Gensequenzen von der transgenen Kulturpflanze in das Genom potenzieller Kreuzungspartner (verwilderte Kulturpflanzen, Durchwuchspflanzen, Ackerbegleitarten, Wildpflanzen) gelangen. Werden über einen längeren Zeitraum Sorten der gleichen Kulturart mit verschiedenen transgenen Eigenschaften angebaut, kann es zu einer Akkumulation verschiedener Transgene in dem Genom von Kreuzungspartnern kommen. Beobachtet wurde dieses Ereignis bereits in Nordamerika. Der Anbau verschiedener herbizidresistenter Rapskulturen (Glyphosat, Glufosinat und Imazethapyr) führte zu der Entstehung von dreifachresistentem Durchwuchsraps. Das Auftreten mehrfachresistenter Durchwuchs- und Ackerbegleitarten wird sich auf die Anbaupraxis auswirken. Neben zusätzlichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen ist eine vermehrte Ausbringung von zusätzlichen Spritzmitteln bzw. von Kombinationspräparaten mit mehreren herbiziden Wirkstoffen zu erwarten. Es ist zu erwarten, dass verschiedene Anbieter Resistenzen gegen ihre jeweiligen Herbizide implementieren. Durch Pollenverdriftung zwischen den Feldern kann es dann zu Einkreuzungen unterschiedlicher Resistenzen in die Bestände kommen. Bei Saatgutverlusten resultiert dann in Folgejahren Durchwuchs mit verschiedenen Resistenzen. Dieser würde eine Anpassung des Anbaumanagements erfordern.

Denkbar und zu erwarten ist eine Akkumulation und Neukombination aller in eine Kulturpflanzenart eingebrachter Transgene in potenziellen Kreuzungspartnern. Dabei kann es sich um unterschiedliche rekombinante Eigenschaften und Merkmale handeln. Dies können Kombinationen aus Herbizidresistenz, Insektengiftigkeit oder veränderte Inhaltstoffe sein, ebenso unterschiedliche Wirkungsmechanismen zur Erzielung der gleichen transgenen Eigenschaft (unterschiedliche Herbizidresistenzgene, an unterschiedlichen Stellen des Genoms eingefügt). Welche Wechselwirkungen dadurch innerhalb der jeweiligen Pflanze ausgelöst werden und welche Umweltwirkungen damit verbunden sein können, ist bisher nicht abschätzbar und muß daher im Rahmen des Monitoring überwacht werden. Bei einem großflächigen Anbau transgener Kulturpflanzen ist es durchaus wahrscheinlich, dass gentechnisch veränderte Kulturpflanzen und ihre jeweiligen Umwelteffekte räumlich aufeinandertreffen. Hier sind Synergie- und Kombinationseffekte zu erwarten. Auch diese sind derzeit nicht abschätzbar.

BAIER et al. (2001), HALL et al. (2000), ORSON (2002), SIMPSON et al. (1999), THOMPSON et al. (1999)

## Biodiversität

*H9 Der großflächige Anbau transgener Kulturpflanzen kann zu einer Verminderung bzw. Veränderung der Biodiversität von Flora und Fauna im Agrarraum führen.*

Der Anbau von herbizidresistentem Raps, insektenresistentem Mais, virusresistenten Zuckerrüben und von Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum ist mit vielfältigen Umweltwirkungen verbunden, die sich auf die Artenvielfalt und Abundanz von Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen auswirken (Kapitel 4.2-4.5). Betroffen sind u.a. Bodenzoenosen, Ackerbegleit- und Wildflora, Phytophagenzönosen und deren Antagonisten, bis hin zu Arten von Nahrungskettenendstufen. Zusammenfassend ist mit einem großflächigen Anbau der genannten Kulturpflanzen eine Reduzierung bzw. eine Veränderung der Diversität im Agrarraum verbunden.

BOHN & BENZLER (2001), KJELLSSON & STRANDBERG (2001), NEEMANN & SCHERWAB (1999), SAUTER & MEYER (2000), UMWELTBUNDESAMT (2001a)

*H10 Der Anbau transgener Kulturpflanzen kann eine großräumige Veränderung der Anbaupraxis bewirken und damit Auswirkungen auf die Biodiversität im Agrarraum haben.*

Die im einzelnen für jedes Fallbeispiel beschriebenen möglichen Veränderungen der Anbaupraxis (z.B. H25/H26) können großräumig von erheblicher Relevanz für die Zusammensetzung der Agrarbiozönosen sein. Faktoren wie Bodenbearbeitung, Pestizideinsatz, Einsaatzeitpunkte sind von großem Einfluss auf das Artenspektrum des Agrarstandortes. Werden durch den Anbau transgener Kulturpflanzen großräumig neue und weitgehend ähnliche Bearbeitungsmethoden eingesetzt, kann dies weiträumig zu grundlegenden Veränderungen der Biodiversität von Flora und Fauna im Agrarraum führen.

BOHN & BENZLER (2001), KJELLSSON & STRANDBERG (2001), NEEMANN & SCHERWAB (1999), SAUTER & MEYER (2000), SCHULTE & KÄPELI (2000), UMWELTBUNDESAMT (2001a)

*H11 Der großflächige Anbau transgener Kulturpflanzen kann zu einer Verschiebung von Anbauschwerpunkten und zu veränderten Landnutzungen führen und Auswirkungen auf die Lebensraumvielfalt und Biodiversität der Landschaft haben.*

Neue transgene Eigenschaften in Kulturpflanzen wie die Resistenz gegen Schädlinge oder veränderte Toleranz gegenüber Trockenheit oder Bodenversalzung können die Voraussetzungen für den Anbau grundlegend ändern. Bisherige limitierende Faktoren, wie Ansprüche der Pflanzen an bestimmte Bodeneigenschaften oder Klimabedingungen können aufgehoben werden oder nicht mehr relevant sein und zu Verschiebungen bzw. Erweiterungen bisheriger Anbauschwerpunkte führen. Flächen, deren Kultivierung

bisher unwirtschaftlich war, können sich im Zuge der neuen Anbaumöglichkeiten zu intensiv genutztem Agrarland wandeln. Insgesamt ist bei einer Einführung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen mit einer Verarmung der Kulturpflanzenvielfalt und einer Förderung der Intensivlandwirtschaft zu rechnen. Kleinstrukturen und Grenzertragsflächen, die ein wichtiges Refugium für viele Arten des Agrarraumes darstellen, sind noch stärker als bisher von der Vernichtung bedroht.

BOHN & BENZLER (2001), KJELLSSON & STRANDBERG (2001), NEEMANN & SCHERWAB (1999), SAUTER & MEYER (2000), UMWELTBUNDESAMT (2001a)

## 4.2 Herbizidresistenter Raps

### Ausbreitungs- und Verwildерungspotential der Kulturpflanze

*H12 Die Samen herbizidresistenten Kulturrapses werden durch Menschen und Tiere außerhalb der Anbaufläche, oft über weite Entfernungen, verbreitet.*

Tiere und Menschen tragen oft unbeabsichtigt zur Verbreitung von Raps außerhalb der Anbaufläche bei. Insbesondere bei der Ernte von Raps kommt es häufig zu Transportverlusten. Transportverluste treten u.a. entlang von Straßen, Wegen und Eisenbahnlinien sowie an Umschlagplätzen häufig auf. Rapssamen werden auch mit Bodenaushub verbreitet. An frischen Grünpflanzungen und auf Baumscheiben können Rapspflanzen aus der Samenbank auflaufen. Eine Tierverbreitung erfolgt epi- oder endochor. Die Samen sind nach einer Darmpassage vielfach noch keimfähig.

CRAWLEY & BROWN (1995), MÄNNER (2000), MENZEL & MATHES (1999), SEBALD & SEYBOLD (1982)

*H13 Herbizidresistenter Kulturraps kann verwildern und außerhalb der Anbaufläche ausdauernde Populationen ausbilden.*

Raps stammt ursprünglich aus Südwesteuropa und ist an unsere mitteleuropäischen Klimabedingungen gut angepasst. Hinsichtlich des Reproduktionspotenzials, des Wachstumsverhaltens und der Keimungsökologie besitzt Raps ähnliche Eigenschaften wie ein Ackerwildkraut. Rapssamen können aufgrund einer sekundären Dormanz bis zu 15 Jahre keimfähig im Boden überdauern.

Die Möglichkeiten einer Verwildерung von Raps und der Entwicklung ausdauernder Populationen außerhalb von Kulturflächen werden für den mitteleuropäischen Raum unterschiedlich eingeschätzt. Oft wird von einem ephemeren Charakter der Population ausgegangen. Beständigere Populationen, beispielsweise entlang von Straßen oder Eisenbahnlinien, werden häufig durch eine stete Zufuhr an Samen aus Transportverlusten erklärt. Langjährige Beobachtungen deuten jedoch darauf hin, dass Rapspopulatio-

nen gestörter Standorte sich eigenständig vermehren und persistieren können. In natur-nahen Biotopen wird Raps dagegen als wenig konkurrenzfähig beurteilt.

ADOLPHI (1995), CRAWLEY et al. (1993, 2001), GERDEMANN-KNÖRCK & TEGEDER (1997), PASCHER et al. (2000), PESSEL et al. (2001), SCHLINK (1994)

*H14 In Nachfolgekulturen von herbizidresistentem Raps kann herbizidresistenter Durchwuchsraps auftreten.*

Als Ausfallraps oder durch Druschverluste bei der Ernte bleiben auf Rapsfeldern pro Hektar zwischen 20 und 700 kg (im Schnitt 200 – 300 kg) Samen liegen. Entwickeln nur 10 % eine sekundäre Dormanz, befindet sich mehr keimfähiger Raps auf dem Feld, als bei einer gewöhnlichen Aussaat ausgebracht würde. Optimale Aussaatmengen liegen bei 60 bis 90 Samen pro m<sup>2</sup> bei einem Tausendkorngewicht von ca. 5g. Die auf dem Feld verbleibenden Samen können im folgenden Jahr als Durchwuchsraps auflaufen. In Norddeutschland ist ein Durchwuchs von 400 Pflanzen/m<sup>2</sup> nicht ungewöhnlich.

CHAMPOLIVIER et al. (1999), FISCHBECK (1998), GERDEMANN-KNÖRCK & TEGEDER (1997), HALL et al.(2000), JØRGENSEN (1999), LUTMAN (1993), MÄNNER (2000), NORRIS et al. (1999), PASCHER et al. (2000) PEKRUN et al. (1998a,b,c), SCHÜTTE et al. (2001)

## **Pollenausbreitung**

*H15 Der Pollen herbizidresistenten Rapses kann durch Wind und/oder Insekten über die Anbaufläche hinaus verbreitet werden.*

Die Ausbreitung von Pollen durch Wind und Insekten wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Sie ist abhängig von der Feldgröße, der Lage der Anbaufläche, der Windrichtung und –geschwindigkeit, den Wetterbedingungen, der Pollenmenge und der jahreszeitlich wechselnden Bestäuberdichte, -aktivität und -vielfalt. Außerdem sind Eigenschaften der Pollen, wie Pollengröße, Oberflächenbeschaffenheit und Pollengewicht von Bedeutung.

Untersuchungen zur Windverbreitung von Rapspollen ergaben Entfernungen von bis zu 4 km, wobei die Dichte der Pollen mit zunehmender Distanz zur Quelle abnahm. Darüber hinaus können Pollen in höhere Luftschichten verfrachtet werden. Bei Windgeschwindigkeiten von über 10 m/s ist theoretisch binnen 24 Stunden ein Transport über mehr als 800 km möglich. Die Lebensdauer von Rapspollen kann bis zu einer Woche betragen.

Eine Vielzahl blütenbesuchender Insekten sind an der Verbreitung von Rapspollen beteiligt. Sie legen z.T. große Entfernungen zurück. Solitärbienen haben Sammelradien von bis zu 800 m, Hummeln sogar bis zu 4 km. Bienen legen während ihrer Nahrungssuche durchschnittlich Entfernungen von 2 km zurück, es wurden aber auch Entfernungen bis zu 5 km dokumentiert. Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) haben einen Bewegungsradius von mindestens 800 m.

EASTHAM & SWEET (2002), MENZEL & MATHES (1999), PELLMANN et al. (1998), RAMSAY et al. (1999), RAYBOULD & GRAY (1993), SQUIRE et al. (1999), THOMPSON et al. (1999), TREU & EMBERLIN (2000), ULRICH et al. (1998)

### Auskreuzung und Ausbreitung der Fremdgenkonstrukte

*H16 Infolge Einkreuzung können in nicht-transgenen Rapskulturen, verwilderten Rapsbeständen und Durchwuchsrapss herbizidresistente Rapssamen reifen.*

*Brassica napus* gilt als selbstfertil. Die Fremdbefruchtungsrate erweist sich als sehr variabel und wird mit 2-90 % bzw. durchschnittlich mit 20-30 % angegeben. Sie ist stark von der Witterung abhängig und auch von Linie zu Linie unterschiedlich ausgeprägt. Durch wind- und insektenverbreitete Pollen kann eine Auskreuzung in Rapskulturen, Durchwuchsrapss und verwilderte Rapsbestände erfolgen.

Transgener Durchwuchsrapss in Folgekulturen und transgene verwilderte Rapsbestände erweitern den Ausbreitungsradius von Rapspollen und damit das Potenzial für mögliche Auskreuzungsereignisse. Ein besonders hohes Einkreuzungspotential besteht beim Auftreten von herbizidresistentem Durchwuchsrapss aus dem Rapsanbau früherer Jahre in Feldern mit frisch ausgesätem Raps, da in diesem Fall die Kreuzungspartner in unmittelbarer Nachbarschaft zueinander stehen.

BECKER et al. (1992), EASTHAM & SWEET (2002), FELDMANN (2000), FISCHBECK (1998), FÖRSTER et al. (1998), GERDEMANN-KNÖRCK & TEGEDER (1997), HOMMEL & PALLUTT (2000), NEEMANN & SCHERWAB (1999), NORRIS et al. (1999), PELLMANN et al. (1998), PFEILSTETTER et al. (2000), RÖVER et al. (2000), SCHEFFLER et al. (1993), THOMPSON et al. (1999), TIMMONS et al. (1995), TREU & EMBERLIN (2000)

*H17 Durch Auskreuzung zwischen herbizidresistentem Raps und verwandten Kultur- und Wildpflanzen können herbizidresistente Hybride entstehen.*

Kreuzungsexperimente belegen, dass ein von Raps ausgehender vertikaler Genfluss stattfinden kann. Potentielle Hybridisierungspartner von *Brassica napus* finden sich nicht nur in der Gattung *Brassica* sondern auch in der weiteren Familie der Kreuzblütler (Brassicaceae). Dabei handelt es sich um Arten der Wildflora und um landwirtschaftlich genutzte Kulturarten, die großteils auch ruderal vorkommen. Viele von ihnen sind zusätzlich Bestandteil der Ackerbegleitflora (z.B. *Brassica rapa*, *Raphanus raphanistrum*, *Sinapis alba* oder *Sinapis arvensis*). Einige Arten, für die eine Hybridisierung durch sexuelle Kreuzung unter Freilandbedingungen nachgewiesen bzw. im Experiment untersucht oder diskutiert wurde, sind in Tab. 2 aufgeführt. Lebensfähige und fertile Hybride entstanden u.a. bei Auskreuzungen von Raps mit den Arten *Brassica oleracea*, *Brassica rapa*, *Brassica nigra*, *Hirschfeldia incana*, *Raphanus raphanistrum*.

Bedeutend für die Wahrscheinlichkeit einer Hybridisierung im Freiland ist neben dem Fremdbestäubungsanteil der potentiellen Kreuzungspartner eine Überschneidung des

Blühzeitraumes. Verwilderte Rapsbestände konnten während der gesamten Vegetationsperiode in blühendem Zustand beobachtet werden.

Eine Auskreuzung des Resistenzmerkmals ausgehend von hybriden Wildkräutern zurück in Rapsbestände ist ebenso möglich.

**Tab. 2:** Arten, die als potenzielle Kreuzungspartner von Raps diskutiert werden

<i>Brassica rapa</i>	Rübsen
<i>Brassica juncea</i>	Sareptasenf
<i>Brassica oleracea</i>	Gemüse-Kohl
<i>Brassica nigra</i>	Schwarzer Senf
<i>Hirschfeldia incana</i>	Grausenf
<i>Raphanus raphanistrum</i>	Hederich
<i>Diplotaxis muralis</i>	Mauer-Doppelrauke
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	Schmalblatt-Doppelrauke
<i>Eruca sativa</i>	Salatrauke
<i>Erucastrum gallicum</i>	Hundssenf
<i>Sinapis alba</i>	Weißer Senf
<i>Sinapis arvensis</i>	Ackersenf
<i>Rapistrum rugosum</i>	Runzeliger Rapsdotter
<i>Raphanus sativus</i>	Radieschen

CHADOEUF et al. (1998), CHEVRE et al. (1997, 1999), DARMENCY (1994), DOWNEY (1999), EASTHAM & SWEET (2002), EBER et al. (1994), ECKELKAMP et al. (1997b), FISCHBECK (1998), GERDEMANN-KNÖRCK & TEGEDER (1997), HILL (1999), JACOT (1994), LEFOL et al. (1996), METZ (1997), MIKKELSEN et al. (1996), MOYES et al. (1999), PASCHER et al. (2000), PELLMANN et al. (1998), PETERSEN & HURLE (1998), RAYBOULD (1995), RAYBOULD & GRAY (1993), SCHEFFLER & DALE (1994), SCHUSTER & DIEPENBROCK (1997), SCHÜTTE et al. (1998), SNOW & JØRGENSEN (1999), WARWICK & WALL (1998)

*H18 Über Brückenarten können Fremdgenkonstrukte in weitere Arten aus der Familie der Brassicaceen gelangen und so zu einer Ausbreitung des Herbizidresistenzgens im Genpool der Brassicaceen führen.*

Ausgehend von herbizidresistenten Hybriden ist eine Auskreuzung der Herbizidresistenz auf andere Brassicaceen möglich, die sich nicht direkt mit Raps kreuzen lassen. Damit ist das Spektrum der Kreuzblütler, die Merkmale aus gentechnisch verändertem Raps erlangen können, nicht nur auf die Arten begrenzt, die als natürliche Kreuzungspartner des Rapses unter Feldbedingungen bekannt sind. Hinsichtlich der Möglichkeiten eines Genflusses über Transferbrücken besteht Forschungsbedarf.

PASCHER et al. (2000)



*H19 Die Eigenschaft der Herbizidresistenz kann an Standorten, an denen Herbizidapplikationen erfolgen, zu einem Selektionsvorteil führen (Ackerflächen, Bahngleise u.a.) und Ausbreitungsprozesse begünstigen.*

Auf Flächen, die mit den Breitbandherbiziden Glyphosat oder Glufosinat behandelt werden, haben komplementäre herbizidresistente Kultur- und Wildpflanzen einen deutlichen Selektionsvorteil. Dies gilt insbesondere für landwirtschaftlich genutzte Flächen sowie durch Verdriftung betroffene Ackersäume und angrenzende Biotope. Herbizidresistenter Durchwuchsraps und herbizidresistente Ackerbegleitkräuter können, sofern keine zusätzlichen Bekämpfungsmassnahmen stattfinden, überleben und zur Ausbreitung gelangen.

Glyphosat wird von der Deutschen Bundesbahn zur Bekämpfung der Wildkräuter im Gleisbereich eingesetzt. Sowohl Raps als auch andere Arten der Brassicaceen sind bereits heute an Bahngleisen weit verbreitet. Durch Verwilderung oder Auskreuzung glyphosatresistent gewordene Pflanzen können auch hier, sofern andere Bekämpfungsmassnahmen ausbleiben, rasch zur Ausbreitung gelangen. Dies kann Veränderungen in der Artenzusammensetzung und Dominanzstruktur der jeweiligen Standorte zur Folge haben.

CRAWLEY et al. (2001), DARMENCY & GASQUEZ (1983), OEKO-INSTITUT (1999), SMOLKA & WEBER (2000)

*H20 Bei einem Anbau verschiedener transgener Rapslinien mit Resistenzen gegen verschiedene Herbizide können mehrfachresistenter Raps (Durchwuchsraps, verwilderter Raps) und mehrfachresistente Wildkräuter entstehen.*

Werden verschiedene transgene Rapslinien angebaut, die jeweils gegen unterschiedliche Herbizide resistent sind, können sich die Herbizidresistenzgene über Auskreuzungsprozesse in einzelnen Rapspflanzen bzw. potenziellen Kreuzungspartnern akkumulieren. Bestätigt wurde diese Hypothese kürzlich in Kanada. Nachdem ein Landwirt drei verschiedene herbizidresistente Rapslinien (transgener glyphosatresistenter Raps, transgener glufosinatresistenter Raps und Raps mit einer nicht transgenen Resistenz gegen das Herbizid Imazethapyr) in direkter Nähe zueinander angepflanzt hatte, wurde in den darauffolgenden Jahren dreifachresistenter Durchwuchsraps nachgewiesen.

DOWNEY (1999), HALL et al. (2000), ORSON (2002), SCHÜTTE et al. (2001), SIMPSON et al. (1999), THOMPSON et al. (1999)

### Auswirkungen der Herbizidresistenztechnik

*H21 Die Anwendung der Herbizidresistenztechnik kann zu einer veränderten Anbaupraxis mit mehrmaligem Einsatz von Breitbandherbiziden pro Frucht/Vegetationsperiode und variablen bzw. geänderten Applikationszeitpunkten führen.*

Durch die Entwicklung und den Einsatz von transgenen herbizidresistenten Rapspflanzen und dem dazugehörigen Herbizid (Komplementärherbizid) ist eine Aufbringung des Herbizids in jeder Entwicklungsphase der Kulturpflanze möglich, ohne dass eine Schädigung und eine damit verbundene Ertragsminderung eintritt. D.h. bisher praktizierte präventive Vorsaats- und Voraufbauverfahren können durch bedarfsorientierte, zeitlich variierende und durchaus mehrmalige Herbizidapplikationen ersetzt werden.

HOMMEL & PALLUTT (2000), PETERSEN & HURLE (1998), SCHÜTTE et al. (2001)

*H22 Der Einsatz von Breitbandherbiziden mit variablen Applikationszeitpunkten kann eine Reduktion von Artenvielfalt und Abundanz der Ackerbegleitflora sowie der Diasporenbank im Boden bewirken.*

Das Ziel jedes Herbizideinsatzes ist die Vernichtung von Ackerwildkräutern, demnach ist der Erfolg einer Aufbringung an eine Reduzierung der Ackerbegleitflora gekoppelt. Die Effektivität der Wildkrautbekämpfung und damit das Ausmaß des Artenrückgangs ist von der Dosierung, der Anzahl und den Zeitpunkten der Applikation des Breitbandherbizids abhängig.

Die Zusammensetzung der Ackerwildkrautzönose wandelt sich im Jahresverlauf. Durch die Möglichkeit der beliebigen Aufbringung auch im Nachaufbau kann das gesamte Spektrum der Ackerbegleitflora bekämpft werden, von den Winterannuellen bis hin zu den später im Jahr auflaufenden Wärmekeimern. Als indirekte, sich in längerem Zeithorizont ausprägende Folge kann sich dadurch die Samenbank im Boden verändern.

MAHN (1994), MEYER et al. (1998), PETERSEN & HURLE (1998), READ & BALL (1999)

*H23 Der Einsatz von Breitbandherbiziden kann die Entwicklung resistenter Ökotypen und damit eine Dominanzverschiebung hin zu Ackerwildkräutern, die nicht oder nur schwach durch das Herbizid geschädigt werden, bewirken.*

Aus dem Einsatz von BASTA im konventionellen Ackerbau ist bekannt, dass Glyphosat nicht alle Arten der Ackerbegleitflora erfolgreich bekämpft. Insbesondere *Galium aparine*, *Equisetum* spp., *Viola arvensis*, *Polygonum convolvulus*, *Bromus* spp. und *Elymus repens* zeigen sich unsensibel gegenüber dem Wirkstoff. Das Aufbringen des Breitbandherbizids schafft für sie einen Konkurrenzvorteil, der ihre Ausbreitung fördert. Je länger der gleiche Wirkstoff auf einer Anbaufläche ausgebracht wird, desto größer ist

die Möglichkeit der Dominanzverschiebung hin zu Arten, die unempfindlich auf das Herbizid reagieren. Dies hat erhöhte Aufwandmengen und vermehrte Applikationen zur Folge, was wiederum zu einem gesteigerten Selektionsdruck führt und die Entwicklung herbizidresistenter Ökotypen unterstützt. Die Konzentration auf wenige Wirkstoffe durch den Einsatz der Herbizidresistenztechnik kann dem zufolge zu einer Steigerung des Selektionsdrucks auf die Ackerbegleitflora führen und Resistenzbildungen fördern.

Kommt es zu Verschiebungen in der Artenzusammensetzung der Ackerbegleitflora, hat dies Auswirkungen auf das gesamte ökologische Gefüge der Ackerbiozönose (Hypothesen 28-31).

DARMENCY (1994), DARMENCY & GASQUEZ (1983), DARMENCY et al. (1981), HOMMEL & PALLUTT (2000), HURLE (1994), LECHNER et al. (1996), MAYER et al. (1995), PETERSEN & HURLE (1998), SCHÜTTE et al. (1998), VAN DEN DAELE et al. (1996)

*H24     Herbizidresistente Ackerbegleitarten und herbizidresistenter Durchwuchs können einen zusätzlichen Herbizideinsatz zur Folge haben.*

Treten in der Ackerbegleitflora durch Selektion oder Auskreuzung glyphosat- bzw. glufosinatresistente Pflanzen auf, fördert der alleinige Einsatz von Glyphosat bzw. Glufosinat die Ausbreitung dieser Arten bzw. Individuen, da konkurrierende Wildkräuter eliminiert werden. Wie bereits unter Hypothese 21 beschrieben, kann dies bei graduell ausgeprägten Resistenzen zunächst zu einer Steigerung der Aufwandmengen und der Anzahl der Applikationen führen. Naheliegend ist weiterhin die Aufbringung von Herbiziden mit anderen Wirkstoffen. Gleiches gilt für die Bekämpfung von herbizidresistentem Durchwuchs in Folgekulturen. Insbesondere in Mais und Zuckerrüben kann Raps zu Ertragseinbußen führen. Handelt es sich um Folgekulturen die ebenfalls glyphosat- bzw. glufosinatresistent sind, wird auch hier ein Einsatz anderer Herbizide für ihre Bekämpfung erforderlich.

HOMMEL & PALLUTT (2000), PETERSEN & HURLE (1998), SCHÜTTE et al. (2001)

*H25     Durch Änderungen der Spritzhöheneinstellung beim Einsatz von Breitbandherbiziden im Nachauflauf kann eine stärkere Spritzmittelabdrift erfolgen.*

Wie bei jedem Herbizideinsatz, kann es auch bei der Aufbringung von Basta und Round up zu Verdriftungen in angrenzende Flächen kommen. Das Ausmaß ist u.a. abhängig von den herrschenden Witterungsbedingungen und der verwendeten Spritztechnik. Da herbizidresistente Rapskulturen auch im Nachauflauf, also zu einem Zeitpunkt fortgeschrittenen Wachstums besprüht werden können, kommt hier als weiterer Faktor die Spritzhöheneinstellung hinzu. Je höher der Pflanzenwuchs, desto höher ist die Spritzhöheneinstellung und desto wahrscheinlicher wird eine erhöhte Spritzmittelabdrift.

BUTT (2001), JOHNSON (2001), [www.environment.detr.gov.uk/fse/index.htm](http://www.environment.detr.gov.uk/fse/index.htm) (2001)

*H26 Eine erhöhte Spritzmittelabdrift kann zu Veränderungen von Artenvielfalt und Abundanz der Flora und Fauna des Ackerrains und angrenzender Biotope führen.*

Ackerraine sind in der Regel floristisch und faunistisch sehr artenreich. Sie können, ebenso wie angrenzende Biotope, Refugien für seltene oder bedrohte Arten sein. Der Eintrag von Breitbandherbiziden durch Spritzmittelabdrift wirkt sich, ähnlich wie für den Acker bereits beschrieben (Hypothesen 22-31), auf die Artenzusammensetzung und Artenvielfalt von Fauna und Flora aus.

*H27 In beikrautarmen Rapsfeldern fressen Phytophage vermehrt an der Kulturpflanze.*

Zahlreiche in Rapskulturen vorkommende herbivore Wirbellose ernähren sich von unterschiedlichen Pflanzenarten, d.h. sie fressen sowohl an Raps, als auch an Ackerbegleitkräutern. Werden die Begleitkräuter durch den Einsatz von Breitbandherbiziden entfernt, können sie vermehrt auf die Rapspflanzen übergehen. Der Einzelbefall der Kulturpflanzen würde sich damit erhöhen.

FREI & MAHNHART (1992), FRITZ-KÖHLER (1996), KNAUER (1993), SACHS et al. (1991)

*H28 Eine Reduktion der Ackerbegleitflora kann zu einem Rückgang monophager Herbivoren durch den Ausfall ihrer Wirtspflanzen führen.*

Monophage Herbivore, die von bzw. in nur einer Pflanzenart leben, sind bei einem Ausfall ihrer Wirtspflanzen stark gefährdet. Werden die entsprechenden Pflanzen in der Rapskultur durch Herbizideinsatz vernichtet, können Monophage oft nicht auf andere Flächen und Bestände ausweichen, da ihr Aktionsradius vielfach im Bereich von 10 bis 100 m liegt.

FRITZ-KOEHLER (1996), KNAUER (1993)

*H29 Veränderungen in der Zusammensetzung der Ackerbegleitflora führen zu Verschiebungen des Phytophagenspektrums.*

Die Ackerbegleitflora stellt für viele Phytophagen eine wichtige Nahrungs- und Lebensgrundlage dar. Die Spezifität für bestimmte Pflanzenarten ist sehr unterschiedlich ausgeprägt. Neben den oben beschriebenen Monophagen gibt es Insekten, die an einigen ausgewählten Pflanzenarten leben sowie andere, die einen geringeren Grad an Spezialisierung aufweisen. So leben beispielsweise an *Cirsium arvense* 80, an *Poa annua* 41, an *Chenopodium* spp. 51, an *Polygonum aviculare* 40 und an *Stellaria media* 36 Tierarten. Eine Reduktion der Ackerbegleitflora (Hypothese 22) bzw. eine Verände-

rung in der Dominanzstruktur (Hypothese 23) kann, zumindest hinsichtlich der spezialisierten Phytophagen, zu einer Verschiebung des Artenspektrums und der Abundanzen in der Anbaufläche und damit zu Veränderungen der Biodiversität im Agrarraum führen.

DIETZ et al. (1993), FREI & MAHNHART (1992), FRITZ-KOEHLER (1996), KNAUER (1993)

*H30     Veränderungen in der Artenvielfalt und Abundanz der phytophagen Wirbellosenfauna können sich auf Antagonisten und das Gefüge weiterer Nahrungsnetze auswirken.*

Eine Reduzierung der phytophagen Wirbellosenfauna als Folge der Herbizidresistenztechnik kann für Parasitoide und Prädatoren eine Verminderung des Nahrungsangebotes bedeuten und zur Schwächung ihrer Populationen führen. Unmittelbar betroffen sind u.a. zoophage Wirbellose und insektivore Wirbeltiere des Agrarraumes. Indirekte Auswirkungen auf weitere Stufen des Nahrungsnetzes, auch auf größere Prädatoren wie Fuchs, Dachs, Marder oder Greifvögel sind denkbar.

*H31     Eine Reduzierung der Ackerbegleitflora kann zu Bestandsveränderungen der körner- und pflanzenfressenden Wirbeltiere führen.*

Ackerbegleitkräuter sind für viele Wirbeltiere des Agrarraumes zwar nicht die einzige, aber doch eine bedeutende Nahrungsgrundlage. Zu den körner- und/oder pflanzenfressenden Arten der Feldflur gehören u.a. Rebhuhn (*Perdix perdix*), Feldsperling (*Passer montanus*), Feldlerche (*Alauda arvensis*), Ortolan (*Emberiza hortulana*), Grauammer (*Miliaria calandra*), Feldhasen (*Lepus europaeus*), Feldmäuse (*Microtus arvalis*) und Rehe (*Capreolus capreolus*).

Eine Reduzierung der Ackerbegleitflora in Rapskulturen durch Einsatz der Herbizidresistenztechnik kann verschiedene Folgen für die Wirbeltiere haben. Einigen Arten ist es möglich, auf die Kulturpflanze auszuweichen, andere werden mangels geeigneter Nahrung abwandern. Letzteres gilt besonders für Wildkrautsamen fressende Tiere. Langfristig kann die Reduzierung der Ackerbegleitflora eine Verarmung des Agrarraumes an herbivoren Wirbeltieren fördern.

ECKELKAMP et al. (1997a), FLADE (1994), KNAUER (1993), MÄNNER (2000), PRESCHER & BÜCHS (1996), WATKINSON et al. (2000)

- H32 Erfolgt ein Einsatz von Breitbandherbiziden mit erhöhten Dosen und Spätagplikationen, können toxische Wirkungen auf die Fauna im Agrarraum zunehmen.*

Die akute und chronische Toxizität von Glyphosat und Glufosinat auf Säugetiere (einschließlich Mensch) wird als gering eingeschätzt. ADI-Werte (Acceptable Daily Intake) liegen laut WHO für Glyphosat bei 0,3 und für Glufosinat bei 0,07 mg/kg Körpergewicht. Hinsichtlich der Wirkungen auf Wirbellose liegt bisher kein umfassendes Bild vor. U.a. wurden toxische Wirkungen auf verschiedene Milben-, Spinnen- und Laufkäferarten nachgewiesen. Für Fische und andere aquatische Organismen gelten die Wirkstoffe als leicht toxisch. Bei einer Erhöhung der aufgetragenen Dosen und einer Applikation zu späteren Zeitpunkten ist mit einer Zunahme toxischer Wirkungen zu rechnen. Diese können sich ergeben, wenn die Applikationszeitpunkte in die Aktivitätsphasen von Organismen fallen, die bei Anwendung im Vorauslauf nicht mit den Wirkstoffen in Berührung kommen. Einige Metabolite der Wirkstoffe gelten als noch nicht ausreichend untersucht.

BÖGER (1994), DIERCKS & HEITEFUSS (1990), DORN et al. (1992), ECKELKAMP & WEBER (1996), EDWARDS et al. (1999), METZ & STIEKEMA (1998), MEYER & WOLTERS (1998), SANDERMANN & OHNESORGE (1994), SCHÜTTE et al. (2001)

- H33 Der Einsatz der Herbizidresistenztechnik kann eine Reduzierung oder Veränderung der Artenvielfalt und Abundanz der Bodenmikroflora und -fauna sowie der Bodenmeso- und Bodenmakrofauna bewirken.*

Das Verhalten der Breitbandherbizide im Boden wird durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt. Die Geschwindigkeit der Metabolisierung und des Abbaus sowie die Möglichkeit der Auswaschung durch Regen sind abhängig von Bodenart, Lagerungsdichte, Witterungsbedingungen, der Zusammensetzung der Bodenzönose und der Art des Wirkstoffes. Glyphosat besitzt eine höhere Affinität zu organischer Bodensubstanz als Glufosinat.

Hinsichtlich der toxischen Wirkung von Glufosinat und Glyphosat auf Bodenorganismen liegt kein einheitliches Bild vor. Neben den unter Hypothese 32 genannten Wirbellosen wurde für Glufosinat eine toxische Wirkung auf Regenwürmer nachgewiesen. Bodenmikroorganismen reagierten in Laborversuchen auf die Herbizide mit Wachstumshemmungen und einem Rückgang der Zellzahlen. Bakterien können jedoch auch Resistenzen gegen Herbizide entwickeln. Speziell Glufosinat konnte von einigen Spezies in seine Metabolite umgewandelt und damit unwirksam gemacht werden.

AHMAD & MALLOCH (1995), BARTSCH & TEBBE (1989), CHAKRAVARTY & CHATARPUL (1990), CHAKRAVARTY & SIDHU (1987), ECKELKAMP et al. (1997a), ESTOK et al. (1989), HERBICIDE FACTSHEET (1995), MALKOMES (1988), PAOLETTI (2001), ULRICH et al. (1998)

*H34 Bestandsveränderungen der Bodenorganismen können Auswirkungen auf das Gefüge des Nahrungsnetzes und auf die Bodenfunktion haben.*

Die Bodenbiozönose ist in ihrer Gesamtheit von wesentlicher Bedeutung für die Energie- und Stoffkreisläufe im Boden. Jeder Artengruppe kommt dabei eine bestimmte Funktion zu. Werden einzelne Organismengruppen durch die Einwirkung von Herbiziden geschädigt, kann sich dies auf das gesamte Gefüge des Nahrungsnetzes und auf Bodenfunktionen wie z.B. die Bodenfruchtbarkeit auswirken.

Auf Glufosinat reagierende Regenwürmer (Hypothese 33) sind z.B. ein wichtiges Glied in der Zersetternahrungskette. Sie haben u.a. bedeutenden Einfluss auf die Nährstoffverfügbarkeit des Bodens, auf die Humusbildung oder den Wasser- und Gashaushalt.

HEISSENBERGER et al. (1999), PARMELEE et al. (1998), RÖMKE et al. (2000)

*H35 Der Einsatz der Herbizidresistenztechnik kann die Wirksamkeit von Faktoren verändern, die Erosion auf dem Acker beeinflussen.*

Eine dichte Bedeckung des Ackerbodens durch Ackerwildkräuter oder Untersaaten schützt den Boden vor Erosion. Wird die Ackerbegleitflora durch den Einsatz der Herbizidresistenztechnik nachhaltig vernichtet und erweist sich der Aufwuchs von Untersaaten als unverträglich mit den Herbizidapplikationen, werden Erosionen des ungeschützten Bodens begünstigt. Andererseits ist es denkbar, dass bei einem Einsatz der Herbizidresistenztechnik ein pflugloser Anbau erfolgt und dies in bestimmten Fällen die Erosionsgefährdung reduziert.

AUERSWALD (1996), DIETZ et al. (1993), SCHÜTTE et al. (2001)

*H36 Der Einsatz der Herbizidresistenztechnik kann Auswaschungen der Breitbandherbizide fördern und zu einer Zunahme der Herbizidkonzentration in Gewässern und im Grundwasser führen.*

In unserer Klimazone nimmt die Eintrittswahrscheinlichkeit eines starken und damit erosiven Regens von März bis Juli zu. Wird die Ackerbegleitflora des Rapsackers durch Breitbandherbizide zu einem späten Zeitpunkt vernichtet, kann das Spritzmittel infolge erosionsauslösender Starkregenereignisse in noch aktivem Zustand mit den Bodenschichten abgetragen und ausgewaschen werden.

Wird die Herbizidresistenztechnik großflächig eingesetzt, verengt sich das in der Landwirtschaft verwendete Wirkstoffspektrum. Die Aufbringung weniger Herbizidsorten auf großer Fläche kann zu einer bislang nicht erreichten Konzentration der jeweiligen Mittel in Gewässern führen.

Wird durch den Einsatz der Herbizidresistenztechnik der pfluglose Anbau gefördert, kann es zu einem erhöhten Eintrag von Herbiziden ins Grundwasser kommen. Eine

Extensivierung der Bodenbearbeitung fördert die Aktivität von Bodentieren, was wiederum eine Vergrößerung des Porenvolumens zur Folge hat. Dadurch können in Wasser lösliche Substanzen wie Glyphosat und Glufosinat in tiefere Bodenschichten vordringen.

AUERSWALD (1996), ECKELKAMP & WEBER (1996), OHNESORGE (1994), WILKE (1994)

*H37 Ein verstärkter Eintrag von Breitbandherbiziden in Gewässer kann zu Schädigungen der im Wasser lebenden Organismen führen.*

Glyphosat und Glufosinat wirken toxisch auf Fische und andere aquatische Organismen wie z.B. Daphnien (*Daphnia magna*), Flohkrebse (*Gammarus fossarum*), Köcherfliege, (*Drusus annulatus*), Eintagsfliegen (*Ecdyonurus dispar*) und Mückenlarven. Eine erhöhte Konzentration der Wirkstoffe in Gewässern kann somit zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung und der Dominanzverhältnisse im Gewässersystem führen.

BASTIAN (1987), ECKELKAMP & WEBER (1996), SCHÜTTE et al. (2001)

### **Horizontaler Gentransfer**

*H38 Die Aufnahme und Expression von Herbizidresistenzgenen in Bodenbakterien verschafft diesen bei Herbizideinsatz einen Konkurrenzvorteil und kann zu Dominanzverschiebungen der Mikroorganismenpopulationen führen.*

Bodenbakterien ist es möglich, im Boden frei verfügbare, für eine Glufosinatresistenz codierende DNA aufzunehmen, in ihr Genom zu integrieren und zu exprimieren (siehe auch Hypothese 4). Da Glufosinat eine antimikrobielle Wirkung hat, entsteht bei Applikation ein Selektionsdruck, der für die resistenten Bakterien ein Konkurrenzvorteil bedeuten kann. Dies kann Veränderungen in der Artenzusammensetzung und der Abundanz der Bodenmikroorganismen zur Folge haben und sich auf die Bodenfunktion auswirken.

ECKELKAMP et al. (1997a), KLINGMÜLLER & RIEDER (1994), SANDERMANN (1994), SMALLA et al. (2000)



### 4.3 Insektenresistenter (B.t.)-Mais

#### Pollenausbreitung

*H39 Der Pollen von B.t.-Mais kann durch Wind und/oder Insekten über die Anbaufläche hinaus verbreitet werden.*

Mais produziert eine hohe Anzahl (ca. 10.000 Pollen pro Blüte) vergleichsweise großer (ca. 100 µm) und schwerer (ca. 0,25 µg) Pollen. Wie bereits für Raps beschrieben (Hypothese 15), wird die Ausbreitung der Pollen durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt. Auch bei Mais nimmt die Pollendichte mit zunehmender Distanz zur Pollenquelle ab. Untersuchungen zur Windverbreitung ergaben, dass Maispollen bodennah mindestens 800 m weit getragen werden kann. Unter dem Einfluss aufsteigender Windströmungen wurde eine Verfrachtung über 180 km nachgewiesen. Die Lebensdauer der Maispollen wird auf ca. 24 Stunden geschätzt. Obwohl eine Bestäubung über Wind bei Maispflanzen überwiegt, spielen auch Insekten bei der Übertragung von Pollen eine Rolle. Bienen, insbesondere Honigbienen, fliegen Maisblüten an und können Maispollen über mehrere Kilometer transportieren.

DÜLL & KUTZELNIGG (1994), EMBERLIN et al. (1999), FEIL & SCHMIDT (2001), MILLER (1985), NEUROTH (1997), TREU & EMBERLIN (2000)

#### Auskreuzung und Ausbreitung der Fremdgenkonstrukte

*H40 Infolge von Einkreuzung können in nicht-transgenen Maiskulturen transgene Maissamen reifen.*

Mais wird überwiegend fremdbefruchtet, die Selbstbefruchtungsrate liegt bei ca. 1-15%. Durch wind- und insektenverbreitete Pollen kann somit eine Auskreuzung zwischen verschiedenen Maiskulturen erfolgen. Da die Maissamen einen Chromosomensatz von jeder Elternpflanze besitzen, kann die Pollenverdriftung zu transgenen Samen in konventionellen Beständen führen. Je kleinflächiger der Anbau und je größer die Windeinwirkung, desto häufiger kann ein Genaustausch zwischen Feldern zustandekommen. Aus der Flora Mitteleuropas sind keine Pflanzenarten bekannt, die potentiell mit Mais kreuzbar sind. Der Effekt kann dennoch unerwünscht sein, sowohl bei der Saatgutvermehrung als auch im Hinblick auf die Einhaltung von Grenzwerten für den gentechnikfreien Anbau.

FEIL & SCHMIDT (2001), NEUROTH (1997), TREU & EMBERLIN (2000)

#### Zielorganismen

*H41 Eine Reduzierung der Maiszünslerpopulationen kann zu Verschiebungen des Phytophagenspektrums im Maisfeld führen (Sekundärschädlinge).*

Das Ziel des Anbaus von B.t.-Mais ist die Bekämpfung des Maiszünslers (*Ostrinia nubilalis*). Er gehört derzeit in südlichen Regionen Deutschlands zu den bedeutendsten Schädlingen in Maiskulturen, kommt aber zunehmend auch im nördlichen bzw. östlichen Raum vor. In Befallsgebieten des Maiszünslers kann der Ausfall des Schädlings zu einer Stärkung von bisher nur sekundär bedeutenden Phytophagen führen. Mangels Konkurrenz können sie Populationsgrößen entwickeln, die sie als schädigende Organismen relevant werden lassen. Dieser Effekt ist seit langem für den Einsatz konventioneller, selektiv wirkender Insektizide bekannt, inzwischen aber auch im Rahmen des Anbaus von B.t.-Pflanzen beobachtet worden.

Der Ausfall des Maiszünslers und eine damit verbundene Verschiebung der Dominanzstruktur des Phytophagenspektrums kann Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung und Abundanz der Phytophagen im Maisacker haben. Daraus resultierende Nahrungsketteneffekte werden derzeit untersucht.

ATTIA (1985), CHAT-LOCUSSOL (2000), DEML & DETTNER (1998), EWALD & HAN (1999), HOFFMAN (1990), KLUGE et al. (1999), MÜLLER (2001), OBRYCKI et al. (2001), ORR & LANDIS (1997), PILCHER (1999), SCHMITZ et al. (2000), SCHÜTTE et al. (1998), [www.maiskomitee.de](http://www.maiskomitee.de) (2001)

*H42 Der großflächige Anbau von B.t.-Mais fördert die Entwicklung resistenter Maiszünslerp Populationen.*

Im Biolandbau werden Toxin- und Sporenpräparate von *Bacillus thuringiensis* seit Jahrzehnten angewendet. Ihr bedarfsorientierter Einsatz und der schnelle Abbau unter UV-Bestrahlung hat bisher nur in Einzelfällen zur Entwicklung von Resistenzen geführt. Bei einem Anbau von B.t.-Mais wird das Toxin permanent und unabhängig von der Befallssituation in der Pflanze gebildet. Der dadurch kontinuierlich bestehende Selektionsdruck ist eine wesentliche Voraussetzung für die Entstehung resistenter Maiszünslerp Populationen. Dadurch werden voraussichtlich Einsatzmöglichkeiten von Toxin-Präparaten im ökologischen Landbau zunichte gemacht. Darüber hinaus ist die ökologische Bedeutung B.t.-resistenter Maiszünslers derzeit schwer abschätzbar. Falls es zu einer zunehmenden Dichte resistenter Maiszünslers kommt, kann dies einen verstärkten Einsatz zusätzlicher Insektizide erforderlich machen.

BHATIA et al. (2000), HUANG et al. (1999), KLÖPFFER et al. (1999), MÜLLER (2001), OBRYCKI et al. (2001), SCHÜTTE et al. (1998, 2001), VENETTE et al. (2000)

## **Nichtzielorganismen**

*H43 An Mais fressende Wirbellose können durch direkte Aufnahme des B.t.-Toxins geschädigt werden.*

Das in B.t.-Mais verwendete Gen (CryIA b) codiert für ein insbesondere auf Lepidopteren wirkendes Toxin. D.h., neben dem Maiszünslers als Zielorganismus ist auch eine

schädigende Wirkung auf andere, an Mais fressende Schmetterlingsarten zu erwarten. Vor der Insertion in das Maisgenom wurden die Gensequenzen des *Bacillus thuringiensis* modifiziert und verkürzt, so dass das Toxin in den Maiszellen in einer bereits aktiven Form exprimiert wird. Dadurch fallen einige metabolische Schritte im Darm der Insekten aus, die für die Spezifität der Wirkung von Bedeutung sind. Daraus könnte sich eine Erweiterung der toxischen Wirkung auch auf andere herbivore Artengruppen ergeben. In Maiskulturen kommen eine Vielzahl wirbelloser Phyto- und Saprophagen vor. Je nach Fraßverhalten und räumlicher und zeitlicher Expression des Proteins in der Maispflanze können diese potenziell durch das Toxin geschädigt werden. Die zeitliche und räumliche Expression des Toxingens ist im Einzelfall für jedes Transformationsereignis unterschiedlich und hängt vom jeweils verwendeten Promotor und dem Insertionsort ab. Freiland- und Laborexperimente, insbesondere Fütterungsversuche, geben Hinweise darauf, dass bei Nichtzielorganismen nach Aufnahme von B.t.-Toxinen erhöhte Mortalitätsraten bzw. subletale Effekte eintreten können.

DEML & DETTNER (1998), DÜLL & KUTZELNIGG (1994), FLEXNER et al. (1986), HILBECK et al. (2000), JEPSON et al. (1994), MÜLLER (2001), OBRZYCKI et al. (2001), SCHMITZ et al. (2000), SCHÜTTE et al. (2001), VILLINGER (1999)

*H44 Antagonisten von an Mais fressenden Phytophagen können durch indirekte Aufnahme des B.t.-Toxins über die Nahrungskette geschädigt werden.*

Toxische Wirkungen können nicht nur direkt bei an B.t.-Mais fressenden Organismen auftreten, sondern indirekt weitere Glieder der Nahrungskette schädigen. Tritrophische Fütterungsversuche haben gezeigt, dass Parasitoide und Prädatoren von Maiskonsumenten mit verminderten Reproduktionsraten bzw. erhöhter Mortalität auf Beutetiere reagierten, die zuvor B.t.-haltiges Futter aufgenommen hatten. Dabei spielt es keine Rolle, ob das jeweilige Beutetier selbst sensibel auf das Toxin reagiert. Dies bedeutet, dass die Wirkungspfade innerhalb des Nahrungsnetzes sehr komplex sein können und nicht in jedem Fall von einer Stufe auf die nächste geschlossen werden darf.

HAFEZ et al. (1997), HILBECK et al. (1998 a,b, 1999), OBRZYCKI et al. (2001)

*H45 Eine unbeabsichtigte Aufnahme von B.t.-Toxin exprimierenden Maispollen kann phytophage und polyphage Wirbellose innerhalb und außerhalb der Anbaufläche schädigen.*

Maispollen werden durch den Wind verdriftet (Hypothese 39) und können sich innerhalb und außerhalb der Anbauflächen auf der Oberfläche anderer Pflanzen absetzen. An diesen Pflanzen fressende Wirbellose können den Pollen unbeabsichtigt aufnehmen und durch das Toxin geschädigt werden.

Larven des Monarchfalters (*Danus plexippus*) und des Schwalbenschwanzes (*Papilio machaon*) fressen normalerweise nicht an Mais. In Laborversuchen wurden sie mit Blättern ihrer Futterpflanze gefüttert, die zuvor mit B.t.-haltigem Maispollen bestäubt

worden waren. Beide Arten reagierten auf die Toxinaufnahme mit erhöhter Mortalität bzw. sublethalen Effekten.

HANSEN JESSE & OBRYCKI (2000), HILBECK et al. (2000), LOSEY et al. (1999), WRAIGHT et al. (2000)

*H46 Eine Veränderung oder Reduzierung der Artenzusammensetzung und Abundanz phytophager Wirbelloser und ihrer Antagonisten im Agrarraum kann Auswirkungen auf das weitere Gefüge des Nahrungsnetzes haben.*

Werden die Populationen phytophager Wirbelloser und ihrer Antagonisten durch den Anbau von B.t.-Mais in ihren Beständen reduziert oder erfahren sie starke Verschiebungen in ihren Dominanzverhältnissen, bedeutet dies für die nächste Stufe der Nahrungskette ein fehlendes oder verändertes Nahrungsangebot. Diese Veränderungen können sich bis hin zu den Nahrungskettenendstufen auswirken und die Diversität im Agrarraum beeinflussen.

KISS et al. (2001), LÖVEI et al. (2001), OBRYCKI et al. (2001), Tømmeras (2001), WATKINSON et al. (2000)

*H47 Das B.t.-Toxin kann über lange Zeiträume im Boden persistieren, akkumulieren und biologisch wirksam bleiben.*

Das B.t.-Toxin gelangt in wesentlichem Umfang über das Wurzelsystem der Maispflanze in den Boden. Das Protein wird permanent in den Wurzelzellen exprimiert und über Wurzelexsudate abgegeben. Außerdem wird während der Verrottung von Pflanzenrückständen nach der Ernte B.t.-Toxin im Boden freigesetzt. B.t.-Toxine adsorbieren im Boden an Tonminerale, Huminsäuren und Ton-Humus-Komplexe. Dadurch sind sie vor mikrobiellem Abbau geschützt, können ihre Toxizität über lange Zeiträume beibehalten und sich im Boden anreichern.

CRECCHIO & STOTZKY (1998), KOSKELLA & STOTZKY (1997), SAXENA & STOTZKY (2000), SAXENA et al. (1999)

*H48 Das B.t.-Toxin kann schädigend auf Bodenorganismen wirken und zu Veränderungen in der Bodenzoenose führen.*

Durch die permanente Verfügbarkeit und hohe Persistenz des aktiven Toxins im Boden sind Bodenorganismen des Maisackers über lange Zeiträume mit hohen Dosen des Toxins konfrontiert. Dies birgt ein großes Potenzial für schädigende Wirkungen auf Arten der Bodenflora und Bodenfauna. Trotz zahlreicher Untersuchungen zur Wirkung

von B.t.-Toxin auf im Boden lebende Organismen ist heute nur wenig über mögliche Auswirkungen bekannt. Bisherige Ergebnisse erweisen sich als uneinheitlich und uneindeutig.

DONEGAN et al. (1995), ESCHER et al. (2000), EPA (1995), HILBECK et al. (2000), PAOLETTI (2001), SAXENA & STOTZKY (2001a,b), SAXENA et al. (1999), USEPA (1999) zitiert in OBRZYCKI et al. (2001), ZWAHLEN et al. (2001)

*H49 Bei einem großflächigen Anbau von B.t.-Mais kann es zum Eintrag und zur Anreicherung von B.t.-Toxinen in Gewässern kommen.*

Über den Eintrag und Verbleib von B.t.-Toxinen in Gewässern unter den Bedingungen eines großflächigen Anbaus von B.t.-Mais ist bisher wenig bekannt. Aufgrund der zu erwartenden hohen Konzentration von B.t.-Toxinen im Boden ist ein Eintrag über Auswaschungen nach Niederschlägen denkbar. Auch im Wasser kann das Toxin an Partikel adsorbieren und akkumulieren. Im Sediment eines kanadischen Flusses wurden sehr hohe Konzentrationen von B.t.-Toxinen festgestellt. Darüber hinaus ist eine Windverdriftung von Pollen auf die Gewässeroberfläche denkbar.

[www.gene.ch/genet.html](http://www.gene.ch/genet.html) (2001)

*H50 B.t.-Toxine in Gewässern können sich schädigend auf aquatische Organismen auswirken.*

Toxizitätstests, die sich mit der Wirkung von B.t.-Toxin auf aquatische Organismen befassen, liegen bisher nur zu B.t.-Präparaten vor. In Auen- und Sumpflandschaften werden B.t.-Präparate derzeit u.a. zur Bekämpfung von Stechmücken eingesetzt. Auch im limnischen und marinen Bereich sind schädigende Wirkungen auf Nichtziel-Organismen nach Aufnahme des in aktiver Form vorliegenden Toxins denkbar.

DEML & DETTNER (1998), KREUZWEISER et al. (1994), SCHÜTTE et al. (2001)

## **4.4 Rizomaniaresistente Zuckerrüben**

*H51 Der Pollen rizomaniaresistenter Zuckerrüben kann durch Wind und/oder Insekten über die Anbaufläche hinaus verbreitet werden.*

Zuckerrübenpflanzen produzieren große Pollenmengen, die über Wind und Insekten verbreitet werden. Die nektarbildenden Blüten werden von einer Vielzahl verschiedener Insekten aufgesucht. Windverbreitete Pollen konnten noch fünf Kilometer von der

Quelle entfernt nachgewiesen werden. Jedoch sind nicht alle bei uns vorkommenden Zuckerrübenpflanzen auch potenzielle Pollenquellen.

In unseren Breitengraden angebauten Kulturformen wie z.B. die Zuckerrübe sind zweijährig. Sie werden bereits nach einem Jahr, noch während der vegetativen Phase, geerntet und gelangen nicht zur Blüte. Von ihnen ist kein Pollenflug zu erwarten. Vereinzelt können Kulturrüben jedoch vorübergehend außerhalb der Anbaufläche verwildern und unter günstigen Standortbedingungen Pollen entwickeln. Ihre Verwildерung erfolgt über Samenverluste bei der Aussaat oder aber durch das Zurückbleiben von Rübenköpfen nach der Ernte. Berichte von ausdauernden verwilderten Populationen sind bisher nicht bekannt.

In Zuckerrübenkulturen zur Saatgutproduktion müssen die Pflanzen jedoch zur Blüte gebracht werden. Saatgutproduktion wird in Deutschland aber nur in geringem Umfang betrieben.

Eine weitere mögliche Pollenquelle sind sogenannte Schosser, Rübenpflanzen, die bereits im ersten Jahr blühen. Die Zweijährigkeit der Kulturformen kann z.B. durch Kälteinduktion durchbrochen werden. Das dominante Wildtypmerkmal „Einjährigkeit“ kann aber auch nach Genaustausch zwischen Kultur- und Wildrüben auftreten. Werden Schosser nicht rechtzeitig aus der Anbaufläche entfernt, können sich Samen bilden, die in Nachfolgekulturen zu stabilen Unkrautpopulationen führen können.

Zuckerrübensamen verbleiben bis zu zehn Jahre im Boden keimfähig und können zoochor oder mit der an den geernteten Rüben haftenden Erde auch außerhalb der Anbaufläche verbreitet werden.

BARTSCH & POHL-ORFF (1996), BARTSCH & SCHMIDT (1997), BARTSCH et al. (2000), BOUDRY et al. (1993), DRIEBEN et al. (2000a), FREE et al. (1975) zitiert in TREU & EMBERLIN (2000), GERDEMANN-KNÖRCK & TEGEDER (1997), HAAS & WEBER (1993), HÄNI (1986), MÄNNER (2000), POHL-ORF et al. (1998, 1999a,b), SCHÜTTE et al. (1998), SMITH (1980) zitiert in GERDEMANN-KNÖRCK & TEGEDER (1997), TREU & EMBERLIN (2000), VIGOUROUX & DARMENCY (1999)

*H52 Infolge Einkreuzung können in vorübergehend verwilderten Zuckerrübenpflanzen, Unkrautrüben, nicht-transgenen Zuckerrübenkulturen (Saatgutproduktion und Züchtung) und in Varietäten der Kulturrübe transgene Samen reifen.*

Zuckerrüben sind vorwiegend fremdbefruchtet. Bei einem großflächigen Anbau transgener rizomaniaresistenter Zuckerrüben wird eine Auskreuzung der Genkonstrukte insbesondere von transgenen Schossern und vorübergehend verwilderten transgenen Zuckerrüben ausgehen (Hypothese 51). Untersuchungen haben gezeigt, dass schon geringe Pollenmengen vereinzelt auftretender Schosserrüben ausreichen, um mit den Unkrautrüben eines benachbarten Feldes Hybriden zu bilden. Etablierte transgene Unkrautrübenpopulationen können eine permanente Quelle für die Verbreitung transgener Samen und Pollen darstellen.

Die Zuckerrübe kann auch mit anderen Kulturformen hybridisieren. Hierzu gehören z.B. die Futterrübe (*Beta vulgaris ssp. vulgaris var. crassa*) und Gemüsearten wie Schnittmangold (*Beta vulgaris ssp. vulgaris var. cicla*) und Rote Bete (*Beta vulgaris ssp. vulgaris var. vulgaris*). Die genannten Gemüsearten sind in Deutschland im Gemüsebau bzw. in Privat- und Hausgärten weit verbreitet.

BARTSCH & POHL-ORF (1996), BARTSCH et al. (2000), DIETZ-PFEILSTÄTTER et al. (1998), DÜLL & KUTZELNIGG (1994), GERDEMANN-KNÖRCK & TEGEDER (1997), HOFFMANN & KÖHLER (2000), POHL-ORF et al. (1998, 1999a,b) VIGOUROUX & DAR-MENCY (1999)

*H53 Durch Auskreuzung zwischen transgenen rizomaniaresistenten Zuckerrüben und verwandten Wildpflanzen können rizomaniaresistente Hybride entstehen.*

Die Wildrübe (*Beta vulgaris ssp. maritima*) ist ein potenzieller Kreuzungspartner der Zuckerrübe. Sie ist in Deutschland an der Nord- und Ostsee verbreitet und kommt dort bevorzugt an steinigen Deichen und sandig-steinigen Stränden in stickstoffreichen Spülsäumen vor. Sind Transgene einmal in Wildrüben eingekreuzt, können sie wieder in Schosserrüben rückkreuzen. Damit würden verstärkt Wildkrauteigenschaften in die Unkrautrüben gelangen. Beispiele aus Frankreich zeigen, dass Hybride aus Kulturrüben und Wildrüben in der Lage sind, auch außerhalb ihrer angestammten Habitate ausdauernde Populationen aufzubauen.

BARTSCH (2000), DESPLANQUE et al. (1999), DRIEBEN et al. (2000), HOFFMANN & KÖHLER (2000), SUKOPP & SUKOPP (1993)

*H54 An BNYVV-kontaminierten Standorten kann die Eigenschaft der Rizomaniare-sistenz ein Selektionsvorteil sein.*

Transgene rizomaniaresistente Rüben können außerhalb der Anbaufläche überall dort einen Selektionsvorteil erlangen, wo der Boden mit BNYVV kontaminiert ist. Konkurrenzversuche haben gezeigt, dass transgene rizomaniaresistente Zuckerrüben unter BNYVV-Befallsdruck eine verstärkte Durchsetzungskraft im Vergleich mit nicht-rizomaniaresistenten Rüben entwickeln. Dieser Vorteil besteht jedoch nicht gegenüber herkömmlich gezüchteten rizomania-toleranten Zuckerrüben.

Aus anderen Ländern ist bekannt, dass Wildrüben auch natürlicherweise Toleranzen gegen Rizomania besitzen. Die ökologische Bedeutung einer Einkreuzung der Resistenz in Wildrübenpopulationen Deutschlands ist bisher nicht ausreichend geklärt.

BARR et al. (1995), BARTSCH (1997), BARTSCH et al. (1996), GEYL et al. (1995), SCHOLTEN & LANGE (2000), TAPPESER et al. (2000)

### Phytopathogene Viren

- H55 Durch Rekombination können neue Viren mit unbekannten Eigenschaften entstehen und sich in Folge ausbreiten.*
- H56 Rekombinante Viren können veränderte Infektionsverläufe, neue Pflanzenkrankheiten sowie Änderungen im Vektorenspektrum und in der Wirtsspezifität bewirken.*

Die Wahrscheinlichkeit einer Entstehung neuer phytopathogener Viren durch Rekombination wird sehr kontrovers diskutiert. Experimentell wurden rekombinante Viren in transgenen Pflanzen bereits nachgewiesen. Auch wenn es sich dabei um sehr seltene Ereignisse handelt, wird der Rekombination grundsätzlich eine bedeutende Rolle in der Evolution zugeschrieben.

Für Europa sind 13 Virenarten bekannt, die Rüben infizieren können. Das BNYVV tritt in drei verschiedenen Typen (A,B,P) auf. Obwohl bisher kein Virus nachgewiesen wurde, das das BNYVV-Hüllproteingen oder andere Gene dieses Virus durch Rekombination in seinem Genom besitzt, ist dieser Prozess prinzipiell möglich.

Kommt es zur Entstehung eines neuen Pflanzenvirus, werden mögliche Folgen nur dann sichtbar, wenn es sich vermehrt, ausbreitet und neue biologische Eigenschaften aufweist. Rekombinationsereignisse können zu Langzeiteffekten führen.

AAZIZ & TEPFER (1999), ALLISON et al. (2000), BARTSCH (2000), BRUNT et al. (1996), GARCIA-ARENAL et al. (2000), HAAS & WEBER (1993), KOENIG & BÜTTNER (2000), KOENIG & LENNEFORS (2000), KOENIG et al. (1995), RICHARDS & TAMADA (1992), SCHÜTTE et al. (2001), TAMADA & KUSUME (1991), TEPFER (2000), TEYCHENEY & TEPFER (1999), TEYCHENEY et al. (2000), UMWELTBUNDESAMT (1997)

- H57 Heterologe Entkapsidierungsereignisse können zu veränderten Infektionsverläufen und neuen Schadbildern sowie zu Änderungen im Wirts- und Vektorenspektrum führen.*

Unter heterologer Entkapsidierung wird die Verpackung einer Virus-DNA bzw. -RNA durch Hüllproteine eines anderen Virus verstanden. Das heterolog enkapsidierte Virus muß also selbst keine Gene zur Codierung von Hüllproteinen besitzen. In Abwesenheit des fremden Hüllproteins kann es meist keine infektiösen Partikel bilden. Sofern Hüllproteine zur Abwehr eindringender Virus-Nukleinsäuren in Kulturpflanzen eingebracht werden, kann heterologe Entkapsidierung häufiger auftreten. Heterologe Entkapsidierungen wurden bereits mehrfach an Pflanzen mit Hüllproteingen vermittelter Virusresistenz beobachtet. Experimente mit transgenen rizomaniaresistenten Zuckerrüben brachten bisher jedoch keine positiven Ergebnisse. Prinzipiell erhöhen sich die



Möglichkeiten einer heterologen Entkapsidierung, da das BNYVV-Hüllproteingen in allen Pflanzenteilen exprimiert wird.

Infolge einer heterologen Entkapsidierung kann es zum Auftreten von Viren mit veränderten Eigenschaften kommen. Diese treten parallel zur Abundanz von Wirtspflanzen in der Regel saisonal auf. Wie bereits unter Hypothese 56 beschrieben können neue Schadbilder, veränderte Infektionsverläufe und Verschiebungen im Wirts- und Vektorenspektrum kommen.

HILLMANN & SCHLÖSSER (1992), KOENIG et al. (1995), MAISS et al. (1994), SCHÜTTE et al. (2001), UMWELTBUNDESAMT (1997)

*H58      Werden transgene, rizomaniaresistente Zuckerrüben von anderen Viren als BNYVV infiziert, kann es zu Synergien kommen.*

Das Phänomen viraler Synergien ist aus natürlichen Mischbeständen bekannt. Die Koinfektion einer Pflanze mit zwei verschiedenen Viren kann nachgewiesenermaßen zu Symptomverstärkungen führen. Es gibt Hinweise darauf, dass Hüllproteine bei der Entstehung von Synergien eine Rolle spielen. An Pflanzen mit integriertem Hüllproteingen wurden Symptomverstärkungen bisher jedoch nicht beobachtet. Welche ökologischen Auswirkungen synergetische Effekte in virusresistenten Zuckerrüben haben können, ist schwer abschätzbar.

JÄGER & WEBER (1993), TEYCHENEY et al. (2000), UMWELTBUNDESAMT (1997)

## **4.5      Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum**

### **Ausbreitungs- und Verwildерungspotential der Kulturpflanze**

*H59      Ein verändertes Kohlenhydratspektrum kann eine Erhöhung der Frosthärte der Kartoffelpflanze bzw. ihrer Überdauerungs- und Ausbreitungsorgane bewirken.*

Gentechnisch vermittelte Veränderungen im Kohlenhydratspektrum der Kartoffelpflanze können sich auf die Osmolarität des Zellsaftes auswirken. Steigt der Anteil löslicher und damit osmotisch wirksamer Kohlenhydrate, hat dies in der Regel ein Absinken des osmotischen Wertes von Pflanzenzellen zur Folge. Eine daraus resultierende erhöhte Frosthärte der Kartoffel ist denkbar.

BECKER & ULRICH (1999), STEUP et al. (1997)

*H60 Eine erhöhte Frosthärte kann die Verwilderung und Etablierung von transgenen Kartoffelpflanzen außerhalb der Anbaufläche begünstigen.*

Kartoffeln können sich sowohl vegetativ über Knollen, als auch generativ über Samen ausbreiten. Aufgrund der Frostempfindlichkeit von Knollen und Keimlingen wird ihr Ausbreitungs- und Verwilderungspotenzial bisher als gering eingeschätzt. Außerhalb der Anbauflächen wurden Kartoffelpflanzen nur vorübergehend auf Komposthaufen oder Ruderalflächen beobachtet. In Anbauregionen mit milderem Winter erhöht sich jedoch das Verwilderungspotenzial. Bei einem großflächigen Anbau transgener Kartoffeln mit gesteigerter Frosttoleranz ist demnach auch in unseren Breitengraden mit einer ausdauernden Verwilderung von transgenen Kartoffelpflanzen zu rechnen.

CRAWLEY et al. (2001), DE VRIES et al. (1992), NEUROTH (1997), SUKOPP & SUKOPP (1997), SWEET et al. (1999), STACE (1992)

*H61 Eine erhöhte Frosthärte kann den Durchwuchs von transgenen Kartoffelpflanzen in Nachfolgekulturen begünstigen.*

Nach der Ernte verbleiben ca. 10.000 bis 30.000 Kartoffelknollen pro Hektar im Boden. Wie lange sie im Boden lebensfähig sind, hängt von der Feldbearbeitung, den Witterungsbedingungen und ihrer Tiefenlage ab. Maximal möglich sind vier bis fünf Jahre. Erweisen sich transgene Knollen mit einem veränderten Kohlehydratspektrum als weniger frostempfindlich, kann sich die Anzahl der Durchwuchskartoffeln in Folgekulturen erheblich erhöhen.

NEUROTH (1997)

### **Auskreuzung und Ausbreitung der Fremdgenkonstrukte**

*H62 Infolge Einkeuzung können in nicht-transgenen Kartoffelkulturen und Durchwuchskartoffeln transgene Samen reifen.*

Die ökologische Bedeutung der Auskreuzung zwischen Kartoffelpflanzen wird zum derzeitigen Kenntnisstand als gering eingeschätzt. In der Landwirtschaft erfolgt die Vermehrung von Kartoffeln in der Regel über Knollen. Eventuelle Samenvermehrung wird unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus durchgeführt, da die Samen unter den hiesigen Witterungsbedingungen im Freiland kaum ausreifen. Kommt es allerdings durch eine erhöhte Frosttoleranz der transgenen Kartoffeln bei gleichzeitig milderem Winter zu vermehrter Verwilderung und stärkerem Durchwuchs, werden Auskreuzungsereignisse an ökologischer Relevanz gewinnen.

Kartoffelpflanzen sind überwiegend selbstbefruchtend. Obwohl Pollen auch über weite Entfernungen durch Wind und Insekten verbreitet werden können, spielt die Fremdbefruchtung nur eine untergeordnete Rolle (0-20 %). Insbesondere Insekten sind am Pol-

lentransfer beteiligt. Die nektarlosen Blüten werden von einer Vielzahl verschiedener Insekten besucht.

In der hiesigen Flora sind keine potenziellen Kreuzungspartner der Kartoffel bekannt. Auskreuzungen können auf benachbarte Kartoffelkulturen, Durchwuchskartoffeln und ggf. auf vorübergehend verwilderte Kartoffelpflanzen erfolgen. Kommt es zur Reifung transgener Samen, können diese bis zu 13 Jahren im Boden keimfähig bleiben.

BECKER & ULRICH (1999), BECKER et al. (2000), NEUROTH (1997), SCHITTENHELM & HOEKSTRA (1995), SKOGSMYR (1994), TREU & EMBERLIN (2000), TYNAN et al. (1990)

### Auswirkungen auf die Fauna

*H63 Veränderungen im Kohlenhydratspektrum der Kartoffeln können zu Verschiebungen im Phytopathogen- und Phytophagenspektrum führen.*

Ein verändertes Kohlenhydratspektrum kann die Attraktivität der Kartoffel für Schaderreger und Phytophage stark verändern. Es ist denkbar, dass die Anfälligkeit gegenüber bakteriellen, pilzlichen und viralen Phytopathogenen ansteigt. Auch der Befall durch Phytophage kann zunehmen. Ferner sind Verschiebungen im Artenspektrum der Phytopathogene und Phytophagen möglich.

Vermehrter Durchwuchs durch transgene frosttolerantere Kartoffeln in Folgekulturen bzw. in Ackerrandbereichen kann außerdem die Verbreitung von Krankheiten fördern. Kartoffelspezifische Schaderreger finden dann trotz Anbaupause Wirtspflanzen und können sich im Acker halten. Als indirekte Folge eines gesteigerten Befalls der transgenen Kartoffelkulturen durch Phytophagen und Phytopathogene kann dann ein vermehrter Einsatz von Pestiziden erforderlich werden.

BECKER et al. (1998), DÜLL & KUTZELNIGG (1994), NEUROTH (1997)

Die folgende Zusammenstellung gibt eine Übersicht über die beschriebenen Hypothesen (Tab. 3).

**Tab. 3:** Tabellarische Zusammenstellung der Ursache-Wirkungshypothesen

<b>Fallübergreifende Hypothesen</b>	
H1	Inverkehrgebrachte Transgene können sich in der Umwelt ausbreiten und zu unvorhergesehenen oder späteren Umweltwirkungen führen
H2	Transgene können im Genom der Pflanzen über Positions- und Pleiotropieeffekte physiologische, morphologische und phänologische Veränderungen auslösen und darüber Modifikationen des Stoffwechsels, des Lebenszyklus und des ökologischen Verhaltens bewirken
H3	Veränderungen der Pflanzen durch Positions- und Pleiotropieeffekte können sich auf die Artenvielfalt und Abundanz von Fauna und Flora, einschließlich der Bodenzoenose auswirken

H4	Bei einem Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen gelangt das Transgen als freie DNA in den Boden und kann dort von Bodenbakterien in ihr Genom integriert werden
H5	Die Integration und Expression rekombinanter Gene in Mikroorganismen des Bodens kann Effekte auf die Artenvielfalt und Abundanz der Mikroorganismen im Boden haben und sich auf die Bodenfunktion auswirken
H6	Die Integration viraler und bakterieller Gensequenzen in das Genom der Pflanze führen zu Wechselwirkungen zwischen der transgenen Pflanze und Mikroorganismen mit homologen Genabschnitten
H7	Bei einem Anbau verschiedener Linien der gleichen Kulturart mit verschiedenen Transgenen, kann es zu einer Akkumulation von Fremdgenkonstrukten im Genom potentieller Kreuzungspartner kommen
H8	Bei einem Anbau gleicher Kulturarten mit unterschiedlichen Transgenen oder verschiedenen Kulturarten mit gleichen Fremdgenkonstrukten sind Synergien und Kombinationseffekte denkbar
H9	Der großflächige Anbau transgener Kulturpflanzen kann zu einer Verminderung bzw. Veränderung der Biodiversität von Flora und Fauna im Agrarraum führen
H10	Der Anbau transgener Kulturpflanzen kann eine großräumige Veränderung der Anbaupraxis bewirken und damit Auswirkungen auf die Biodiversität im Agrarraum haben
H11	Der großflächige Anbau transgener Kulturpflanzen kann zu einer Verschiebung von Anbauschwerpunkten und zu veränderten Landnutzungen führen und Auswirkungen auf die Lebensraumvielfalt und Biodiversität der Landschaft haben
<b>Herbizidresistenter Raps</b>	
H12	Die Samen herbizidresistenten Kulturrapses werden durch Menschen und Tiere außerhalb der Anbaufläche, oft über weite Entfernungen, verbreitet
H13	Herbizidresistenter Kulturraps kann verwildern und außerhalb der Anbaufläche ausdauernde Populationen ausbilden
H14	In Nachfolgekulturen von herbizidresistentem Raps kann herbizidresistenter Durchwuchsraps auftreten
H15	Der Pollen herbizidresistenten Rapses kann durch Wind und/oder Insekten über die Anbaufläche hinaus verbreitet werden
H16	Infolge Einkreuzung können in nicht-transgenen Rapskulturen, verwilderten Rapsbeständen und Durchwuchsraps herbizidresistente Rapssamen reifen
H17	Durch Auskreuzung zwischen herbizidresistentem Raps und verwandten Kultur- und Wildpflanzen können herbizidresistente Hybride entstehen
H18	Über Brückenarten können Fremdgenkonstrukte in weitere Arten aus der Familie der Brassicaceen gelangen und so zu einer Ausbreitung des Herbizidresistenzgens im Genpool der Brassicaceen führen
H19	Die Eigenschaft der Herbizidresistenz kann an Standorten, an denen Herbizidapplikationen erfolgen, zu einem Selektionsvorteil führen (Ackerflächen, Bahngleise u.a.) und Ausbreitungsprozesse begünstigen
H20	Bei einem Anbau verschiedener transgener Rapslinien mit Resistenzen gegen verschiedene Herbizide können mehrfachresistenter Raps (Durchwuchsraps, verwilderter Raps) und mehrfachresistente Wildkräuter entstehen
H21	Die Anwendung der Herbizidresistenztechnik kann zu einer veränderten Anbaupraxis mit mehrmaligem Einsatz von Breitbandherbiziden pro Frucht/Vegetationsperiode und variablen bzw. geänderten Applikationszeitpunkten führen
H22	Der Einsatz von Breitbandherbiziden mit variablen Applikationszeitpunkten kann eine Reduktion von Artenvielfalt und Abundanz der Ackerbegleitflora sowie der Diasporenbank im Boden bewirken

H23	Der Einsatz von Breitbandherbiziden kann die Entwicklung resistenter Ökotypen und damit eine Dominanzverschiebung hin zu Ackerwildkräutern, die nicht oder nur schwach durch das Herbizid geschädigt werden, bewirken
H24	Herbizidresistente Ackerbegleitarten und herbizidresistenter Durchwuchs können einen zusätzlichen Herbizideinsatz zur Folge haben
H25	Durch Änderungen der Spritzhöhereinstellung beim Einsatz von Breitbandherbiziden im Nachauflauf kann eine stärkere Spritzmittelabdrift erfolgen
H26	Eine erhöhte Spritzmittelabdrift kann zu Veränderungen von Artenvielfalt und Abundanz der Flora und Fauna des Ackerrains und angrenzender Biotope führen
H27	In beikrautarmen Rapsfeldern fressen Phytophage vermehrt an der Kulturpflanze
H28	Eine Reduktion der Ackerbegleitflora kann zu einem Rückgang monophager Herbivoren durch den Ausfall ihrer Wirtspflanzen führen
H29	Veränderungen in der Zusammensetzung der Ackerbegleitflora führen zu Verschiebungen des Phytophagenspektrums
H30	Veränderungen in der Artenvielfalt und Abundanz der phytophagen Wirbellosenfauna können sich auf Antagonisten und das Gefüge weiterer Nahrungsnetze auswirken
H31	Eine Reduzierung der Ackerbegleitflora kann zu Bestandsveränderungen der körner- und pflanzenfressenden Wirbeltiere führen
H32	Erfolgt ein Einsatz von Breitbandherbiziden mit erhöhten Dosen und Spätapplikationen, können toxische Wirkungen auf die Fauna im Agrarraum zunehmen
H33	Der Einsatz der Herbizidresistenztechnik kann eine Reduzierung oder Veränderung der Artenvielfalt und Abundanz der Bodenmikroflora und -fauna sowie der Bodenmeso- und Bodenmakrofauna bewirken
H34	Bestandsveränderungen der Bodenorganismen können Auswirkungen auf das Gefüge des Nahrungsnetzes und auf die Bodenfunktion haben
H35	Der Einsatz der Herbizidresistenztechnik kann die Wirksamkeit von Faktoren verändern, die Erosionen auf dem Acker beeinflussen
H36	Der Einsatz der Herbizidresistenztechnik kann Auswaschungen der Breitbandherbizide fördern und zu einer Zunahme der Herbizidkonzentration in Gewässern und im Grundwasser führen
H37	Ein verstärkter Eintrag von Breitbandherbiziden in Gewässer kann zu Schädigungen der im Wasser lebenden Organismen führen
H38	Die Aufnahme und Expression von Herbizidresistenzgenen in Bodenbakterien verschafft diesen bei Herbizideinsatz einen Konkurrenzvorteil und kann zu Dominanzverschiebungen der Mikroorganismenpopulationen führen
<b>Insektenresistenter B.t.-Mais</b>	
H39	Der Pollen von B.t.-Mais kann durch Wind und/oder Insekten über die Anbaufläche hinaus verbreitet werden
H40	Infolge von Einkreuzung können in nicht-transgenen Maiskulturen transgene Maissamen reifen
H41	Eine Reduzierung der Maiszünslerpopulationen kann zu Verschiebungen des Phytophagenspektrums im Maisfeld führen (Sekundärschädlinge)
H42	Der großflächige Anbau von B.t.-Mais fördert die Entwicklung resistenter Maiszünslerpopulationen
H43	An Mais fressende Wirbellose können durch direkte Aufnahme des B.t.-Toxins geschädigt werden
H44	Antagonisten von an Mais fressenden Phytophagen können durch indirekte Aufnahme des B.t.-Toxins über die Nahrungskette geschädigt werden

H45	Eine unbeabsichtigte Aufnahme von B.t.-Toxin exprimierenden Maispollen kann phytophage und polyphage Wirbellose innerhalb und außerhalb der Anbaufläche schädigen
H46	Eine Veränderung oder Reduzierung der Artenzusammensetzung und Abundanz phytophager Wirbelloser und ihrer Antagonisten im Agrarraum kann Auswirkungen auf das weitere Gefüge des Nahrungsnetzes haben
H47	Das B.t.-Toxin kann über lange Zeiträume im Boden persistieren, akkumulieren und biologisch wirksam bleiben
H48	Das B.t.-Toxin kann schädigend auf Bodenorganismen wirken und zu Veränderungen in der Bodenzoenose führen
H49	Bei einem großflächigen Anbau von B.t.-Mais kann es zum Eintrag und zur Anreicherung von B.t.-Toxinen in Gewässern kommen
H50	B.t.-Toxine in Gewässern können sich schädigend auf aquatische Organismen auswirken
<b>Rizomaniaresistente Zuckerrüben</b>	
H51	Der Pollen rizomaniaresistenter Zuckerrüben kann durch Wind und/oder Insekten über die Anbaufläche hinaus verbreitet werden
H52	Infolge Einkreuzung können in vorübergehend verwilderten Zuckerrübenpflanzen, Unkrautrüben, nicht-transgenen Zuckerrübenkulturen (Saatgutproduktion und Züchtung) und in Varietäten der Kulturrübe transgene Samen reifen
H53	Durch Auskreuzung zwischen transgenen rizomaniaresistenten Zuckerrüben und verwandten Wildpflanzen können rizomaniaresistente Hybride entstehen
H54	An BNYYV-kontaminierten Standorten kann die Eigenschaft der Rizomaniaresistenz ein Selektionsvorteil sein
H55	Durch Rekombination können neue Viren mit unbekannten Eigenschaften entstehen und sich in Folge ausbreiten
H56	Rekombinante Viren können veränderte Infektionsverläufe, neue Pflanzenkrankheiten sowie Änderungen im Vektorenspektrum und in der Wirtsspezifität bewirken
H57	Heterologe Entkapsidierungsereignisse können zu veränderten Infektionsverläufen und neuen Schadbildern sowie zu Änderungen im Wirts- und Vektorenspektrum führen.
H58	Werden transgene, rizomaniaresistente Zuckerrüben von anderen Viren als BNYYV infiziert, kann es zu Synergien kommen
<b>Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum</b>	
H59	Ein verändertes Kohlenhydratspektrum kann eine Erhöhung der Frosthärte der Kartoffelpflanze bzw. ihrer Überdauerungs- und Ausbreitungsorgane bewirken
H60	Eine erhöhte Frosthärte kann die Verwilderung und Etablierung von transgenen Kartoffelpflanzen außerhalb der Anbaufläche begünstigen
H61	Eine erhöhte Frosthärte kann den Durchwuchs von transgenen Kartoffelpflanzen in Nachfolgekulturen begünstigen
H62	Infolge Einkreuzung können in nicht-transgenen Kartoffelkulturen und Durchwuchskartoffeln transgene Samen reifen
H63	Veränderungen im Kohlenhydratspektrum der Kartoffeln können zu Verschiebungen im Phytophagen- und Phytopathogenspektrum führen

## **5. Konzeptvorschlag für ein Monitoring**

### **5.1 Allgemeiner Teil**

#### **5.1.1 Die Kernbereiche des Monitoring**

Die in Kapitel 4 beschriebenen Ursache-Wirkungshypothesen betreffen vielfältige ökologische Integrationsebenen (von der Autökologie bis zur Landschaftsökologie) sowie vielfältige trophische Stufen und Größenklassen von Organismen (Mikroorganismen bis hin zu Großsäugern). Sie werden in unterschiedlichen Bezugsräumen und Zeithorizonten wirksam. Um diese Wirkungszusammenhänge und ihre möglichen Folgen erkennen und dokumentieren zu können, ist es erforderlich, dass ein Monitoring folgende drei Kernbereiche umfasst:

- Dokumentation der Verbreitung und Persistenz inverkehrgebrachter Transgene in repräsentativen Umweltmedien
- Spezifisches Monitoring der ausgewählten Kulturpflanzen
- Monitoring von Wirkungszusammenhängen mit großen Bezugsräumen

#### **Dokumentation der Verbreitung und Persistenz inverkehrgebrachter Transgene in repräsentativen Umweltmedien**

Dieser Kernbereich des Monitoring ist ein wichtiges Element der allgemeinen überwachenden Beobachtung (general surveillance). Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist die Verbreitung und Persistenz von Genkonstrukten in der Umwelt schwer abschätzbar. Ein Screening von Umweltmedien auf den Verbleib von Transgenen dient der Dokumentation möglicher Ausbreitungswege und erfolgt unabhängig von erwarteten direkten und indirekten Effekten. Nachweise der DNA-Sequenzen z.B. in Boden- und Sedimentproben stellen wichtige Informationsgrundlagen für Rückschlüsse auf Wirkungszusammenhänge unvorhergesehen oder zu einem späteren Zeitpunkt auftretender Umweltwirkungen dar.

Dabei sollte der Focus nicht nur auf bei uns angebaute transgene Kulturpflanzen gelegt werden. Der Eintrag aller in Europa inverkehrgebrachten Fremdgenkonstrukte in unsere Umwelt ist möglich, sei es durch Pollenflug über Ländergrenzen hinweg oder über die Einfuhr gentechnisch veränderter Pflanzen bzw. Produkte.

#### **Spezifisches Monitoring der ausgewählten Kulturpflanzen**

Das spezifische Monitoring umfasst die Erkennung und Dokumentation von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen, für die in der EU eine Zulassung erteilt wurde. Es beinhaltet sowohl Aspekte der fallspezifischen Überwachung als auch der allgemeinen

überwachenden Beobachtung. Da eine Risikoabschätzung für jeden Einzelfall durchzuführen ist, sind die geeigneten Beobachtungsparameter von Fall zu Fall zu bestimmen. Um insbesondere erwartete direkte und indirekte sowie unmittelbare und spätere Effekte erfassen zu können, erfolgt dies zum einen hypothesengeleitet und zum anderen unter Einbeziehung ökologischer Grundlagen zu ökosystemaren Wirkungszusammenhängen und Funktionen. Beobachtungsräume des spezifischen Monitoring sind Anbauflächen der transgenen Kulturpflanzen und benachbarte Flächen sowie die weiteren möglicherweise beeinflussten Gebiete. Erfasst werden z.B. Verwilderungs- und Auskreuzungsprozesse, Effekte auf Nahrungsketten oder horizontaler Gentransfer auf Mikroorganismen und die jeweiligen Folgen.

### **Monitoring von Wirkungszusammenhängen mit großen Bezugsräumen**

Der Anbau transgener Kulturpflanzen kann zu Umweltwirkungen führen, die in sehr großen Bezugsräumen auftreten. Dazu gehören z.B. indirekte und komplexe Nahrungsketteneffekte, großräumige Veränderungen der Anbaupraxis und Flächennutzungen und deren Folgen sowie Auswirkungen auf die Biodiversität. Derartige Umwelteffekte können nur in seltenen Fällen unmittelbar auf eine bestimmte Kulturpflanzenlinie zurückgeführt werden. Werden Umweltwirkungen auf großer Skalenebene erfasst, sind weiterführende Untersuchungen zur Überprüfung von Kausalitäten erforderlich.

#### **5.1.2 Parameter**

Die ermittelten Ursache-Wirkungshypothesen bilden die Grundlage für eine Ableitung geeigneter Beobachtungsparameter. Letztere müssen so ausgewählt werden, dass darüber zentrale Wirkungszusammenhänge erfasst und die Wirkungshypothesen überprüft werden können.

Bezogen auf die vier Fallbeispiele werden drei Kategorien von Parametern unterschieden:

- Parameter, die Informationen zum allgemeinen Interpretationshintergrund liefern,
- Parameter, die spezifische Wirkungshypothesen überprüfen,
- Parameter, die ökologische Prozesse und ökosystemare Funktionen erfassen.

Wesentliche Kriterien bei der Auswahl konkreter Messgrößen sind ihre Erhebbarkeit, Handhabbarkeit und die Auswertbarkeit der gewonnenen Daten. Darüber hinaus ist die Verfügbarkeit von Referenzwerten zur Bewertung der Ergebnisse von Bedeutung. Um vorhandene Ressourcen zu nutzen und eine Einbindung des Monitoring in bestehende Programme zu erleichtern, sollte auf bewährte und bereits erhobene Parameter zurückgegriffen werden. Da es sich bei den Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen teilweise um neue Wirkungszusammenhänge handelt, ist dies nicht in jedem Fall mög-



lich. Hier müssen neue Parameter entwickelt und im Rahmen des Monitoring erprobt, optimiert und ggf. erweitert werden.

### 5.1.3 Methoden

Primäres Kriterium für die Auswahl von Methoden für ein Monitoring ist ihre Eignung, den jeweiligen Parameter zu erheben. Darüber hinaus sind Faktoren wie Handhabbarkeit, Aufwand und Grad der Standardisierung von großer Bedeutung. Auch hier wurde darauf geachtet, Methoden vorzuschlagen, die bereits in bestehenden Beobachtungsprogrammen Verwendung finden. Einheitliche Methoden sind eine wesentliche Voraussetzung für die spätere Vergleichbarkeit der erhobenen Daten. Neue Fragestellungen erfordern dagegen in manchen Fällen ein neues methodisches Handwerkszeug. Für die Erhebung zahlreicher, im Rahmen des Forschungsvorhabens abgeleiteter, Beobachtungsparameter ist es notwendig, vorhandene Methoden zu optimieren bzw. neue Erfassungsmethoden zu etablieren.

### 5.1.4 Raumbezüge

Um sicherzustellen, dass das Monitoring in verschiedenen Untersuchungsgebieten in vergleichbarer Weise durchgeführt wird, werden die zu erhebenden Parameter Raumbezügen zugeordnet. Die Grundlage hierfür sind Abschätzungen darüber, in welchen Räumen das Auftreten von Wirkungen zu erwarten ist, sie überprüfbar sind und kausal auf den Anbau der transgenen Kulturpflanzen zurückgeführt werden können.

Dabei werden zwei Ebenen des Raumbezugs unterschieden:

1. **Schlagbezogene Erhebungen.** Sie differenzieren sich in die Anbaufläche selbst, den Ackerrain und die Umgebung (als Umgebung wird hier ein Radius von ca. fünf Kilometern empfohlen, er leitet sich vom möglichen Ausbreitungsradius der Pollen ab).
2. **Erhebungen mit großen Raumbezügen.** Sie können je nach Fragestellung Regionen, Landschaften, Landkreise, einzelne Bundesländer oder die gesamte Bundesrepublik umfassen.

### 5.1.5 Referenzflächen

Referenzflächen für ein Monitoring der Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen sind in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung und den zu erhebenden Parametern auszuwählen. Grundsätzlich sollten alle Messgrößen, die im Rahmen schlagbezogener Erhebungen bearbeitet werden, also auf der Anbaufläche, dem Ackerrain oder in der Umgebung, parallel dazu auf Vergleichsflächen erfasst werden. Prinzipielles Kriterium für die Auswahl der Referenzgebiete ist, dass dort keine transgenen Kulturpflanzen kultiviert werden. Als Referenz für die Anbauflächen sind neben konventionellem Anbau für bestimmte Fragestellungen auch Flächen mit ökologischem Anbau einzu-

schließen. Referenzgebiete sollten für das Monitoring langfristig verfügbar sein und sollten daher vertraglich abgesichert werden.

### **5.1.6 Erhebungsintervall**

Die empfohlenen Erhebungsfrequenzen variieren mit den Fragestellungen und Parametern. Sie sind abhängig von den methodischen Erfordernissen, der Anzahl transgener Kulturen in der Fruchtfolge und von bestehenden Erfahrungen aus der Praxis. Die Bestimmung der Intervalle erfolgte unter der Annahme, dass pro Anbaufläche und Fruchtfolge nur eine transgene Kulturpflanze angebaut wird. Liegen nach mehreren Jahren ausreichend Erfahrungen und Datenreihen vor, können sie auf dieser Grundlage modifiziert und den Anforderungen des Monitoring angepasst werden. Aus Vorsorgegründen empfiehlt es sich, mit hinreichend hohen Erhebungsfrequenzen zu beginnen.

### **5.1.7 Auswertung der Daten**

Für die Zusammenführung und Auswertung der zu erwartenden umfangreichen Datenmengen empfiehlt sich der Einsatz einer Datenbank, in der die verschiedenen Parameterwerte miteinander verknüpft und Abfrageroutinen entwickelt werden können. Über ein Geographisches Informationssystem (GIS) können die räumlichen Informationen aus verschiedenen Raumskalen kartographisch ausgewertet werden. Mit Hilfe implementierbarer Geostatistik lassen sich dann z.B. Beziehungen zwischen Landschafts- und Artendiversität herstellen. Ein gekoppeltes System aus GIS und Datenbank sollte möglichst zentral verwaltet und laufend aktualisiert werden.

## **5.2 Spezieller Teil**

In diesem speziellen Teil des Konzeptes werden konkrete Umsetzungsvorschläge für ein Monitoring der vier Fallbeispiele vorgestellt. Er beinhaltet die tabellarische Aufstellung und Erläuterung konkreter Parameter, Methoden, Raumbezüge und Erhebungsintervalle zu jedem der Kernbereiche des Monitoring (Kap. 5.2.1 – 5.2.3). Die Methoden werden zusammenfassend in einem anschließenden Kapitel (Kap. 5.2.4) beschrieben. Ergänzende Erläuterungen zur Auswahl von Parametern im Bereich Boden und zur Erfassung der Fauna gibt Kap. 5.2.5.

### **5.2.1 Dokumentation der Verbreitung und Persistenz inverkehrgebrachter Transgene in repräsentativen Umweltmedien**

Grundlage dieses Kernbereiches des Monitoring ist das Risiko, dass inverkehrgebrachte Transgene sich in Umweltmedien ausbreiten und zu unvorhergesehenen oder späteren Umweltwirkungen führen können (Hypothese 1). Bei einer Überprüfung dieser Hypo-

these geht es nicht um den Nachweis von Wirkungen, sondern um eine vorsorgende Dokumentation der Verbreitung und Persistenz von Transgenen in der Umwelt. Informationen über den Verbleib von Transgenen können eine wesentliche Basis für die Herstellung kausaler Bezüge bei einem Auftreten späterer oder unvorhergesehener Umwelteffekte sein.

Die Dokumentation der Verbreitung und Persistenz von Fremdgenkonstrukten erfolgt über ein Screening relevanter Umweltmedien. Zentrale Fragestellung ist dabei, welche Genkonstrukte in welchen Medien in verfügbarer Form vorliegen. Geeignet für ein Screening sind zum einen Umweltmedien, die über große Räume integrieren und potenziell Transgene akkumulieren und zum anderen Medien, über die eine Ausbreitung von Fremdgenkonstrukten stattfindet.

In Bezug auf transgene Kulturpflanzen sind die Umweltkompartimente Luft und Boden sowie Gewässersedimente von entscheidender Bedeutung. Während der Blütezeit können transgene Pollen in hohen Konzentrationen in der Luft vorkommen. Sie werden über den Wind oft über weite Entfernungen verdriftet. Der Nachweis von in der Umwelt vorhandenen transgenen Pollen kann darüber hinaus über die Analyse von Honig- oder Bienenbrotproben erfolgen. Ein Eintrag rekombinanter DNA in den Boden ist über viele Wege möglich. Dort wo transgene Pflanzen nicht direkt angebaut werden, können transgene Konstrukte z.B. über Pollenflug, Kompost, Klärschlamm oder durch Tiere (Ausscheidungen, Samen) in den Boden gelangen. Freie DNA-Fragmente sind in der Lage, durch Adsorption an Bodenpartikel zu akkumulieren und über lange Zeiträume zu persistieren (WACKERNAGEL & LORENZ 1994). Außerdem können Fremdgenkonstrukte über Transformationsprozesse in das Genom von Bodenbakterien integriert werden (ECKELKAMP et al. 1998). Infolge von Auswaschungen aus dem Boden nach Niederschlägen oder durch Pollenflug können Transgene in Gewässer eingetragen werden. Auch hier ist es möglich, dass DNA-Abschnitte an Partikel adsorbieren und sich im Sediment anreichern (ECKELKAMP et al. 1998).

Transgene Kulturpflanzen bzw. ihre Fremdgenkonstrukte können über Kompost, Klärschlamm sowie den Magen/Darm-Inhalt bzw. die Ausscheidungen von Tieren in der Umwelt verbreitet werden. Kompostierte Pflanzen oder Pflanzenbestandteile werden nicht immer vollständig zersetzt. Noch intakte Gewebestücke oder Pflanzenzellen werden mit dem Kompost auf landwirtschaftliche Flächen, aber auch in Parks, Grünanlagen oder private Gärten verbracht. Fremdgenkonstrukte können so in die jeweiligen Böden gelangen. Über Abwässer in Kläranlagen eingebrachte freie bzw. im Zersetzungsprozess frei werdende DNA-Fragmente transgener Kulturpflanzen können an Klärflocken adsorbieren und sind so vor einer weiteren Degradation temporär geschützt (ECKELKAMP et al. 1998). Klärschlamm wird vielfach auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht. Ein weiterer Ausbreitungspfad rekombinanter DNA-Konstrukte in der Umwelt sind Wildtiere, die transgene Kulturpflanzen fressen. Samen können nach einer Magen-Darmpassage noch lebensfähig sein, über Ausscheidungen verbreitet werden und ggf. außerhalb der Anbauflächen keimen. Außerdem erfolgt im Verdauungstrakt kein voll-

ständiger Abbau von Nukleinsäuren, deshalb können über Ausscheidungen u.U. biologisch aktivierbare Transgene im Aktionsradius der Tiere in den Boden gelangen.

Wird eine repräsentative Beprobung der in Frage kommenden Umweltmedien durchgeführt, fallen große Probenmengen unterschiedlichster Herkunft und Zusammensetzung an. Zwei Vorgehensweisen im Umgang mit den Proben sind sinnvoll. Zum einen können sie unmittelbar einem Screening auf Fremdgenkonstrukte unterzogen werden. Zum anderen ist eine Lagerung der gewonnenen Proben in einer Probenbank sinnvoll, damit sie für spätere Fragestellungen und Untersuchungen verfügbar sind.

In Tab. 4 wird eine Übersicht über die im Rahmen dieses Kernbereiches zu untersuchenden Umweltmedien gegeben. Als geeignete Nachweismethoden werden die DNA-Chip-Technologie und die Real time PCR vorgeschlagen. Eine ausführliche Erläuterung dieser Methoden erfolgt in Kap. 5.4.2.

**Tab. 4:** Monitoring der Verbreitung und Persistenz inverkehrgebrachter Transgene in Umweltmedien

Parameter	Methode	Erhebungsintervall
<b><i>DNA-Screening von Umweltmedien</i></b>		
Nachweis von Transgenen in	- DNA-Chip-Technologie	
- Luft/Pollen	- Real time PCR (z. B. TaqMan™ - Assay)	wöchentlich bis zwei- wöchentlich während der Vegetationsperiode
- Honig, Bienenbrot/Pollen		jährlich
- Bodenproben		jährlich
- Gewässersedimente		jährlich im Spätherbst
<b><i>DNA-Screening potenzieller Vektoren</i></b>		
Nachweis von Transgenen in	- DNA-Chip-Technologie	
- Kompost	- Real time PCR (z. B. TaqMan™ - Assay)	Vierteljährlich
- Klärschlamm		Vierteljährlich
- Magen- /Darminhalt bzw. Ausscheidungen von Wild- tieren		Vierteljährlich

### **5.2.2 Spezifisches Monitoring der ausgewählten Kulturpflanzen**

Die Darstellung des spezifischen Monitoring von herbizidresistentem Raps, insektenresistentem Mais, virusresistenten Zuckerrüben und Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum gliedert sich in fünf Abschnitte. Zunächst werden die Basisparameter für ein spezifisches Monitoring erläutert (Kap. 5.2.2.1). Anschließend wird für jedes Fallbeispiel eine tabellarische Übersicht der zu erhebenden Parameter, Methoden, Raumbezüge und Erhebungsintervalle gegeben und erläutert (Kap. 5.2.2.2 – 5.2.2.5). Dazu werden alle für die jeweilige Kultursorte als relevant angesehenen Parameter aufgelistet. Parameter, die für mehrere Kulturarten zu erheben sind, wurden entsprechend mehrfach aufgeführt. Dadurch ist es möglich, die Arten unabhängig voneinander zu diskutieren. Die getrennte Darstellung der Monitoring-Konzepte zu den vier Fallbeispielen hat den Vorteil einer besseren Übersichtlichkeit und Handhabbarkeit. Um die Eigenständigkeit der einzelnen Konzepte zu erreichen, waren Doppelungen in den Ausführungen nicht zu vermeiden.

Die vorgeschlagenen Methoden werden in Kapitel 5.2.4 beschrieben. Ergänzende Erläuterungen zur Auswahl von Parametern im Bereich Boden und zur Erfassung der Fauna gibt Kap. 5.2.5.

#### **5.2.2.1 Basisparameter**

Um die im Rahmen eines Monitoring erhobenen Daten auswerten, interpretieren und in einen ökologischen Zusammenhang stellen zu können, sind eine ganze Reihe von Grundlageninformationen erforderlich. Für die vier Fallbeispiele sind dies insbesondere Informationen zur Struktur des Testgebietes, zu den landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmassnahmen sowie zum Klima und Witterungsverlauf (Tab. 5).

Daten zum Klima und Witterungsverlauf werden kontinuierlich vom Deutschen Wetterdienst und den Ländermessstationen erhoben und können für ein Monitoring genutzt werden. Das Bundesgebiet ist von einem Netz zahlreicher Messstationen überzogen (siehe Kapitel 7).

Von großer Bedeutung für die Interpretation der erhobenen Daten und die Herstellung kausaler Bezüge ist eine genaue Kenntnis aller Eingriffe und Maßnahmen, die auf der jeweiligen Anbaufläche getätigt werden. Für die kontinuierliche Dokumentation eignen sich rechnergestützte Schlagkarteien.

Daten über die Struktur des Testgebietes sollten einmalig bei der Einrichtung erhoben werden. Dies kann direkt vor Ort und/oder unter Zuhilfenahme von Luft- bzw. Satellitenbildern und anderen Kartenmaterialien erfolgen. Für viele Regionen liegen bereits flächendeckende Biotopkartierungen vor. Ggf. sind die Daten um weitere, für das Monitoring erforderlichen Informationen zu ergänzen.

**Tab. 5:** Parameter zur landwirtschaftlichen Praxis und zur Standortcharakterisierung auf ausgewählten Test- und Referenzflächen

Parameter	Methode/Erhebungsart	Erhebungsintervall
<i>Landwirtschaftliche Bewirtschaftungsmassnahmen</i>		
Bearbeitung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datum</li> <li>• Anzahl der Arbeitsgänge</li> <li>• Art der Bearbeitung (Pflügen etc.)</li> <li>• Bearbeitungstiefe (cm)</li> </ul> Mineralische Düngung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datum</li> <li>• Düngemitteltyp (Name)</li> <li>• Ausbringungsmenge</li> <li>• Entwicklungsstadium des Bestandes</li> </ul> Organische Düngung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datum</li> <li>• Düngerart (Stallmist, Kompost etc.)</li> <li>• Ausbringungsmenge</li> <li>• Entwicklungsstadium des Bestandes</li> </ul> Saat <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datum</li> <li>• Fruchtart</li> <li>• Saat-, Pflanzstärke (Gewicht bzw. Anzahl pro ha)</li> </ul> Pflanzenschutz <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datum</li> <li>• Pflanzenschutz-, Pflanzenbehandlungsmittel (Wirkstoff)</li> <li>• Auslöser der Applikation</li> <li>• Ausbringungsmenge / Fläche</li> <li>• Art der Applikation (Bandapplikation, Flächenapplikation)</li> <li>• Applikationstechnik (verwendete Düsen etc.)</li> <li>• Entwicklungsstadium des Bestandes</li> </ul> Ernte <ul style="list-style-type: none"> <li>• Datum</li> <li>• Art der Ernterückstände</li> <li>• Verbleib der Ernterückstände</li> </ul>	Protokollierung aller Eingriffe und Maßnahmen  Rechnergestützte Schlagkartei	zum jeweiligen Eingriffszeitpunkt

Parameter	Methode/Erhebungsart	Erhebungsintervall
<i>Klima und Witterungsverlauf</i>		
Niederschlagsmenge Niederschlagsintensität Sonnenscheindauer Lufttemperatur Relative Luftfeuchte Windgeschwindigkeit Windrichtung Klimazonen	Nutzung vorhandener Datenreihen des Deutschen Wetterdienstes und der Ländermessstationen	je nach Verfügbarkeit der Daten, täglich bzw. monatlich
<i>Daten zum schlagbezogenen Erhebungsgebiet</i>		
Topographie <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geländehöhe</li> <li>• Längen- und Breitengrad</li> </ul> Bodentyp Anbaufläche <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seitenlänge / Form / Flächengröße</li> <li>• Exposition</li> <li>• Relief</li> </ul> Ackerrain <ul style="list-style-type: none"> <li>• Breite/Flächengröße</li> </ul> Umgebung <ul style="list-style-type: none"> <li>• Topographie</li> <li>• Biotopstruktur</li> <li>• Nutzung</li> </ul>	Rechnergestützte Schlagkartei GPS GIS-Karten (soweit vorhanden) Biotoptypenkartierung Bodenkarten (siehe auch Kap.5.2.2.2 – 5.2.2.5, Bodenparameter)	einmalige Erhebung

### 5.2.2.2 Herbizidresistenter Raps

Auf der Grundlage der ermittelten Wirkungshypothesen (Kap. 4) sind im Rahmen des spezifischen Monitoring von herbizidresistentem Raps folgende Wirkungspfade und die sich daraus ergebenden Umweltwirkungen prioritär zu überprüfen:

- Verwilderung, Ausbreitung und Etablierung transgener Rapspflanzen  
(H2, H3, H7, H8, H12, H13, H16, H19, H20)
- Auskreuzung von Fremdgenkonstrukten in potenzielle Kreuzungspartner, Etablierung und Ausbreitung der Hybride  
(H2, H3, H7, H8, H15, H17, H18, H19, H20)
- Durchwuchs transgener Rapspflanzen in Folgekulturen  
(H2, H3, H7, H8, H14, H16, H19, H20, H24)
- Auswirkungen der Herbizidresistenztechnik auf die Ackerbegleitflora und Flora des Ackerrains  
(H9, H17, H19, H20, H21, H22, H23, H24, H25, H26)
- Entwicklung resistenter Ackerbegleitkräuter  
(H17, H19, H23, H24)
- Auswirkungen des Anbaus herbizidresistenten Rapses auf die Phytophagenfauna (insbesondere mono- und oligophage Arten der Ackerbegleitflora) und deren Antagonisten  
(H9, H27, H28, H29, H30, H32)
- Auswirkungen des Anbaus herbizidresistenten Rapses auf Vögel und Kleinsäuger des Agrarraumes  
(H30, H31, H32)
- Auswirkungen des Anbaus herbizidresistenten Rapses auf die Bodenzönose und Bodenfunktion  
(H2, H3, H4, H5, H6, H21, H24, H32, H33, H34, H35, H38)
- Horizontaler Gentransfer auf Bodenmikroorganismen  
(H4, H5)
- Eintrag und Auswirkungen der Breitbandherbizide und Metabolite in Gewässern  
(H32, H36, H37)

Eine detaillierte Zusammenstellung der Parameter und Methoden, anhand derer die Wirkungshypothesen überprüft werden sollen, gibt Tab. 6. Erläuterungen zu den Parametern werden im Anschluss gegeben.



**Tab. 6:** Monitoring von Umweltwirkungen herbizidresistenten Rapses auf ausgewählten Probenflächen, Referenzflächen und Untersuchungsräumen  
 x: Parameter ist in dem Raumbezug zu erheben

	Hypo-thesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
A		Bodenphysikalische Parameter						
	H2, H3, H4, H5, H34	Korngrößenverteilung Bodenart	DIN 19683-2 Bodenkundliche Kartieranleitung	x				einmalig bei Untersu- chungs- beginn
		Rohdichte, trocken	DIN 19 683-12	x				jährlich im Frühjahr
		Bodenchemische Parameter						
		pH	DIN 19 684-1, DIN ISO 10 390-7	x				jährlich im Frühjahr
		Cges, Corg	DIN 19 684-2 DIN ISO 10 694	x				alle 5 Jahre
		Nges	DIN 19684-4 DIN ISO 11 261-8	x				alle 5 Jahre
		C/N Verhältnis	C/N-Analyser	x				alle 5 Jahre
		Pflanzenverfügbares P, K, Mg, Ca	Extraktion nach EIGNER-RIEHM 1960 (SCHLICHTING et al. 1995)	x				jährlich im Frühjahr
		Carbonatbestimmung	DIN 19 684-5	x				jährlich im Frühjahr
		Wassergehalt	DIN 19 683-4	x				jährlich im Frühjahr
		Kationenaustauschkapazität KAKpot	DIN 1968-8 DIN ISO 13536	x				jährlich im Frühjahr

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
B		Rückstandsanalysen						
	H21, H24, H32, H33	Rückstandsanalyse Glyphosat und Metabolite	Hochdruck-flüssigchromatographische Bestimmung (nach COWELL et al. in RÖDEL et al. 1999)	x	x			je nach Fruchtfolge und Herbizid-applikation
		Rückstandsanalyse Glufosinat und Metabolite	Gaschromatische Bestimmung (nach SOCHOR in RÖDEL et al. 1999)	x	x			je nach Fruchtfolge und Herbizid-applikation
C		Bodenmikrobiologische Parameter						
	H2, H3, H4, H5, H6, H33, H34, H38	Mikrobielle Biomasse	Substrat-induzierte Respiration (nach ANDERSON & DOMSCH 1978 und HEINEMEYER et al. 1989)  DIN ISO 14 240-1  Fumigations-Extraktions-Methode (nach VANCE et al. 1987)  DIN ISO 14 240-2 (torfige und tonige Böden)	x				jährlich im Frühjahr
		Mikrobielle Basalatmung	Durchflussverfahren (DOMSCH 1962) beschrieben bei HEINEMEYER et al. (1989) oder Bestimmung der O2-Aufnahme nach SCHINNER et al. (1993), DIN 19 737	x				jährlich im Frühjahr
		Metabolischer Quotient	ANDERSON & DOMSCH (1990)	x				jährlich im Frühjahr
		N-Mineralisation	Anaerober Brutversuch (SCHINNER et al. 1993)	x				jährlich im Frühjahr

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
		Diversität Bodenmikroorganismen	<i>DNA-Fingerprint-Methoden:</i> TGGE (Temperature Gradient Gel Electrophoresis) DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) SSCP-Analyse (Single- Strand Conformation Polymorphism) T-RFLP (Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism)	x				jährlich im Frühjahr
		Rekombinante DNA im Boden	PCR (Polymerase Chain Reaction) DNA-Chip-Technologie	x				jährlich im Frühjahr
<b>D</b>		<i>Bodenzoologische Parameter</i>						
	H2, H3, H4, H5, H9, H32, H33, H34	Lumbriciden - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Handauslese (GRAEFE 1991, BAUCHHENS 1997) Senf-Austreibung (GRAEFE 1991 bzw. Graefe in DUNGER & FIEDLER 1997)	x	(x)			jährlich im Frühjahr
		Kleinanneliden - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Nassextraktion (GRAEFE 1991 bzw. Graefe in DUNGER & FIEDLER 1997)	x	(x)			jährlich im Frühjahr
		Collembolen - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach KEMPSON et al. 1963 (DUNGER & FIEDLER 1997)	x	(x)			jährlich im Frühjahr

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
		Nematoden - Familienspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach OOSTENBRINK (in SOUTHEY 1986)	x	(x)			jährlich im Frühjahr
		Gamasinen - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach KEMPSON et al. 1963 (DUNGER & FIEDLER 1997)	x	(x)			jährlich im Frühjahr
		Freßaktivität / Umsatzleistung	Streubeuteltest nach DUNGER & FIEDLER 1997	x	(x)			Halbjährlich im Frühjahr und Herbst
<b>E</b>		<i>Erfassung der Bodenerosion</i>						
	H35	Kartierung aktueller Erosionsformen (Wasser)	DVWK-Merkblatt 239 (1996)	x				jährlich zu Beginn der Vegetationsperiode sowie ereignisabhängig
		Kartierung aktueller Erosionsformen (Wind)	NEEMANN (1991) und NEEMANN et al. (1991)	x				ereignisabhängig

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
F		Verwilderungs- und Ausbreitungspotenzial von Brassica napus						
	H2, H3, H7, H8, H12, H13, H16, H19, H20	Floristische Kartierung von Raps (Brassica napus)  Molekularer Nachweis <ul style="list-style-type: none"><li>- Transgen</li><li>- Mehrfachherbizidresistenz</li><li>- Transgen-Akkumulation</li></ul>	Floristische Häufigkeitsschätzskala nach GARVE (1994)  PCR / DNA-Chip-Technologie		x	x	x	jährlich im Frühjahr und Sommer
	H2, H3, H7, H8, H12, H13, H16, H19, H20	Etablierung und Entwicklung von transgenen und nicht-transgenen Rapspopulationen (Brassica napus) <ul style="list-style-type: none"><li>- Vergesellschaftung,</li><li>- Deckungsgrad,</li><li>- Dichte,</li><li>- Vitalität</li><li>- Phänologie</li></ul>	Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen: <ul style="list-style-type: none"><li>- Artenspektrum,</li><li>- Deckungsgrad nach PFADENHAUER et al. (1986)</li></ul> Zielarten: <ul style="list-style-type: none"><li>- Individuenzahl,</li><li>- Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991)</li><li>- Phänophase nach DIERSCHKE (1994)</li></ul>	(x)	x	x	x	jährlich im Frühjahr und Sommer
	H2, H3, H7, H8, H14, H16, H19, H20, H24	Erfassung transgenen Durchwuchsrapses <ul style="list-style-type: none"><li>- Dichte</li><li>- Vitalität</li></ul> Molekularer Nachweis <ul style="list-style-type: none"><li>- Transgen</li><li>- Mehrfachherbizidresistenz</li><li>- Transgen-Akkumulation</li></ul>	Individuenzahl, Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991)  PCR / DNA-Chip-Technologie	x		x		jährlich, je nach Kulturart

[illegible]

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H7, H8, H15, H17, H18, H19, H20	Etablierung und Entwicklung transgener und nicht-transgener Kreuzungspartner - Vergesellschaftung, - Deckungsgrad, - Dichte, - Vitalität, - Phänologie	Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen: - Artenspektrum, - Deckungsgrad nach PFADEN-HAUER et al. (1986) Zielarten: - Individuenzahl, - Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991) - Phänophase nach DIERSCHKE (1994)	(x)     (x)	x  x  x  x	x  x  x  x		jährlich im Frühjahr und Sommer
<b>H</b>		<i>Herbizidresistenztechnik</i>						
	H9, H17, H19, H20, H21, H22, H23, H24	Erfassung der Ackerbegleitflora - Deckungsgrad - Vitalität	Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen: - Artenspektrum - Deckungsgrad nach PFADEN-HAUER et al. (1986) - Vitalität MURMANN-KRISTEN (1991)	x  x  x				jährlich im Frühjahr und Herbst
	H9, H21, H25, H26	Erfassung der Flora des Ackerrains - Deckungsgrad - Vitalität	Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen: - Artenspektrum - Deckungsgrad nach PFADEN-HAUER et al. (1986) - Vitalität MURMANN-KRISTEN (1991)		x  x  x			jährlich im Frühjahr und Sommer
	H9, H21, H22, H23	Diasporenbank - Artenzusammensetzung - Abundanz - Keimfähigkeit	Diasporenbankuntersuchung im Auflaufverfahren oder mit der Schlamm- Methode nach DIERSCHKE (1994)	x	x			Entnahme der Bodenproben im Frühjahr

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
I		Terrestrische Wirbellosenfauna						
	H2, H3, H9, H27, H28, H29, H30, H32	<b>hypergäische Phytophage</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von (Chrysomelidae), Curculionidae Aphidina, Symphyta ggf. weitere Taxa	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978), quantitative Käschermethode nach WITSACK (1975)	x	x	x		jährlich in den Monaten April bis September
		<b>phytophage Zielarten im Raps:</b> Befallsschäden, Aktivitätsdichte/Populationsdichte Chrysomelidae: - <i>Psyllioides chrysocephala</i> - <i>Phyllotreta nemorum</i> , <i>P. undulata</i> , <i>P. nigripes</i> Curculionidae: - <i>Ceutorhynchus assimilis</i> , <i>C. napi</i> , <i>C. quadridens</i> Nitidulidae: - <i>Meligethes aeneus</i> Hymenoptera: - <i>Apis mellifica</i> ggf. weitere Arten	u.a. Klopfmethode (FRITZ-KÖHLER 1996), Exhaustor, Auszählung der Befallsschäden an Raps (MÜHLE et al. 1983)	x	x	x		jährlich in Abhängigkeit von Aktivitätsphasen der Zielarten (z.B. Raps-erdfloh im Herbst)



	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
		<b>phytophage Zielarten an Beikräutern</b> Artendiversität, Befallsschäden, Aktivitätsdichte/Populationsdichte, z.B. - <i>Ceutorhynchus gerhardti</i> - <i>Omphalapion hookeri</i> (Curculionidae)	Klopfmethode (FRITZ-KÖHLER 1996), Exhaustor, Auszählung der Befallsschäden an Beikräutern (MÜHLE et al. 1983)	x	x	x		jährlich in Abhängigkeit von Aktivitätsphasen der Zielarten
	H2, H3, H9, H30, H32	<b>epigäische Prädatoren</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von Araneae, Carabidae  <b>hypergäische Prädatoren</b> Aktivitätsdichte/Populationsdichte von Coccinellidae: - <i>Propylaea 14-punctata</i> - <i>Coccinella 7-punctata</i> - <i>Adalia bipunctata</i>	Bodenfallen nach BARBER (1931), Fangrahmen (MÜHLE et al. 1983)  d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978)	x	x			jährlich in den Monaten März bis Oktober  jährlich in den Monaten April bis September
	H2, H3, H9, H30, H32	<b>Parasitoide</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von - Pteromalidae, - Eulophidae, - Chalcidoidea, - Proctotrupidea	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978), quantitative Käschermethode nach WITSACK (1975), Bodenfallen nach BARBER (1931)	x	x			jährlich in den Monaten April bis September

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
		Aktivitätsdichte/Populationsdichte z.B. von <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Trichomalus perfectus</i>,</li> <li>- <i>Euytoma curculionum</i> (Hymenoptera)</li> </ul>	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978)	x	x			jährlich in Abhängigkeit von Aktivitätsphasen der Zielarten
<b>J</b>		<i>Wirbeltierfauna</i>						
	H2, H3, H9, H30, H32	<b>insektivore Kleinsäuger</b> Relative Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwergspitzmaus (<i>Sorex minutus</i>)</li> <li>- Waldspitzmaus (<i>Sorex araneus</i>)</li> </ul>	Auswertung der Bodenfallen (Beifang) nach BARBER (1931) bzw. Schlagfallen nach SYKORA (1978)	x	x	x		jährlich in den Monaten März bis Oktober
	H2, H3, H9, H31, H32	<b>herbivore Kleinsäuger</b> Artenspektrum und relative Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feldmaus (<i>Microtus arvalis</i>)</li> <li>- Waldmaus (<i>Apodemus silvaticus</i>)</li> <li>- Gelbhalsmaus (<i>Apodemus flavicollis</i>)</li> </ul>	Auswertung der Bodenfallen (Beifang) nach BARBER (1931) bzw. Schlagfallen nach SYKORA (1978)	x	x	x		jährlich in den Monaten März bis Oktober
	H2, H3, H9, H30, H32	<b>größere prädatorische Vogelarten</b> Absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kornweihe (<i>Circus cyaneus</i>)</li> <li>- Wiesenweihe (<i>Circus pygargus</i>)</li> <li>- Mäusebussard (<i>Buteo buteo</i>)</li> </ul>	Zählmethoden nach BIBBY et al. (1992)			x	x (aufgrund großer Raumansprüche)	jährlich in den Monaten März bis Juni

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H9, H31, H32	<b>± pflanzen- und körnerfressende Vögel</b> Artenspektrum aller Brutvogelarten, absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feldsperling (<i>Passer montanus</i>),</li> <li>- Grauammer (<i>Emberiza calandra</i>)</li> </ul> Reproduktionsraten	Kriterien für Bruthinweise nach BIBBY et al. (1992)  Nesterkontrollmethode (SCHOPPENHORST 1996)	x  x	x  x	x  x		jährlich in den Monaten März bis Juni  jährlich in den Monaten März bis Juni
	H2, H3, H9, H30, H32	<b>± carnivore Kleinvögel</b> Artenspektrum aller Brutvogelarten, absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schafstelze (<i>Motacilla flava</i>),</li> <li>- Feldlerche (<i>Alauda arvensis</i>),</li> <li>- Rebhuhn (<i>Perdix perdix</i>),</li> <li>- Kiebitz (<i>Vanellus vanellus</i>)</li> <li>- ggf. andere Arten</li> </ul> Reproduktionsraten	Kriterien für Bruthinweise nach BIBBY et al. (1992)  Nesterkontrollmethode (SCHOPPENHORST 1996)	x  x	x  x	x  x		jährlich in den Monaten März bis Juni  jährlich in den Monaten März bis Juni
	H2, H3, H9, H30, H32	<b>Sing- und Zwergschwan</b> ( <i>Cygnus cygnus</i> , <i>C. bewickii</i> ) [in Flußbauengebieten] Bestandsdichte	Raumnutzungsanalyse nach SPILLING (1998)	x		x	x (aufgrund großer Raumansprüche)	jährlich in den Monaten Oktober bis März

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
K		Oberflächengewässer und Grundwasser						
	H32, H36, H37	Rückstandsanalyse von Glufosinat und Metabolite in Oberflächenwasser und Grundwasser	Gaschromatische Bestimmung nach SOCHOR et al. (in FISCHER et al. 1997)			x	x	je nach Fruchtfolge
		Rückstandsanalyse von Glyphosat und Metabolite in Oberflächenwasser und Grundwasser	Hochdruckflüssigchromatographische Bestimmung nach COWELL et al. (in FISCHER et al. 1997)			x	x	im Jahr des Raps-Anbaus
		Artendiversität und Dominanzstrukturen der Gewässerzönose	Makro- biologische Feldmethoden nach SCHWOERBEL (1994)			x	x	im Jahr des Raps-Anbaus

**Anmerkungen zu Tab. 6****Überprüfung der Wirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion  
(Abschnitt A-E, Tab. 6)**

Aufgrund des geringen Kenntnisstandes über mögliche langfristige Auswirkungen des Anbaus von herbizidresistentem Raps auf die Artenzusammensetzung und Funktion des Bodens wurden Parameter ausgewählt, die ein möglichst breites Spektrum ökologischer Prozesse abdecken. Sie umfassen neben bodenphysikalischen und bodenchemischen Parametern, bodenbiologische und bodenzoologische Erhebungen sowie Beobachtungen zur Bodenerosion. In den meisten Fällen handelt es sich um bewährte Messgrößen. Sofern inhaltlich möglich, erfolgte ihre Auswahl in enger Anlehnung an das Boden-Dauerbeobachtungsflächenprogramm (BDF), das bereits bundesweit Bodenuntersuchungen mit einheitlichen Methoden durchführt (Kapitel 6). Eine ausführliche Erläuterung der ökologischen Bedeutung der ausgewählten Bodenparameter erfolgt in Kap. 5.2.5.

Neu eingeführt werden die Parameter mikrobielle Diversität und Nachweis rekombinanter DNA im Boden. Treten infolge des Anbaus transgener herbizidresistenter Kulturpflanzen Veränderungen in der Arten- und Dominanzstruktur der Bodenmikroorganismen auf, kann sich dies auf das Nahrungskettengefüge und auf Bodenfunktionen auswirken. Ein direkter Nachweis von Transformationsereignissen im Boden ist unter derzeitigem Kenntnisstand praktisch nicht möglich. Im Rahmen des Monitoring wird daher zunächst der Nachweis von rekombinanter DNA in Bodenproben empfohlen. Fällt er positiv aus sind weitergehende Untersuchungen vorzunehmen, um einen eventuellen horizontalen Gentransfer zu detektieren.

Ein Monitoring von Umweltwirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion sollte zunächst auf der Anbaufläche der transgenen Kulturpflanzen beginnen. Je nach Erkenntnisstand können die Untersuchungsorte im Verlauf des Monitoring auf andere Biotope ausgedehnt werden. Als Referenzstandorte sind entsprechend Anbauflächen ohne transgene Kulturpflanzen auszuwählen. Um jahreszeitliche Einflüsse auf die Untersuchungsergebnisse auszuschließen, sollte die Entnahme von Bodenproben einheitlich im Frühjahr erfolgen. Hinsichtlich der Anzahl von Parallelproben und der Entnahmetiefe wird hier auf die Angaben des Boden-Dauerflächenbeobachtungsprogramms verwiesen (LABO 2000). Für die physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Untersuchungen werden auf Ackerstandorten 20 über die Fläche verteilte Proben mit einer Entnahmetiefe von 0-20 cm empfohlen. Die Anleitungen zur Bodenbearbeitung und Bodenlagerung erweisen sich auch für DNA-Fingerprintmethoden als gut geeignet (WIELAND mündl. 2002). Für die zoologischen Untersuchungen werden in der Regel 10-20 Parallelproben mit gruppenspezifischen Bodenausschnitten und Bodentiefen empfohlen (ROSENKRANZ et al. 1988). Als Erhebungsintervall werden für die biologischen Parameter jährliche bis vierteljährliche Untersuchungen empfohlen. Die Frequenz kann im Verlauf des Monitoring den Erfordernissen angepasst werden.

### Überprüfung der Wirkungen auf Flora und Vegetation (Abschnitt F-H, Tab. 6)

Um die aufgeführten Wirkungspfade und die sich daraus ergebenden Folgen überprüfen zu können, sind Erhebungen auf populations- und vegetationsökologischer Ebene sowie molekulare Untersuchungen erforderlich. Wesentliche Voraussetzung für eine Abschätzung der Verwildierungs- und Ausbreitungsdynamik sowie des Auskreuzungspotenzials von Raps ist die Kenntnis über Vorkommen von verwilderten Rapspflanzen und Kreuzungspartnern (Tab. 7). Im Rahmen von floristischen Kartierungen sind Arten, Häufigkeiten und Wuchsorte der entsprechenden Pflanzen möglichst flächendeckend zu dokumentieren. Über eine Entnahme von Pflanzenproben und die Durchführung molekularer Analysen kann festgestellt werden ob es sich um gentechnisch veränderte Kulturpflanzen handelt bzw. ob Auskreuzungen und ggf. Transgen-Akkumulationen stattgefunden haben.

**Tab. 7:** Zielarten der floristischen Kartierung und molekulargenetischen Analysen

verwildeter Raps	<i>Brassica napus</i>
Rübsen	<i>Brassica rapa</i>
Hederich	<i>Raphanus raphanistrum</i>
Ackersenf	<i>Sinapis arvensis</i>
Grausenf	<i>Hirschfeldia incana</i>
Sarepta-Senf	<i>Brassica juncea</i>
Französische Hundsrauke	<i>Erucastrum gallicum</i>
Schwarzer Senf	<i>Brassica nigra</i>
Schmalblättriger Doppelsame	<i>Diplotaxis tenuifolia</i>
Mauer-Doppelsame	<i>Diplotaxis muralis</i>

Die Liste der zu kartierenden potenziellen Kreuzungspartner von Raps ist nicht vollständig. Eine Auswahl der Zielarten für ein Monitoring ist dem Kenntnisstand über mögliche Auskreuzungen und dem Verbreitungsgebiet der jeweiligen Pflanzenarten anzupassen.

Werden außerhalb der Anbaufläche Pflanzen erfasst, die Fremdgenkonstrukte in ihrem Genom aufweisen, sind sie in einem zweiten Schritt eingehenden Beobachtungen hinsichtlich Entwicklung, Etablierung und ökologischem Verhalten zu unterziehen. Um ein möglichst breites Spektrum an möglichen Veränderungen der Pflanzen bzw. der Phytozönose über einen langen Zeitraum erfassen zu können, wird die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen empfohlen. Geeignete Erhebungsparameter sind nach derzeitigem Kenntnisstand Vergesellschaftung und Deckungsgrad sowie Dichte, Vitalität und phänologischer Zustand. Die Vergesellschaftung gibt Auskunft über die Vegetation und damit über den Lebensraum und die Standortbedingungen in denen die Zielart aufgelaufen ist. Anhand des Artenspektrums und des Deckungsgrades auf der Dauerfläche und der Dichte der Zielart können Veränderungen der Dominanzstruktur und eine eventuelle Invasivität der Populationen festgestellt werden. Der Parameter Vitalität gibt darüber hinaus detaillierte Hinweise auf die Fitness, die Konkurrenzkraft

und das Reproduktionsvermögen der Zielart. Veränderungen im Lebenszyklus können über die Erhebung des phänologischen Zustandes erfasst werden. Von besonderer Bedeutung sind u.a. Blühzeiträume, da synchrone Blühphasen Voraussetzung für Auskreuzungsereignisse sind.

Die Entwicklung, Etablierung und das ökologische Verhalten der Zielarten kann durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden. Eine Interpretation der erhobenen Daten nach den möglichen kausal wirkenden Faktoren erfordert daher die Einbeziehung von Basisparametern (Kap. 5.2.2.1) wie Nutzung, Bodenbedingungen, Klima und Witterungsverlauf. Darüber hinaus ist der Eintrag von Breitbandherbiziden zu ermitteln, da er bedeutenden Einfluss auf die Konkurrenzfähigkeit der Zielarten haben kann. Als Referenz sollten Dauerflächen mit Populationen der jeweiligen Zielarten ohne Fremdgenkonstrukt eingerichtet und parallel untersucht werden.

Ein zentraler Wirkungspfad auf der Anbaufläche herbizidresistenten Rapses ist das Auftreten von transgenem Durchwuchsraps in Nachkulturen und die daraus entstehenden Folgen. Für ein Monitoring werden die Parameter Dichte der Durchwuchspflanzen, molekularer Nachweis des Transgens und Vitalität empfohlen. Sie geben nicht nur Auskunft über die Häufigkeit von Durchwuchspflanzen in Folgekulturen, sondern auch über ihre Fitness und das Reproduktionsvermögen. Durchwuchspflanzen können auch über Auskreuzung rekombinante Gensequenzen in ihrem Genom enthalten. In die Untersuchungen sind also auch Flächen mit konventionellem und ökologischem Anbau der jeweiligen Kultursorten einzubeziehen, sofern auf diesen Flächen ein Eintrag möglich war. Geeignete Referenzstandorte sind Flächen, auf denen nicht-transgene Kulturpflanzen in identischer Fruchtfolge und –mit Ausnahme des Herbizideinsatzes– möglichst gleichen Bearbeitungsmaßnahmen angebaut werden.

Der Einsatz der Herbizidresistenztechnik kann über verschiedene Wege Veränderungen in der Diversität der Ackerbegleitflora und der Flora des Ackerrains bewirken. Die Beobachtungsparameter müssen so ausgewählt werden, dass eine mögliche Reduzierung der Ackerbegleitflora und der Flora des Ackerrains erfasst wird. Gleichzeitig muss aber auch die Entwicklung von herbizidresistenten Ökotypen sowie durch Auskreuzung entstandene, herbizidresistente Kreuzungspartner auf der Anbaufläche und im Ackerrain erhoben werden. Auch hier wird die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen empfohlen. Verschiebungen der Artenzusammensetzung und der Dominanzstruktur werden über den Deckungsgrad erfasst. Zusätzlich zur jeweils aktuellen Vegetation sind Diasporenbanken im Boden anhand von Keimpotenzialuntersuchungen zu überprüfen. Potenzielle Kreuzungspartner werden über die Erhebungen auf den Dauerflächen miterfasst. Eine Entnahme von Pflanzenproben mit anschließender molekularbiologischer Analyse dient dem Nachweis von Auskreuzungsereignissen. Können durch Auskreuzung transgene Pflanzen auf der Anbaufläche oder im Ackerrain nachgewiesen werden, ist für sie auch der Parameter Vitalität zu erheben.

Diversität und Abundanz der Flora des Ackers und des Ackerrains werden stark durch landwirtschaftliche Bewirtschaftungsmaßnahmen bestimmt. Um kausale Bezüge zur

Herbizidresistenztechnik herstellen zu können, müssen alle Eingriffe dokumentiert und in die Interpretation einbezogen werden (Kap. 5.2.2.1). Als Referenz dienen Flächen ohne den Anbau herbizidresistenter Kulturen also Flächen ohne den Einsatz der Herbizidresistenztechnik (Herbizide können hier nur im Voraufbau-Verfahren eingesetzt werden).

Die Untersuchungen sind zunächst in jedem Jahr durchzuführen. Dies gewährleistet in der Anfangsphase des Monitoring die Erfassung des Ausgangszustandes. Im Verlauf des Monitoring sollten die Intervalle überprüft und ggf. modifiziert werden. Für Erhebungen außerhalb der Anbaufläche eignen sich die Zeiträume Frühjahr und Sommer. Damit werden zwei wesentliche Phasen der Vegetationsentwicklung abgedeckt. Als Zeitpunkte für Untersuchungen der Ackerbegleitflora auf der Anbaufläche eignen sich das Frühjahr (vor und während der Blüte des Rapses) und Herbst. Im Herbst ist mit einem Einsatz von Breitbandherbiziden im Nachaufbau zu rechnen.

### **Überprüfung der Wirkungen auf die epi- und hypergäische Arthropodenfauna und Wirbeltiere (Abschnitt I-J, Tab. 6)**

Die zu erwartenden Wirkungen des Anbaus von HR-Raps auf epi- und hypergäische Arthropoden und Wirbeltiere können sich auf zwei ökologischen Ebenen, der Ebene der Population und der Ebene der Zoozönose manifestieren. Veränderungen der Populationen von Tierarten lassen sich im Rahmen des Monitoring anhand von Abundanz messen. Kausalanalytische Interpretationen dieser Daten setzen die Einbeziehung von Basisparametern (z.B. Witterungsbedingungen, Landschaftsstrukturen) voraus. Eine wichtige Basis der Auswertung sind geeignete Referenzflächen, vor deren Hintergrund sich Abundanzmuster im Gebiet des Anbaus von HR-Raps interpretieren lassen.

Veränderungen von Zoozönosen lassen sich über mehrere Parameter messen, z.B. Dominanzstrukturen und Artendiversität. Die Interpretation dieser Daten macht, ebenso wie populationsbiologische Daten, ein System von Referenzflächen notwendig.

Angeichts der Artenfülle, insbesondere von Insektengruppen in Ackerflächen ist ein komplexer und schwieriger Abwägungsprozess notwendig, um geeignete Zielarten und Zielartengruppen für das Monitoring auszuwählen. Neben der ökologischen Aussagekraft der Arten bzw. Artengruppen sind Faktoren wie Bestimmungsaufwand, Erfassbarkeit, Artenreichtum, Spezialisierungsgrad und Kenntnisstand zu berücksichtigen. Erläuternde Hintergründe für die hier getroffene Auswahl von Zielarten und Zielartengruppen gibt Kap. 5.2.5.

Hinsichtlich der epi- und hypergäischen Arthropoden richtet sich die Ordnung der Tabelle nach Straten bzw. trophischer Stufe der Tiergruppen und differenziert zwischen den zöologischen und populationsbiologischen Parametern. Diese Einteilung wurde gewählt, um möglichst strikt Wirkungen des herbizidresistenten Rapses nach Trophie, Stratum und ökologischer Organisationsebene trennen zu können. Zoozoologische Daten zur hypergäischen Phytophagenfauna werden anhand von Blatt- und Rüsselkäfern (Chrysomelidae, Curculionidae), Blattläusen (Aphidina) und Blattwespen



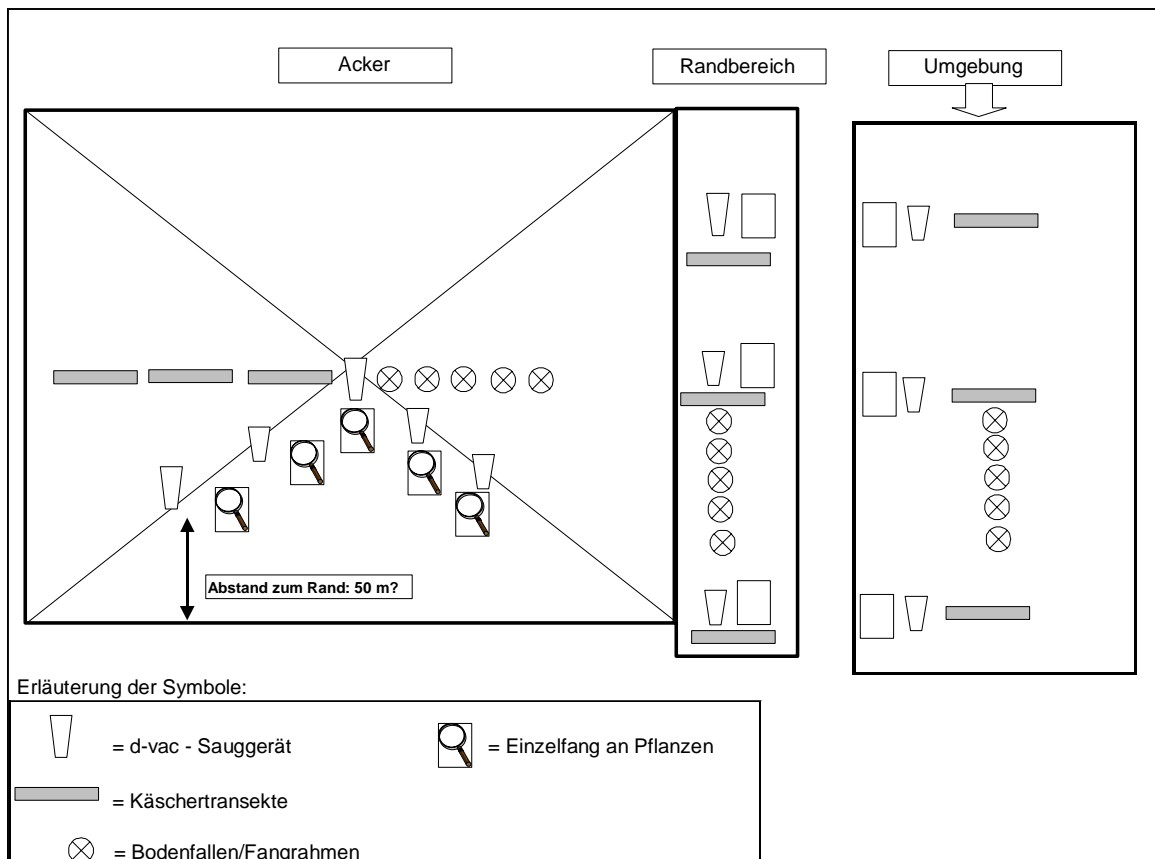
(Symphyta) erhoben, wobei ggf. bei starken regionalen Unterschieden andere Taxa ausgewählt werden müssen. Populationsbiologische Daten werden unter den Phytophagen für ausgewählte Zielarten innerhalb der Blatt-, Rüssel- und Glanzkäfer (Nitidulidae) erhoben, die an Raps selbst bzw. Beikräutern auftreten. Unter den epigäischen Prädatoren werden Spinnen (Araneae) und Laufkäfer (Carabidae) erfaßt, bei den hypergäischen Prädatoren Marienkäfer (Coccinellidae). Zöologische und populationsbiologische Daten zu Parasitoiden werden an ausgewählten Familien bzw. Arten aus der Ordnung der Hymenoptera (Hautflügler) erhoben.

In der Wirbeltierfauna wird in Tab. 7 bei Vögeln nach karnivoren, pflanzen- bzw. körnerfressenden und größeren prädatorischen Vogelarten unterschieden, bei Kleinsäufern zwischen Insektivoren und Herbivoren. Die beispielhaft genannten Wirbeltierarten sind bisher kaum nach ihrem Verbreitungsschwerpunkt in den vier im Rahmen des Forschungsvorhabens bearbeiteten Kultursorten differenzierbar. Sollten sich lokal andere als die genannten Arten als dominant erweisen, kann eine Modifizierung des Artenspektrums erforderlich sein. In Rapsfeldern sollten neben den standardmäßig erhobenen Arten insbesondere in Flußauengebieten auch das Rastvogelgeschehen erfaßt werden, da hier Sing- und Zwergschwan in größeren Beständen auftreten können.

Zur Erfassung der Gastvogelbestände sind Untersuchungen von Herbst bis Frühjahr nötig. Alle anderen Methoden sollten ab März begonnen und bis September bzw. Oktober eingesetzt werden, da in diesem Zeitraum die Aktivitätsphasen der Tierarten liegen. Bei der Erfassung der epigäischen Fauna sollte auch während der Sommermonate beprobt werden, da dann in der Spinnenfauna die Hauptaktivität vieler Arten liegt (BLICK, mdl. 2002). Bei der Kleinsäugererfassung und den Bodenfallen kommt es zu einem kontinuierlichen Ausfang mit monatlichen Wechselintervallen, alle anderen Methoden erfassen dagegen zeitlich punktuell. Bei der Klopfmethode bzw. der Entnahme von Pflanzenteilen richtet sich der Zeitpunkt der Probenahme entscheidend nach den Aktivitätsphasen der Zielarten.

Das räumliche Konzept beruht auf der parallelen Beprobung von drei Flächenkategorien, d.h. Acker, Ackerrain und Umgebung und der Paralleluntersuchung dieser drei Flächentypen in den Referenzflächen, d.h. Flächen ohne Anbau transgener Kulturpflanzen. Daraus ergeben sich also insgesamt sechs Flächen (3 x GVP + 3 x Referenz), innerhalb derer jeweils die Einzelproben für die Wirbellosenfauna genommen werden (Abb. 1). Bei der Erfassung der Brutvögel können flächendeckend Acker, Ackerrain und Umgebung an einem Beobachtungsdatum erfaßt werden. Dabei wird bei der Kartierung der Randbereich des Ackers und Ackerraines abgegangen und dabei der nähere Umkreis der Umgebung miterfaßt. Dieses Design aus Flächen mit transgenen Pflanzen und Referenzflächen (mit den Untereinheiten Acker, Rain und Umgebung) wird hier als Untersuchungseinheit (UE) bezeichnet. Abweichend von diesem räumlichen Raster müssen größere prädatorische Vogelarten in einem weiteren Umkreis erfaßt werden, da ihre Raumansprüche sehr groß sind.

Es bleibt noch zu spezifizieren., wo die Proben in der „Umgebung“ des Ackers lokalisiert werden sollen. Auf der Ackerfläche selbst sollte ein möglicher Randeffekt mitbedacht werden. Als Faustgröße für den Abstand der Proben vom Ackerrand werden hier bei großen Ackerflächen 50 m vorgeschlagen, ein Abstand, der bei kleinen Feldern verringert werden muss.



**Abb. 1:** Raumkonzept für eine Untersuchungseinheit (=UE)

### Überprüfung von Wirkungen auf Gewässerökosysteme (Abschnitt K, Tab. 6)

Für ein Monitoring des Breitbandherbizideintrags infolge der Herbizidresistenztechnik sind insbesondere kleinere Fließ- und Stillgewässer von Interesse, in deren Einzugsgebiet die Anbauflächen von HR-Raps liegen. Werden im Rahmen von Rückstandsanalysen erhöhte Werte festgestellt, sind mögliche Auswirkungen auf die Artendiversität und Dominanzstruktur der Gewässerzönose (Gewässerflora, Wirbellosenfauna und Fischfauna) zu ermitteln.

### 5.2.2.3 Insektenresistenter (B.t.)-Mais

Auf der Grundlage der ermittelten Wirkungshypothesen (Kap. 4) sind im Rahmen des spezifischen Monitoring von insektenresistentem (B.t.)-Mais folgende Wirkungspfade und die sich daraus ergebenden Umweltwirkungen prioritär zu überprüfen:

- Auswirkungen des Anbaus von B.t.-Mais auf Phytophage, Antagonisten und das weitere Gefüge des Nahrungsnetzes  
(H2, H3, H9, H41, H46)
- Wirkung des B.t.-Toxins auf Wirbellose durch direkte und indirekte Aufnahme innerhalb und außerhalb der Mais-Anbaufläche  
(H39, H43, H44, H45)
- Resistenzentwicklung von Maiszünslerpopulationen  
(H42)
- Eintrag und Persistenz des B.t.-Toxins im Boden und die Auswirkungen des Toxins auf die Bodenzönose und Bodenfunktion  
(H47, H48)
- Horizontaler Gentransfer auf Bodenmikroorganismen  
(H4, H5)
- Eintrag von B.t.-Toxinen in Gewässersysteme und die Auswirkungen auf aquatische Organismen  
(H49, H50)

Eine detaillierte Zusammenstellung der Parameter und Methoden, anhand derer die Wirkungshypothesen überprüft werden sollen gibt Tab. 8. Erläuterungen zu den Parametern werden im Anschluss gegeben.

**Tab. 8:** Monitoring der Umweltwirkungen von B.t.-Mais auf ausgewählten Probenflächen, Referenzflächen und Untersuchungsräumen

X: Parameter ist in dem Raumbezug zu erheben

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
A		Bodenphysikalische Parameter						
	H2, H3, H4, H5	Korngrößenverteilung Bodenart	DIN 19683-2 Bodenkundliche Kartieranleitung	x				einmalig bei Untersuchungsbeginn
		Rohdichte, trocken	DIN 19 683-12	x				jährlich im Frühjahr
		Bodenchemische Parameter						
		pH	DIN 19 684-1, DIN ISO 10 390-7	x				jährlich im Frühjahr
		Cges, Corg	DIN 19 684-2 DIN ISO 10 694	x				alle 5 Jahre
		Nges	DIN 19684-4 DIN ISO 11 261-8	x				alle 5 Jahre
		C/N Verhältnis	C/N-Analyser	x				alle 5 Jahre
		Pflanzenverfügbares P, K, Mg, Ca	Extraktion nach EGNER-RIEHM 1960 (SCHLICHTING et al. 1995)	x				jährlich im Frühjahr
		Carbonatbestimmung	DIN 19 684-5	x				jährlich im Frühjahr
		Wassergehalt	DIN 19 683-4	x				jährlich im Frühjahr
	Kationenaustauschkapazität KAKpot	DIN 19684-8 DIN ISO 13536	x				jährlich im Frühjahr	

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
B		Rückstandsanalysen						
	H47	Rückstandsanalyse B.t.-Toxin	ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay)	x				vor und nach der Aussaat von Mais, nach der Ernte, dann jährlich im Frühjahr
C		Bodenmikrobiologische Parameter						
	H2, H3, H4, H5, H6, H48	Mikrobielle Biomasse	Substrat-induzierte Respiration (nach ANDERSON & DOMSCH 1978 und HEINEMEYER et al. 1989)  DIN ISO 14 240-1  Fumigations-Extraktions-Methode (nach VANCE et al. 1987)  DIN ISO 14 240-2 (torfige und tonige Böden)	x				jährlich im Frühjahr
		Mikrobielle Basalatmung	Durchflussverfahren (DOMSCH 1962) beschrieben bei HEINEMEYER et al. (1989) oder Bestimmung der O <sub>2</sub> -Aufnahme nach SCHINNER et al. (1993), DIN 19 737	x				jährlich im Frühjahr
		Metabolischer Quotient	ANDERSON & DOMSCH (1990)	x				jährlich im Frühjahr
		N-Mineralisation	Anaerober Brutversuch (SCHINNER et al. 1993)	x				jährlich im Frühjahr

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H4, H5, H6, H48	Diversität Bodenmikroorganismen	<i>DNA-Fingerprint-Methoden:</i> TGGE (Temperature Gradient Gel Electrophoresis) DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) SSCP-Analyse (Single- Strand Conformation Polymorphism) T-RFLP (Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism)	x				jährlich im Frühjahr
		Rekombinante DNA im Boden	PCR (Polymerase Chain Reaction) DNA-Chip-Technologie	x				jährlich im Frühjahr
<b>D</b>		<i>Bodenzoologische Parameter</i>						
	H2, H3, H4, H5, H9, H48	Lumbriciden - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Handauslese (GRAEFE 1991, BAUCHHENß 1997) Senf-Austreibung (GRAEFE 1991 bzw. Graefe in DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Kleinanneliden - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Nassextraktion (GRAEFE 1991 bzw. Graefe in DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Collembolen - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach KEMPSON et al. 1963 (DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H4, H5, H9, H48	Nematoden - Familienspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach OOSTENBRINK (SOUTHEY 1986)	x				jährlich im Frühjahr
		Gamasinen - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach KEMPSON et al. 1963 (DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Freßaktivität / Umsatzleistung	Streubeutelttest nach DUNGER & FIEDLER 1997	x				halbjährlich im Frühjahr und Herbst
		Zeitweilig im Boden lebende Arten	Extraktion nach KEMPSON et al. 1963 und Nassextraktion (in DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich je nach Zielgruppe
		Rhizophage Arten	Extraktion nach KEMPSON et al. 1963 und Nassextraktion (in DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich je nach Zielgruppe
<b>E</b>		<i>Terrestrische Wirbellosenfauna</i>						
	H2, H3, H9, H41, H42, H43, H45, H46	<b>hypergäische Phytophage</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von Lepidoptera, Chloropidae, Aphidina, Elateridae, Chrysomelidae	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978), quantitative Käschermethode nach WITSACK (1975)	x	x	x		jährlich in den Monaten April bis September

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H9, H41, H42, H43, H45, H46	<b>phytophage Zielarten im Mais:</b> Befallsschäden, Aktivitätsdichte/Populationsdichte Lepidoptera: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Ostrinia nubilalis</i></li> <li>- <i>Agrotis segetum</i></li> <li>- <i>Phytometra gamma</i></li> </ul> Aphidae: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Rhopalosiphum maidis</i></li> </ul> Carabidae: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Zabrus tenebrioides</i></li> </ul> Hymenoptera <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Apis mellifica</i></li> </ul> ggf. weitere Arten	Klopfmethode (FRITZ-KÖHLER 1996), Exhaustor, Auszählung der Befallsschäden an Mais (MÜHLE et al. 1983)	x	x	x		jährlich in Abhängigkeit von Aktivitätsphasen der Zielarten
	H2, H3, H9, H44, H45, H46	<b>epigäische Prädatoren</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von Araneae, Carabidae	Bodenfallen nach BARBER (1931), Fangrahmen (MÜHLE et al. 1983)	x	x			jährlich in den Monaten März bis Oktober
		<b>hypergäische Prädatoren</b> Aktivitätsdichte/Populationsdichte von <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Orius spec.</i> (Anthocoridae)</li> </ul> Coccinellidae <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Propylaea 14-punctata</i></li> <li>- <i>Coccinella 7-punctata</i></li> <li>- <i>Adalia bipunctata</i></li> </ul>	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978)	x	x			jährlich in den Monaten April bis September



	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H9, H44, H45, H46	<b>Parasitoide</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von Braconidae - Ichneumonidae, ggf. andere Hymenopterengruppen  Aktivitätsdichte/Populationsdichte z.B. von - <i>Macrocentrus grandii</i> - <i>Eriborus terebrans</i> (Hymenoptera)	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978), quantitative Käschermethode nach WITSACK (1975), Bodenfallen nach BARBER (1931)  d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978)	x	x			jährlich in den Monaten April bis September  jährlich in Abhängigkeit von Aktivitätsphasen der Zielarten
<b>F</b>		<i>Wirbeltierfauna</i>						
	H2, H3, H9, H46	<b>insektivore Kleinsäuger</b> Relative Häufigkeit von Zwergspitzmaus ( <i>Sorex minutus</i> ) Waldspitzmaus ( <i>Sorex araneus</i> ) Zwergmaus ( <i>Micromys minutus</i> )	Bodenfallen nach BARBER (1931) und Schlagfallen nach SYKORA (1978)	x	x	x		jährlich im April/ Mai und Sept./ Okt.
	H2, H3, H9, H46	<b>herbivore Kleinsäuger</b> Artenspektrum und relative Häufigkeit von - Feldmaus ( <i>Microtus arvalis</i> ) - Waldmaus ( <i>Apodemus silvaticus</i> ) - Gelbhalsmaus ( <i>Apodemus flavicollis</i> )	Auswertung der Bodenfallen (Beifang) nach BARBER (1931) bzw. Schlagfallen nach SYKORA (1978)	x	x	x		jährlich im April /Mai und September /Oktober

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H9, H46	<b>± carnivore Kleinvögel</b> Artenspektrum aller Brutvogelarten, absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schafstelze (<i>Motacilla flava</i>),</li> <li>- Feldlerche (<i>Alauda arvensis</i>),</li> <li>- Rebhuhn (<i>Perdix perdix</i>),</li> <li>- Kiebitz (<i>Vanellus vanellus</i>)</li> </ul> Reproduktionsraten	Kriterien für Bruthinweise nach BIBBY et al. (1992)       Nesterkontrollmethode (SCHOPPENHORST 1996)	x	x	x		jährlich in den Monaten März bis Juni       jährlich in den Monaten März bis Juni
	H2, H3, H9, H46	<b>größere prädatorische Vogelarten</b> Absolute Häufigkeit von Kornweihe ( <i>Circus cyaneus</i> ) Wiesenweihe ( <i>Circus pygargus</i> ) Mäusebussard ( <i>Buteo buteo</i> )	Zählmethoden nach BIBBY et al. (1992)				x (aufgrund großer Raumansprüche)	jährlich in den Monaten März bis Juni
	H2, H3, H9, H46	<b>± pflanzen- und körnerfressende Vögel</b> Artenspektrum aller Brutvogelarten, absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feldsperling (<i>Passer montanus</i>),</li> <li>- Grauammer (<i>Emberiza calandra</i>), ggf. andere Arten</li> </ul> Reproduktionsraten	Kriterien für Bruthinweise nach BIBBY et al. (1992)       Nesterkontrollmethode (SCHOPPENHORST 1996)	x	x	x		jährlich in den Monaten März bis Juni       jährlich in den Monaten März bis Juni

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H9, H46	<b>Kranich</b> ( <i>Grus grus</i> ) [in bestimmten Regionen] Bestandsdichte	Raumnutzungsmuster nach SPILLING (1998)	x			x	jährlich in den Monaten Oktober bis März
<b>G</b>		<i>Oberflächengewässer</i>						
	H49, H50	Rückstandsanalyse von B.t.-Toxinen in Wasserkörper und Sediment	ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay)			x		während und nach dem Mais-Pollenflug
		Populationsdichte ausgewählter Arten der Makroinvertebraten	Flotationsverfahren, Einsatz von Bodengreifern nach SCHWOERBEL (1994)			x		Im Jahr des Maisanbaus und im Folgejahr monatlich

## **Anmerkungen zu Tab. 8**

### **Überprüfung der Wirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion (Abschnitt A-D, Tab. 8)**

Aufgrund des geringen Kenntnisstandes über mögliche langfristige Auswirkungen des Anbaus von B.t.-Mais auf die Artenzusammensetzung und Funktion des Bodens wurden Parameter ausgewählt, die geeignet sind, ein möglichst breites Spektrum ökologischer Prozesse abzudecken. Sie umfassen neben bodenphysikalischen und bodenchemischen Parametern, bodenbiologische und bodenzoologische Erhebungen. In den meisten Fällen handelt es sich um bewährte Messgrößen. Sofern inhaltlich möglich, erfolgte ihre Auswahl in enger Anlehnung an das Boden-Dauerbeobachtungsflächenprogramms (BDF), das bereits bundesweit Bodenuntersuchungen durchführt (Kapitel 6). Eine ausführliche Erläuterung der ökologischen Bedeutung der ausgewählten Bodenparameter erfolgt in Kap. 5.2.5.

Neu eingeführt werden die Parameter "mikrobielle Diversität" und "Nachweis rekombinanter DNA im Boden". Treten infolge des Anbaus von Bt-Mais Veränderungen in der Arten- und Dominanzstruktur der Bodenmikroorganismen auf, kann sich dies auf das Nahrungskettengefüge und auf Bodenfunktionen auswirken. Ein direkter Nachweis von Transformationsereignissen im Boden ist unter derzeitigem Kenntnisstand praktisch nicht möglich. Im Rahmen des Monitoring wird daher zunächst der Nachweis von rekombinanter DNA in Bodenproben empfohlen. Fällt er positiv aus, sind weitergehende Untersuchungen vorzunehmen, um einen eventuellen horizontalen Gentransfer zu detektieren.

Ein Monitoring von Umweltwirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion sollte zunächst auf der Anbaufläche des Bt-Mais beginnen. Je nach Erkenntnisstand können die Untersuchungsorte im Verlauf des Monitoring auf andere Biotope ausgedehnt werden. Als Referenzstandorte sind entsprechend Anbauflächen ohne Bt-Mais auszuwählen. Um jahreszeitliche Einflüsse auf die Untersuchungsergebnisse auszuschließen, sollte die Entnahme von Bodenproben einheitlich im Frühjahr erfolgen. Hinsichtlich der Anzahl von Parallelproben und der Entnahmetiefe wird hier auf die Angaben des Boden-Dauerflächen-beobachtungsprogramms verwiesen (LABO 2000). Für die physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Untersuchungen werden auf Ackerstandorten 20 über die Fläche verteilte Proben mit einer Entnahmetiefe von 0-20 cm empfohlen. Die Anleitungen zur Bodenbearbeitung und Bodenlagerung erweisen sich auch für DNA-Fingerprintmethoden als gut geeignet (WIELAND mündl. 2002). Für die zoologischen Untersuchungen werden in der Regel 10-20 Parallelproben mit gruppenspezifischen Bodenausschnitten und Bodentiefen empfohlen (ROSENKRANZ et al. 1988). Als Erhebungsintervall werden für die biologischen Parameter jährliche bis vierteljährliche Untersuchungen empfohlen. Die Frequenz kann im Verlauf des Monitoring den Erfordernissen angepasst werden.

### **Überprüfung der Wirkungen auf die epi- und hypergäische Arthropodenfauna und Wirbeltiere (Abschnitt E-F, Tab. 8)**

Die zu erwartenden Wirkungen des Anbaus von Bt-Mais auf epi- und hypergäische Arthropoden und Wirbeltiere können sich auf zwei ökologischen Ebenen, der Ebene der Population und der Ebene der Zoozönose manifestieren. Veränderungen der Population von Tierarten lassen sich im Rahmen des Monitoring anhand von Abundanzen messen. Kausalanalytische Interpretationen dieser Daten setzen die Einbeziehung von Basisparametern (z.B. Witterungsbedingungen, Landschaftsstrukturen) voraus. Eine wichtige Basis der Auswertung sind geeignete Referenzflächen, vor deren Hintergrund sich Abundanzmuster im Gebiet des Anbaus von Bt-Mais interpretieren lassen.

Veränderungen von Zoozönosen lassen sich über mehrere Parameter messen, z.B. Dominanzstrukturen und Artendiversität. Die Interpretation dieser Daten macht, ebenso wie populationsbiologische Daten, ein System von Referenzflächen notwendig.

Angesichts der Artenfülle insbesondere von Insektengruppen in Ackerflächen ist ein komplexer und schwieriger Abwägungsprozess notwendig, um geeignete Zielarten und Zielartengruppen für das Monitoring auszuwählen. Neben der ökologischen Aussagekraft der Arten bzw. Artengruppen sind Faktoren wie Bestimmungsaufwand, Erfassbarkeit, Artenreichtum, Spezialisierungsgrad und Kenntnisstand zu berücksichtigen. Erläuternde Hintergründe für die hier getroffene Auswahl von Zielarten und Zielartengruppen gibt Kap. 5.2.5.

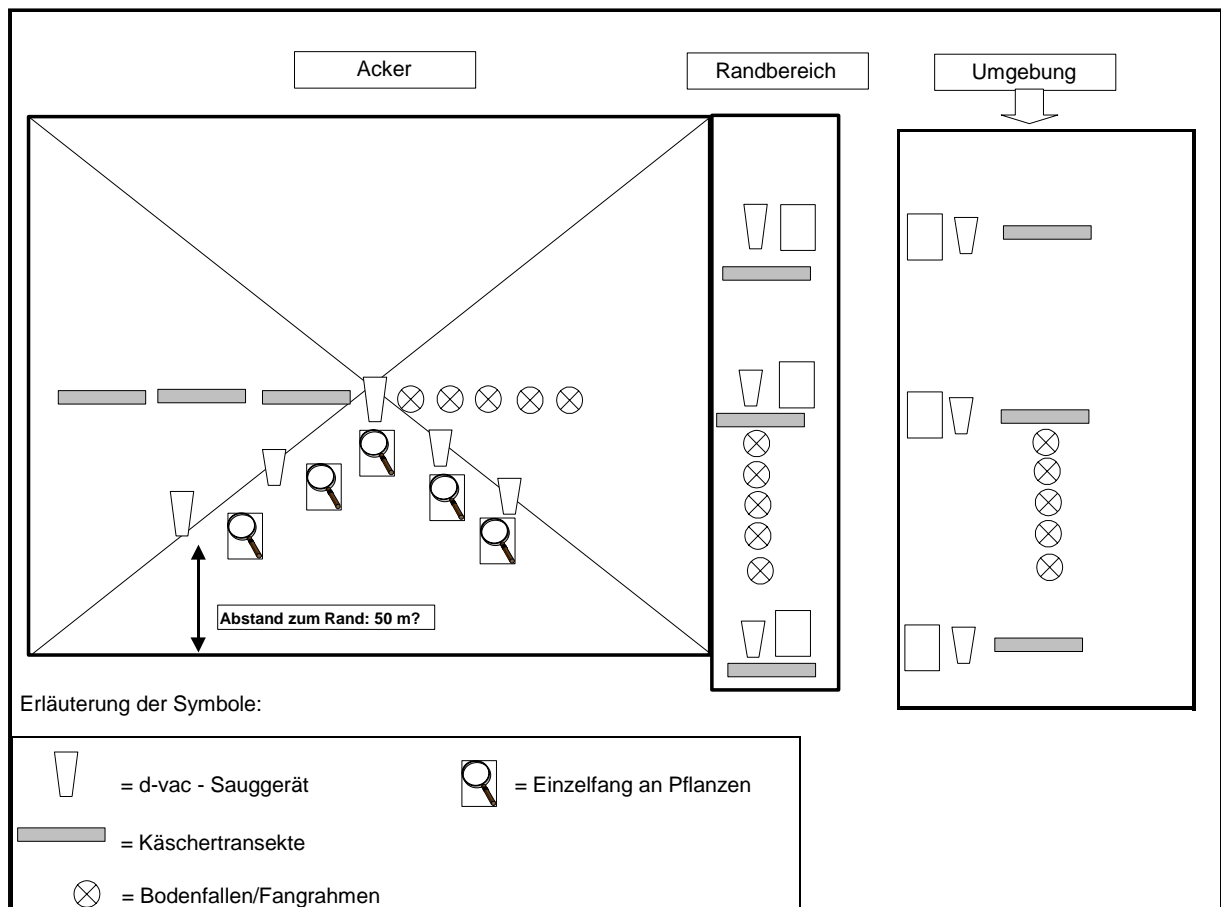
Hinsichtlich der epi- und hypergäischen Arthropoden richtet sich die Ordnung der Tabelle nach Straten bzw. trophischer Stufe der Tiergruppen und differenziert zwischen den zöologischen und populationsbiologischen Parametern. Diese Einteilung wurde gewählt, um möglichst strikt Wirkungen des Bt Mais nach Trophie, Stratum und ökologischer Organisationsebene trennen zu können. Unter den hypergäischen Phytophagen wird die Zoozönose anhand der in Mais zu erwartenden Taxa innerhalb der Schmetterlinge, Halmfliegen (Chloropidae), Blattläuse, Schnellkäfer (Elateridae) und Blattkäfer untersucht. Aus diesen Taxa rekrutieren sich auch mögliche Zielarten. Unter den epigäischen Prädatoren sind neben den Marienkäfern Vertreter der "Blumenwanzen" (Anthocoridae) zu erwarten. Parasitoide rekrutieren sich aus diversen Hautflüglerfamilien.

In der Wirbeltierfauna wird in Tab. 8 bei Vögeln nach karnivoren, pflanzen- bzw. körnerfressenden und größeren prädatorischen Vogelarten unterschieden, bei Kleinsäugern zwischen Insektivoren und Herbivoren. Die beispielhaft genannten Wirbeltierarten sind bisher kaum nach ihrem Verbreitungsschwerpunkt in den vier im Rahmen des Forschungsvorhabens bearbeiteten Kultursorten differenzierbar. Sollten sich lokal andere, als die genannten Arten als dominant erweisen, kann eine Modifizierung des Artenspektrums erforderlich sein. In Maisfeldern sollten in bestimmten Regionen neben den standardmäßig erhobenen Arten die Rastbestände des Kranichs (*Grus grus*) untersucht werden.

Zur Erfassung der Gastvogelbestände sind Untersuchungen von Herbst bis Frühjahr nötig. Alle anderen Methoden sollten ab März begonnen und bis September bzw. Oktober eingesetzt werden, da in diesem Zeitraum die Aktivitätsphasen der Tierarten liegen. Bei der Erfassung der epigäischen Fauna sollte auch während der Sommermonate beprobt werden, da dann in der Spinnenfauna die Hauptaktivität vieler Arten liegt (BLICK, mdl. 2002). Bei der Kleinsäugererfassung und den Bodenfallen kommt es zu einem kontinuierlichen Ausfall mit monatlichen Wechselintervallen, alle anderen Methoden erfassen dagegen zeitlich punktuell. Bei der Klopfmethode bzw. der Entnahme von Pflanzenteilen richtet sich der Zeitpunkt der Probenahme entscheidend nach den Aktivitätsphasen der zu erfassenden Arten.

Das räumliche Konzept beruht auf der parallelen Beprobung von drei Flächenkategorien, d.h. Acker, Ackerrain und Umgebung und der Paralleluntersuchung dieser drei Flächentypen in den Referenzflächen, d.h. Flächen ohne Anbau transgener Kulturpflanzen. Daraus ergeben sich also insgesamt sechs Flächen (3 x GVP + 3 x Referenz), innerhalb derer jeweils die Einzelproben für die Wirbellosenfauna genommen werden (Abb. 2). Bei der Erfassung der Brutvögel können flächendeckend Acker, Ackerrain und Umgebung an einem Beobachtungsdatum erfasst werden. Dabei wird bei der Kartierung der Randbereich des Ackers und Ackerraines abgegangen und dabei der nähere Umkreis der Umgebung miterfasst. Dieses Design aus Flächen mit transgenem Mais und Referenzflächen (mit den Untereinheiten Acker, Rain und Umgebung) wird hier als Untersuchungseinheit (UE) bezeichnet. Abweichend von diesem räumlichen Raster müssen größere prädatorische Vogelarten in einem weiteren Umkreis erfasst werden, da ihre Raumansprüche sehr groß sind.

Es bleibt noch zu spezifizieren, wo die Proben in der „Umgebung“ des Ackers lokalisiert werden sollen. Auf der Ackerfläche selbst sollte ein möglicher Randeffekt mitbedacht werden. konnte noch nicht festgelegt werden. Als Faustgröße für den Abstand der Proben vom Ackerrand werden hier bei großen Ackerflächen 50 m vorgeschlagen, ein Abstand, der bei kleinen Feldern verringert werden muss.



**Abb. 2:** Raumkonzept für eine Untersuchungseinheit (=UE)

### Überprüfung von Wirkungen des Bt-Toxins auf aquatische Organismen (Abschnitt G, Tab. 8)

Die Wirkung von transgenen B.t.-Toxinen auf Gewässerökosysteme ist bisher kaum untersucht. Ein Nachweis der Proteine im Wasserkörper und im Sediment kann anhand der ELISA-Methode erfolgen (siehe Kapitel 5.2.4). Ist der Befund positiv, sollten in einem ersten Schritt Erhebungen der Populationsdichte ausgewählter Arten der Makroinvertebraten anschließen. Hinsichtlich der Bestimmung von Parametern für ein Monitoring der Umweltwirkungen im Gewässerökosystem besteht dringender Forschungsbedarf.

#### 5.2.2.4 Virusresistente Zuckerrüben

Auf der Grundlage der ermittelten Wirkungshypothesen (Kap. 4) sind im Rahmen des spezifischen Monitoring von Zuckerrüben, die gegen BNYVV resistent sind, folgende Wirkungspfade und die sich daraus ergebenden Umweltwirkungen prioritär zu überprüfen:

- Entstehung neuer viraler Phytopathogene  
(H55, H56, H57, H58)
- Verwilderung, Ausbreitung und Etablierung transgener Zuckerrübenpflanzen  
(H2, H3, H7, H8, H51, H52, H54)
- Durchwuchs transgener Zuckerrüben in Folgekulturen  
(H2, H3, H7, H8, H51, H52, H54)
- Auskreuzung von Fremdgenkonstrukten der transgenen Zuckerrüben in potenzielle Kreuzungspartner, Etablierung und Ausbreitung der Hybride  
(H2, H3, H7, H8, H52, H53, H54)
- Auswirkungen des Anbaus virusresistenter Zuckerrüben auf Phytophage, Antagonisten und das weitere Gefüge des Nahrungsnetzes  
(H2, H3, H9)
- Auswirkungen des Anbaus virusresistenter Zuckerrüben auf die Bodenzönose und Bodenfunktion  
(H2, H3, H5, H9)
- Horizontaler Gentransfer auf Bodenmikroorganismen  
(H4, H5)

Für das Monitoring weiterer transgener Virusresistenzen in Zuckerrüben über BNYVV hinaus sind u.U. spezifische Adaptationen des Monitoringprogramms in Erwägung zu ziehen.

Eine detaillierte Zusammenstellung der Parameter und Methoden, anhand derer die Wirkungshypothesen überprüft werden sollen gibt Tab. 9. Erläuterung zu den Parametern werden im Anschluss gegeben.



**Tab. 9:** Monitoring von Umweltwirkungen virusresistenter Zuckerrüben auf ausgewählten Probeflächen, Referenzflächen und Untersuchungsräumen  
 x: Parameter ist in dem Raumbezug zu erheben

	Hypo-thesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
A		Bodenphysikalische Parameter						
	H2, H3, H4, H5	Korngrößenverteilung Bodenart	DIN 19683-2 Bodenkundliche Kartieranleitung	x				einmalig bei Erhebungsbeginn
		Rohdichte, trocken	DIN 19 683-12	x				jährlich im Frühjahr
B		Bodenchemische Parameter						
	H2, H3, H4, H5	pH	DIN 19 684-1, DIN ISO 10 390-7	x				jährlich im Frühjahr
		Cges, Corg	DIN 19 684-2 DIN ISO 10 694	x				alle 5 Jahre
		Nges	DIN 19684-4 DIN ISO 11 261-8	x				alle 5 Jahre
		C/N Verhältnis	C/N-Analyser	x				alle 5 Jahre
		Pflanzenverfügbares P, K, Mg, Ca	Extraktion nach Egner-Riehm 1960 (SCHLICHTING et al.1995)	x				jährlich im Frühjahr
		Carbonatbestimmung	DIN 19 684-5	x				jährlich im Frühjahr
		Wassergehalt	DIN 19 683-4	x				jährlich im Frühjahr
	Kationenaustauschkapazität KAKpot	DIN 19684-8 DIN ISO 13536	x				jährlich im Frühjahr	

	Hypo-thesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
C		Bodenmikrobiologische Parameter						
	H2, H3, H4, H5, H6	Mikrobielle Biomasse	Substrat-induzierte Respiration (nach ANDERSON & DOMSCH 1978 und HEINEMEYER et al. 1989)  DIN ISO 14 240-1  Fumigations-Extraktions-Methode (nach VANCE et al. 1987) DIN ISO 14 240-2 (torfige und tonige Böden)	x				jährlich im Frühjahr
		Mikrobielle Basalatmung	Durchflussverfahren (DOMSCH 1962) beschrieben bei HEINEMEYER et al. (1989) oder Bestimmung der O <sub>2</sub> -Aufnahme nach SCHINNER et al. (1993), DIN 19 737	x				jährlich im Frühjahr
		Metabolischer Quotient	ANDERSON & DOMSCH (1990)	x				jährlich im Frühjahr
		N-Mineralisation	Anaerober Brutversuch (SCHINNER et al. 1993)	x				jährlich im Frühjahr
		Diversität Bodenmikroorganismen	DNA-Fingerprint-Methoden: TGGE (Temperature Gradient Gel Electrophoresis) DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) SSCP-Analyse (Single- Strand Conformation Polymorphism) T-RFLP (Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism)	x				jährlich im Frühjahr
		Rekombinante DNA im Boden	PCR (Polymerase Chain Reaction) DNA-Chip-Technologie	x				jährlich im Frühjahr

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
D		Bodenzoologische Parameter						
	H2, H3, H4, H5, H9	Lumbriciden - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Handauslese (GRAEFE 1991, BAUCHHENS 1997)  Senf-Austreibung (GRAEFE 1991 bzw. Graefe in DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Kleinanelliden - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Nassextraktion (GRAEFE 1991 bzw. Graefe in DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Collembolen - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach KEMPSON et al. 1963 (DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Nematoden - Familienspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach OOSTENBRINK (SOUTHEY 1986)	x				jährlich im Frühjahr
		Gamasinen - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach KEMPSON et al. 1963 (DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Freßaktivität/ Umsatzleistung	Streubeutelttest nach (DUNGER & FIEDLER 1997)	x				halbjährlich im Frühjahr und Herbst

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
E		Verwilderungs- und Ausbreitungspotenzial von <i>Beta vulgaris ssp. vulgaris</i>						
	H2, H3, H7, H8, H51, H52, H54	Floristische Kartierung von Zuckerrüben ( <i>Beta vulgaris ssp. vulgaris</i> )  Molekularer Nachweis - Transgen - Transgen-Akkumulation	Floristische Häufigkeitsschätzskala nach GARVE (1994)  PCR /DNA-Chip-Technologie		x  x	x  x	x  x	jährlich im Frühjahr und Sommer
	H2, H3, H7, H8, H51, H52, H54	Etablierung und Entwicklung von transgenen und nicht-transgenen Zuckerrübenpopulationen ( <i>Beta vulgaris ssp. vulgaris</i> ) - Vergesellschaftung, - Deckungsgrad, - Dichte, - Vitalität, - Phänologie  Nachweis des BNYVV	Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen: - Artenspektrum, - Deckungsgrad nach PFADEN-HAUER et al. (1986)  Zielarten: - Individuenzahl, - Soziabilität nach BRAUN-BLANQUET (1964) - Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991) - Phänophase nach DIERSCHKE (1994)  ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay)	   <				

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H7, H8, H51, H52, H54	Erfassung transgener Durchwuchsrüben - Dichte - Vitalität  Molekularer Nachweis - Transgen - Transgen-Akkumulation	Individuenzahl, Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991)  PCR / DNA-Chip-Technologie	x x  x		x (Anbauflächen nicht-transgener Zuckerrübenlinien, konventionell und Ökolandbau)		jährlich
<b>F</b>		<i>Auskreuzung und Verbreitung / Wildflora</i>						
	H2, H3, H7, H8, H51, H52, H53, H54	Floristische Kartierung Kreuzungspartner - <i>Beta vulgaris ssp. maritima</i> , - Kulturvarietäten  Molekularer Nachweis - Transgen - Transgen-Akkumulation	Floristische Häufigkeitsschätzskala nach GARVE (1994)  PCR /DNA-Chip Technologie	x  x	x  x	x  x	x  x	jährlich im Frühjahr und Sommer

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H7, H8, H51, H52, H53, H54	Etablierung und Entwicklung transgener und nicht-transgener Kreuzungspartner - Vergesellschaftung, - Deckungsgrad, - Dichte, - Soziabilität, - Vitalität, - Phänologie	Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen: - Artenspektrum, - Deckungsgrad nach PFADENHAUER et al. (1986)  Zielarten: - Individuenzahl, - Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991) - Phänophase nach DIERSCHKE (1994)		x  x x	x  x x		jährlich im Frühjahr und Sommer
		Nachweis des BNYVV	ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay)	(x)	x	x		
				(x)	x	x		
				x	x	x		
<b>G</b>		<i>Virale Phytopathogene</i>						
	H2, H3, H6, H55, H56, H57, H58	Befall von Zuckerrüben und Kreuzungspartnern mit viralen Phytopathogenen - Schadbild, - Infektionsverlauf	Bonitur	x	x	x		jährlich im Frühjahr und Sommer

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
H		Terrestrische Wirbellosenfauna						
	H2, H3, H9	<b>epigäische Prädatoren</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von Araneae, Carabidae	Bodenfallen nach BARBER (1931), Fangrahmen (MÜHLE et al. 1983)	x	x			jährlich in den Monaten März bis Oktober
		<b>hypergäische Prädatoren</b> Aktivitätsdichte/Populationsdichte von <ul style="list-style-type: none"><li>- Coccinellidae</li><li>- <i>Propylaea 14-punctata</i></li><li>- <i>Coccinella 7-punctata</i></li><li>- <i>Adalia bipunctata</i>,</li><li>- ggf. andere Predatoren</li></ul>	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978)	x	x			jährlich in den Monaten April bis September
	H2, H3, H9	<b>Parasitoide</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von Hymenoptera	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978), quantitative Käschermethode nach WITSACK (1975), Bodenfallen nach BARBER (1931)	x	x			jährlich in den Monaten April bis September
		Aktivitätsdichte/Populationsdichte z.B. von Hymenoptera-Arten	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978)	x	x			jährlich in Abhängigkeit von Aktivitätsphasen der Zielarten

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
<b>I</b>		<i>Wirbeltierfauna</i>						
	H2, H3, H9	<b>insektivore Kleinsäuger</b> Relative Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwergspitzmaus (<i>Sorex minutus</i>)</li> <li>- Waldspitzmaus (<i>Sorex araneus</i>)</li> <li>- Zwergmaus (<i>Micromys minutus</i>)</li> </ul>	Auswertung der Bodenfallen (Beifang) nach BARBER (1931) bzw. Schlagfallen nach SYKORA (1978)	x	x	x		jährlich im April/Mai und Sept./Okt.
	H2, H3	<b>herbivore Kleinsäuger</b> Artenspektrum und relative Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feldmaus (<i>Microtus arvalis</i>)</li> <li>- Waldmaus (<i>Apodemus silvaticus</i>)</li> <li>- Gelbhalsmaus (<i>Apodemus flavicollis</i>)</li> </ul>	Auswertung der Bodenfallen (Beifang) nach BARBER (1931) bzw. Schlagfallen nach SYKORA (1978)	x	x	x		jährlich im April/Mai und Sept./Okt.
	H2, H3 H9	± <b>carnivore Kleinvögel</b> Artenspektrum aller Brutvogelarten, absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schafstelze (<i>Motacilla flava</i>),</li> <li>- Feldlerche (<i>Alauda arvensis</i>),</li> <li>- Rebhuhn (<i>Perdix perdix</i>),</li> <li>- Kiebitz (<i>Vanellus vanellus</i>)</li> </ul> Reproduktionsraten	Kriterien für Bruthinweise nach BIBBY et al. (1992)    Nesterkontrollmethode (SCHOPPENHORST 1996)	x	x	x		jährlich in den Monaten März bis Juni
				x				



	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H9	<b>größere prädatorische Vogelarten</b> Absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kornweihe (<i>Circus cyaneus</i>)</li> <li>- Wiesenweihe (<i>Circus pygargus</i>)</li> <li>- Mäusebussard (<i>Buteo buteo</i>)</li> </ul>	Zählmethoden nach BIBBY et al. (1992)				x (aufgrund großer Raumansprüche)	jährlich in den Monaten März bis Juni
	H2, H3, H9	<b>± pflanzen- und körnerfressende Vögel</b> Artenspektrum aller Brutvogelarten, absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feldsperling (<i>Passer montanus</i>),</li> <li>- Grauammer (<i>Emberiza calandra</i>), ggf. andere Arten</li> </ul> Reproduktionsraten	Kriterien für Bruthinweise nach BIBBY et al. (1992)          Nesterkontrollmethode (SCHOPPENHORST 1996)	x	x	x		jährlich in den Monaten März bis Juni
				x				

## **Anmerkungen zu Tab. 9**

### **Überprüfung der Wirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion (Abschnitt A-D, Tab. 9)**

Aufgrund des geringen Kenntnisstandes über mögliche langfristige Auswirkungen des Anbaus von virusresistenten Zuckerrüben auf die Artenzusammensetzung und Funktion des Bodens wurden Parameter ausgewählt, die ein möglichst breites Spektrum ökologischer Prozesse abdecken. Sie umfassen neben bodenphysikalischen und bodenchemischen Parametern, bodenbiologische und bodenzoologische Erhebungen. In den meisten Fällen handelt es sich um bewährte Messgrößen. Sofern inhaltlich möglich, erfolgte ihre Auswahl in enger Anlehnung an das Boden-Dauerbeobachtungsflächenprogramm (BDF), das bereits bundesweit Bodenuntersuchungen durchführt (Kapitel 6). Eine ausführliche Erläuterung der ökologischen Bedeutung der ausgewählten Bodenparameter erfolgt in Kap. 5.2.5.

Neu eingeführt werden die Parameter "mikrobielle Diversität" und "Nachweis rekombinanter DNA im Boden". Treten infolge des Anbaus transgener Kulturpflanzen Veränderungen in der Arten- und Dominanzstruktur der Bodenmikroorganismen auf, kann sich dies auf das Nahrungskettengefüge und auf Bodenfunktionen auswirken. Ein direkter Nachweis von Transformationsereignissen im Boden ist unter derzeitigem Kenntnisstand praktisch nicht möglich. Im Rahmen des Monitoring wird daher zunächst der Nachweis von rekombinanter DNA in Bodenproben empfohlen, fällt er positiv aus sind weitergehende Untersuchungen vorzunehmen, um einen eventuellen horizontalen Gentransfer zu detektieren.

Ein Monitoring von Umweltwirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion sollte zunächst auf der Anbaufläche der virusresistenten Zuckerrüben beginnen. Je nach Erkenntnisstand können die Untersuchungsorte im Verlauf des Monitoring auf andere Biotope ausgedehnt werden. Als Referenzstandorte sind entsprechend Anbauflächen ohne transgene Kulturpflanzen auszuwählen. Um jahreszeitliche Einflüsse auf die Untersuchungsergebnisse auszuschließen, sollte die Entnahme von Bodenproben einheitlich im Frühjahr erfolgen. Hinsichtlich der Anzahl von Parallelproben und der Entnahmetiefe wird hier auf die Angaben des Boden-Dauerflächenbeobachtungsprogramms (LABO 2000) verwiesen. Für die physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Untersuchungen werden auf Ackerstandorten 20 über die Fläche verteilte Proben mit einer Entnahmetiefe von 0-20 cm empfohlen. Die Anleitungen zur Bodenbearbeitung und Bodenlagerung erweisen sich auch für DNA-Fingerprintmethoden als gut geeignet (WIELAND mündl. 2002).

Für die zoologischen Untersuchungen werden in der Regel 10-20 Parallelproben mit gruppenspezifischen Bodenausschnitten und Bodentiefen empfohlen (ROSENKRANZ et al. 1988). Als Erhebungsintervall werden für die biologischen Parameter jährliche und vierteljährliche Untersuchungen empfohlen. Die Frequenz kann im Verlauf des Monitoring den Erfordernissen angepasst werden.

### Überprüfung der Wirkungen auf Flora und Vegetation (Abschnitt E-F, Tab. 9)

Um die aufgeführten Wirkungspfade und die sich daraus ergebenden Folgen überprüfen zu können, sind Erhebungen auf populations- und vegetationsökologischer Ebene sowie molekulare Untersuchungen erforderlich. Wesentliche Voraussetzung für eine Abschätzung der Verwildierungs- und Ausbreitungsdynamik sowie des Auskreuzungspotentials von Zuckerrüben ist die Kenntnis über Vorkommen von verwilderten Zuckerrübenpflanzen und Kreuzungspartnern (Tab. 10). Im Rahmen von floristischen Kartierungen sind Arten, Häufigkeiten und Wuchsorte der entsprechenden Pflanzen möglichst flächendeckend im jeweiligen Bezugsraum zu dokumentieren. Über eine Entnahme von Pflanzenproben und die Durchführung molekularer Analysen kann festgestellt werden, ob Auskreuzungen und ggf. Transgen-Akkumulationen stattgefunden haben bzw. ob es sich um gentechnisch veränderte Kulturpflanzen handelt.

**Tab. 10:** Zielarten der floristischen Kartierung und molekulargenetischen Analysen

Verwilderte Zuckerrüben	<i>Beta vulgaris ssp. vulgaris</i>
Wildrübe	<i>Beta vulgaris ssp. maritima</i>
Kulturvarietäten	
z.B. Rote Bete	<i>Beta vulgaris ssp. vulgaris var. vulgaris</i>
z.B. Futterrüben	<i>Beta vulgaris ssp. vulgaris var. crassa</i>

Die Auswahl der Zielarten für ein Monitoring ist dem Kenntnisstand über mögliche Auskreuzungen und dem Verbreitungsgebiet der jeweiligen Pflanzenarten anzupassen.

Werden außerhalb der Anbaufläche Pflanzen erfasst, die Fremdgenkonstrukte in ihrem Genom aufweisen, sind sie in einem zweiten Schritt eingehenden Beobachtungen hinsichtlich Entwicklung, Etablierung und ökologischem Verhalten zu unterziehen. Um ein möglichst breites Spektrum an möglichen Veränderungen der Pflanzen bzw. der Phytozönose über einen langen Zeitraum erfassen zu können, wird die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen empfohlen. Geeignete Erhebungsparameter sind nach derzeitigem Kenntnisstand Vergesellschaftung und Deckungsgrad sowie Dichte, Vitalität und phänologischer Zustand. Die Vergesellschaftung gibt Auskunft über die Vegetation und damit über den Lebensraum und die Standortbedingungen in denen die Zielart aufgelaufen ist. Anhand des Artenspektrums und des Deckungsgrades auf der Dauerfläche und der Dichte der Zielart können Veränderungen der Dominanzstruktur und eine eventuelle Invasivität der Populationen festgestellt werden. Der Parameter Vitalität gibt darüber hinaus detaillierte Hinweise auf die Fitness, die Konkurrenzkraft und das Reproduktionsvermögen der Zielart. Veränderungen im Lebenszyklus können über die Erhebung des Phänozustandes erfasst werden. Von besonderer Bedeutung sind u.a. Blühzeiträume, da synchrone Blühphasen Voraussetzung für Auskreuzungsereignisse sind.

Die Entwicklung, Etablierung und das ökologische Verhalten der Zielarten kann durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden. Eine Interpretation der erhobenen

Daten nach den möglichen kausal wirkenden Faktoren erfordert daher die Einbeziehung von Basisparametern (Kap. 5.2.2.1) wie Nutzung, Bodenbedingungen, Klima und Witterungsverlauf. Darüber hinaus ist der Befall des Standortes mit BNYYV zu ermitteln, da er bedeutenden Einfluss auf die Konkurrenzfähigkeit der Zielarten haben kann. Als Referenz sollten Dauerflächen mit Populationen der jeweiligen Zielarten ohne Fremdgenkonstrukt eingerichtet und parallel untersucht werden.

Ein zentraler Wirkungspfad auf der Anbaufläche virusresistenter Zuckerrüben ist das Auftreten von transgenem Durchwuchsrüben in Folgekulturen und die daraus entstehenden Folgen. Für ein Monitoring werden die Parameter Anzahl der Durchwuchspflanzen pro Hektar, molekularer Nachweis des Transgens und Vitalität empfohlen. Sie geben nicht nur Auskunft über die Häufigkeit von Durchwuchspflanzen in Folgekulturen, sondern auch über ihre Fitness und das Reproduktionsvermögen. Durchwuchspflanzen können auch über Auskreuzung rekombinante Gensequenzen in ihrem Genom enthalten. In die Untersuchungen sind also auch Flächen mit konventionellem und ökologischem Anbau der jeweiligen Kultursorten einzubeziehen. Geeignete Referenzstandorte sind Flächen, auf denen nicht-transgene Kulturpflanzen in identischer Fruchtfolge und möglichst gleichen Bearbeitungsmaßnahmen angebaut werden.

Die Untersuchungen sind zunächst in jedem Jahr, wie in Tab. 9 angegeben, durchzuführen. Dies gewährleistet in der Anfangsphase des Monitoring die Erfassung des Ausgangszustandes. Im Verlauf des Monitoring sollten die Intervalle überprüft und ggf. modifiziert werden. Für Erhebungen außerhalb der Anbaufläche eignen sich die Zeiträume Frühjahr und Sommer. Damit werden zwei wesentliche Phasen der Vegetationsentwicklung abgedeckt.

### **Überprüfung von Wirkungen auf mikrobielle Phytopathogene (Abschnitt G, Tab. 9)**

Über mögliche Wechselwirkungen zwischen transgenen Pflanzen und phytopathogenen Mikroorganismen ist bisher wenig bekannt (Hypothese 6). Rekombinationseignisse sind im Freiland mit den zur Verfügung stehenden Methoden praktisch nicht nachweisbar. Sichtbar werden z.B. rekombinante Phytopathogene erst, nachdem sie sich etablieren, vermehren und ausbreiten konnten und zu neuen, bisher unbekannten Schadbildern und/ oder Krankheitsverläufen führen. Im Rahmen eines Monitoring sollten daher zunächst Beobachtungen zum Befall und zum Infektionsverlauf aller auf transgenen Zuckerrüben beobachteten Pathogene durchgeführt werden. Hier besteht zusätzlich dringender Forschungsbedarf. Haben sich phytopathogene Mikroorganismen etabliert, sind sie nicht mehr rückholbar und die daraus entstehenden Folgen ggf. nicht eingrenzbar. Es werden Methoden gebraucht, die eine frühzeitige Erkennung möglicher Wechselwirkungen gewährleisten.

Virusresistente Zuckerrüben sowie durch Auskreuzung resistente Wildrüben sind eingehenden Bonituren zum Schadbild und Befallsverlauf zu unterziehen. Werden im

Rahmen des Monitoring Veränderungen beobachtet, sind weitergehende mikrobiologische bzw. virologische Untersuchungen anzuschließen, die die Ursachen aufklären.

### **Überprüfung der Wirkungen auf die epi- und hypergäische Arthropodenfauna und Wirbeltiere (Abschnitt H-I, Tab. 9)**

Die zu erwartenden Wirkungen des Anbaus virusresistenter Zuckerrüben auf epi- und hypergäische Arthropoden und Wirbeltiere können sich auf zwei ökologischen Ebenen, der Ebene der Population und der Ebene der Zoozönose manifestieren. Veränderungen der Population von Tierarten lassen sich im Rahmen des Monitoring anhand von Abundanzen messen. Kausalanalytische Interpretationen dieser Daten setzen die Einbeziehung von Basisparametern (z.B. Witterungsbedingungen, Landschaftsstrukturen) voraus. Eine wichtige Basis der Auswertung sind geeignete Referenzflächen, vor deren Hintergrund sich Abundanzmuster im Gebiet des Anbaus transgener Zuckerrüben interpretieren lassen. Veränderungen von Zoozönosen lassen sich über mehrere Parameter messen, z.B. Dominanzstrukturen und Artendiversität. Die Interpretation dieser Daten macht, ebenso wie populationsbiologische Daten, ein System von Referenzflächen notwendig.

Obwohl für virusresistente Zuckerrübenkulturen bisher keine Wirkungen auf Wirbellose, Säugetiere und Vögel ermittelt werden konnten, werden Erhebungsparameter im Sinne einer Absicherung des "Nichtrisikos" in das Monitoring integriert. Es dient der Erfassung eines basalen Datenfundaments zu allen Trophieebenen in Hyper- und Epi-gaion. Erläuternde Hintergründe für die hier getroffene Auswahl von Zielarten und Zielartengruppen gibt Kap. 5.2.5.

Hinsichtlich der epi- und hypergäischen Arthropoden richtet sich die Ordnung der Tabelle nach Straten bzw. trophischer Stufe der Tiergruppen und differenziert zwischen den zöologischen und populationsbiologischen Parametern. Diese Einteilung wurde gewählt, um möglichst strikt Wirkungen der virusresistenten Zuckerrüben nach Trophie, Stratum und ökologischer Organisationsebene trennen zu können. Innerhalb der hypergäischen Phytophagen können in Zuckerrüben neben Wanzen (Heteroptera), Schmetterlingen (Lepidoptera), Blattläusen (Aphidina), Schnellkäfern (Elateridae), Blatt- und Rüsselkäfern (Chrysomelidae, Curculionidae) auch Springschwänze (Collembola) in größeren Mengen auftreten. Zielarten der hypergäischen Phytophagen bilden Vertreter der Wanzen sowie der Rüssel- und Blattkäfer. Unter den epi- und hypergäischen Prädatoren sind Spinnen (Araneae), Laufkäfer (Carabidae) und Marienkäfer (Coccinellidae) zu untersuchen.

In der Wirbeltierfauna wird in Tab. 9 bei Vögeln nach karnivoren, pflanzen- bzw. körnerfressenden und größeren prädatorischen Vogelarten unterschieden, bei Kleinsäugetieren zwischen Insektivoren und Herbivoren. Die beispielhaft genannten Wirbeltierarten sind bisher kaum nach ihrem Verbreitungsschwerpunkt in den vier im Rahmen des Forschungsvorhabens bearbeiteten Kultursorten differenzierbar. Sollten sich lokal

andere als die genannten Arten als dominant erweisen, kann eine Modifizierung des Artenspektrums erforderlich sein.

Die Erhebungen sollten ab März begonnen und bis September bzw. Oktober durchgeführt werden, da in diesem Zeitraum die Aktivitätsphasen der Tierarten liegen. Bei der Erfassung der epigäischen Fauna sollte auch während der Sommermonate beprobt werden, da dann in der Spinnenfauna die Hauptaktivität vieler Arten liegt (BLICK, mdl. 2002). Bei der Kleinsäugererfassung und den Bodenfallen kommt es zu einem kontinuierlichen Ausfang mit monatlichen Wechselintervallen, alle anderen Methoden erfassen dagegen zeitlich punktuell. Bei der Klopfmethode bzw. der Entnahme von Pflanzenteilen richtet sich der Zeitpunkt der Probenahme entscheidend nach den Aktivitätsphasen der Zielarten.

Das räumliche Konzept beruht auf der parallelen Beprobung von drei Flächenkategorien, d.h. Acker, Ackerrain und Umgebung und der Paralleluntersuchung dieser drei Flächentypen in den Referenzflächen, d.h. Flächen ohne Anbau transgener Kulturpflanzen. Daraus ergeben sich also insgesamt sechs Flächen ( $3 \times \text{GVP} + 3 \times \text{Referenz}$ ), innerhalb derer jeweils die Einzelproben für die Wirbellosenfauna genommen werden (Abb. 2, Kap. 5.2.2.3). Bei der Erfassung der Brutvögel können flächendeckend Acker, Ackerrain und Umgebung an einem Beobachtungsdatum erfasst werden. Dabei wird bei der Kartierung der Randbereich des Ackers und Ackerraines abgegangen und dabei der nähere Umkreis der Umgebung miterfasst. Dieses Design aus Flächen mit transgenen Pflanzen und Referenzflächen (mit den Untereinheiten Acker, Rain und Umgebung) wird hier als Untersuchungseinheit (UE) bezeichnet. Abweichend von diesem räumlichen Raster müssen größere prädatorische Vogelarten in einem weiteren Umkreis erfasst werden, da ihre Raumansprüche sehr groß sind.

Es bleibt noch zu spezifizieren, wo die Proben in der „Umgebung“ des Ackers lokalisiert werden sollen. Auf der Ackerfläche selbst sollte ein möglicher Randeffect mitbedacht werden. Als Faustgröße für den Abstand der Proben vom Ackerrand werden hier bei großen Ackerflächen 50 m vorgeschlagen, ein Abstand, der bei kleinen Feldern verringert werden muss.

#### 5.2.2.5 Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum

Auf der Grundlage der ermittelten Wirkungshypothesen (Kap. 4) sind im Rahmen des spezifischen Monitoring von Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum (z.B. Amylosefreiheit oder Bildung von Fructan) folgende Wirkungspfade und die sich daraus ergebenden Umweltwirkungen prioritär zu überprüfen:

- Veränderungen des Überdauerungs- und Verwilderungsvermögens transgener Kartoffelpflanzen  
(H2, H3, H7, H8, H59, H60)
- Durchwuchs transgener Kartoffelpflanzen in Folgekulturen  
(H2, H3, H7, H8, H59, H61)
- Auswirkungen des veränderten Kohlenhydratspektrums auf den Befall durch Phytophage und mikrobiellen Phytopathogene  
(H63)
- Auswirkungen des Anbaus kohlenhydratveränderter Kartoffeln auf Phytophage, Antagonisten und das weitere Gefüge des Nahrungsnetzes  
(H2, H3, H9)
- Auswirkungen des Anbaus kohlenhydratveränderter Kartoffeln auf die Bodenzönose und Bodenfunktion  
(H2, H3, H5, H9)
- Horizontaler Gentransfer auf Bodenmikroorganismen  
(H4, H5)

Eine detaillierte Zusammenstellung der Parameter und Methoden, anhand derer die Wirkungshypothesen überprüft werden sollen gibt Tab. 11. Erläuterungen zu den Parametern werden im Anschluss gegeben.

**Tab. 11:** Monitoring der Umweltwirkungen von Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum auf ausgewählten Probeflächen, Referenzflächen und Untersuchungsräumen

x: Parameter ist in dem Raumbezug zu erheben

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
A		Bodenphysikalische Parameter						
	H2, H3, H4, H5	Korngrößenverteilung Bodenart	DIN 19683-2 Bodenkundliche Kartieranleitung	x				einmalig bei Untersuchungsbeginn
		Rohdichte, trocken	DIN 19 683-12	x				jährlich im Frühjahr
B		Bodenchemische Parameter						
	H2, H3, H4, H5	pH	DIN 19 684-1, DIN ISO 10 390-7	x				jährlich im Frühjahr
		Cges, Corg	DIN 19 684-2 DIN ISO 10 694	x				alle 5 Jahre
		Nges	DIN 19684-4 DIN ISO 11 261-8	x				alle 5 Jahre
		C/N Verhältnis	C/N-Analyser	x				alle 5 Jahre
		Pflanzenverfügbares P, K, Mg, Ca	Extraktion nach Egner-Riehm 1960 (SCHLICHTING et al.1995)	x				jährlich im Frühjahr
		Carbonatbestimmung	DIN 19 684-5	x				jährlich im Frühjahr
		Wassergehalt	DIN 19 683-4	x				jährlich im Frühjahr
		Kationenaustauschkapazität KAK pot	DIN 19684-8 DIN ISO 13536	x				jährlich im Frühjahr



	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
C		Bodenmikrobiologische Parameter						
	H2, H3, H4, H5, H6	Mikrobielle Biomasse	Substrat-induzierte Respiration (nach ANDERSON & DOMSCH 1978 und HEINEMEYER et al. 1989) DIN ISO 14 240-1  Fumigations-Extraktions-Methode (nach VANCE et al. 1987) DIN ISO 14 240-2 (torfige und tonige Böden)	x				jährlich im Frühjahr
		Mikrobielle Basalatmung	Durchflussverfahren (DOMSCH 1962) beschrieben bei HEINEMEYER et al. (1989) oder Bestimmung der O <sub>2</sub> -Aufnahme nach SCHINNER et al. (1993), DIN 19 737	x				jährlich im Frühjahr
		Metabolischer Quotient	ANDERSON & DOMSCH (1990)	x				jährlich im Frühjahr
		N-Mineralisation	Anaerober Brutversuch (SCHINNER et al. 1993)	x				jährlich im Frühjahr
		Diversität Bodenmikroorganismen	DNA-Fingerprint-Methoden: TGGE (Temperature Gradient Gel Electrophoresis) DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) SSCP-Analyse (Single- Strand Conformation Polymorphism) T-RFLP (Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism)	x				jährlich im Frühjahr
		Rekombinante DNA im Boden	PCR (Polymerase Chain Reaction) DNA-Chip-Technologie	x				jährlich im Frühjahr

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
D		Bodenzoologische Parameter						
	H2, H3, H4, H5, H9	Lumbriciden - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Handauslese (GRAEFE 1991, BAUCHHENß 1997)  Senf-Austreibung (GRAEFE 1991 bzw. Graefe in DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Kleinanneliden - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Nassextraktion (GRAEFE 1991 BZW. Graefe in DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Collembolen - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach KEMPSON et al. 1963 (DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Nematoden - Familienspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach OOSTENBRINK (SOUTHEY 1986)	x				jährlich im Frühjahr
		Gamasinen - Artenspektrum - Abundanz - Dominanzstruktur	Extraktion nach KEMPSON et al. 1963 (DUNGER & FIEDLER 1997)	x				jährlich im Frühjahr
		Freßaktivität / Umsatzleistung	Streubeuteltest nach DUNGER & FIEDLER (1997)	x				halbjährlich im Frühjahr und Herbst

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
E		Verwilderungs- und Ausbreitungspotenzial von <i>Solanum tuberosum</i>						
	H2, H3, H7, H8, H59, H60	Floristische Kartierung von Kartoffelpflanzen ( <i>Solanum tuberosum</i> ) (Ausbreitung über Samen oder Knollen)  Molekularer Nachweis - Transgen - Transgen-Akkumulation	Floristische Häufigkeitsschätzskala nach GARVE (1994)   PCR / DNA-Chip-Technologie		x   x	x   x	x   x	jährlich im Frühjahr und Sommer
	H2, H3, H7, H8, H59, H60	Etablierung und Entwicklung von transgenen und nicht-transgenen Kartoffelpopulationen ( <i>Solanum tuberosum</i> ) - Vergesellschaftung, - Deckungsgrad, - Dichte, - Vitalität, - Phänologie	Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen: - Artenspektrum, - Deckungsgrad nach PFADEN-HAUER et al. (1986)  Zielarten: - Individuenzahl, - Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991) - Phänophase nach DIERSCHKE (1994)	(x)	x  x x  x x  x	x  x x  x x  x		jährlich im Frühjahr und Sommer

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H7, H8, H59, H61, H62	Erfassung transgener Durchwuchskartoffeln (Aufwuchs aus Samen oder Knollen) - Dichte, - Vitalität  Molekularer Nachweis - Transgen - Transgen-Akkumulation	- Individuenzahl, - Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991)  PCR / DNA-Chip-Technologie	x         x	x         x	x (Anbauflächen nicht-transgener Kartoffellinienkonventionell und Ökolandbau)		jährlich im folgenden Frühjahr, je nach Kulturart
<b>F</b>		<i>Phytopathogene</i>						
	H2, H3, H63	Befall der transgenen Kartoffelpflanzen mit bakteriellen, pilzlichen und viralen Phytopathogenen - Schadbild, - Infektionsverlauf	Bonitur	x	x	x		mehrmals im Jahresverlauf
<b>G</b>		<i>Terrestrische Wirbellosenfauna</i>						
	H2, H3, H9, H63	<b>hypergäische Phytophage</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von Lepidoptera, Heteroptera, Auchenorrhyncha, Aphidina, Elateridae, Scarabaeidae, Chrysomelidae	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978) quantitative Käschermethode nach WITSACK (1975)	x	x	x		jährlich in den Monaten April bis September

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H9, H63	<b>phytophage Zielarten in Kartoffeln:</b> Befallsschäden, Aktivitätsdichte/Populationsdichte Chrysomelidae: - <i>Leptinotarsa decemlineata</i> Aphidae: - <i>Aphis fabae</i> , <i>A. nasturtii</i> u.a. Heteroptera: - <i>Lygus spec.</i> Auchenorrhyncha: - <i>Empoasca flavescens</i> - <i>Eupteryx atropunctata</i> ggf. weitere Arten	Klopfmethode (FRITZ-KÖHLER 1996), Exhaustor, Auszählung der Befallsschäden an Kartoffeln (MÜHLE et al. 1983)	x	x	x		jährlich, in Abhängigkeit von Aktivitätsphasen der Zielarten
	H2, H3, H9, H63	<b>epigäische Prädatoren</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von Araneae, Carabidae  <b>hypergäische Prädatoren</b> Aktivitätsdichte/Populationsdichte von Coccinellidae - <i>Propylaea 14-punctata</i> - <i>Coccinella 7-punctata</i> - <i>Adalia bipunctata</i> , ggf. andere Predatoren	Bodenfallen nach BARBER (1931), Fangrahmen (MÜHLE et al. 1983)  d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978)	x	x			jährlich in den Monaten März bis Oktober  jährlich in den Monaten April bis September

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3, H9, H63	<b>Parasitoide</b> Artendiversität, Artenspektrum, Dominanzstruktur und Abundanz von Hymenoptera  Aktivitätsdichte/Populationsdichte z.B. von Hymenoptera-Arten	d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978), quantitative Käschermethode nach WITSACK (1975), Bodenfallen nach BARBER (1931)  d-vac (HENDERSON & WHITAKER 1977, FREI & MANHARD 1992, SOUTHWOOD 1978)	x	x			jährlich in den Monaten April bis September  jährlich in Abhängigkeit von Aktivitätsphasen der Zielarten
<b>H</b>		<i>Wirbeltierfauna</i>						
	H2, H3, H9	<b>insektivore Kleinsäuger</b> Relative Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwergspitzmaus (<i>Sorex minutus</i>)</li> <li>- Waldspitzmaus (<i>Sorex araneus</i>)</li> <li>- Zwergmaus (<i>Micromys minutus</i>)</li> </ul>	Auswertung der Bodenfallen (Beifang) nach BARBER (1931) bzw. Schlagfallen nach SYKORA (1978)	x	x	x		jährlich im April/Mai + Sept./Okt.
	H2, H3, H9, H63	<b>herbivore Kleinsäuger</b> Artenspektrum und relative Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feldmaus (<i>Microtus arvalis</i>)</li> <li>- Waldmaus (<i>Apodemus silvaticus</i>)</li> <li>- Gelbhalsmaus (<i>Apodemus flavicollis</i>)</li> </ul>	Auswertung der Bodenfallen (Beifang) nach BARBER (1931) bzw. Schlagfallen nach SYKORA (1978)	x	x	x		jährlich im April/Mai und Sept./Okt.

	Hypothesen	Parameter	Methode	Schlagbezogene Erhebungen			Erhebungen mit großem Raumbezug	Erhebungsintervall
				Anbaufläche	Ackerrain	Umgebung 5km		
	H2, H3	<b>± carnivore Kleinvögel</b> Artenspektrum aller Brutvogelarten, absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schafstelze (<i>Motacilla flava</i>),</li> <li>- Feldlerche (<i>Alauda arvensis</i>),</li> <li>- Rebhuhn (<i>Perdix perdix</i>),</li> <li>- Kiebitz (<i>Vanellus vanellus</i>)</li> </ul>	Kriterien für Bruthinweise nach BIBBY et al. (1992)	x	x	x		jährlich in den Monaten März bis Juni
		Reproduktionsraten	Nesterkontrollmethode (SCHOPPENHORST 1996)	x				jährlich in den Monaten März bis Juni
	H2, H3, H9	<b>größere prädatorische Vogelarten</b> Absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kornweihe (<i>Circus cyaneus</i>)</li> <li>- Wiesenweihe (<i>Circus pygargus</i>)</li> <li>- Mäusebussard (<i>Buteo buteo</i>)</li> </ul>	Zählmethoden nach BIBBY et al. (1992)				x (aufgrund großer Raumansprüche)	jährlich in den Monaten März bis Juni
	H2, H3, H9, H63	<b>± pflanzen- und körnerfressende Vögel</b> Artenspektrum aller Brutvogelarten, absolute Häufigkeit von <ul style="list-style-type: none"> <li>- Feldsperling (<i>Passer montanus</i>),</li> <li>- Grauammer (<i>Emberiza caelandra</i>), ggf. andere Arten</li> </ul>	Kriterien für Bruthinweise nach BIBBY et al. (1992)	x	x	x		jährlich in den Monaten März bis Juni
		Reproduktionsraten	Nesterkontrollmethode (SCHOPPENHORST 1996)	x				jährlich in den Monaten März bis Juni

## **Anmerkungen zu Tab. 11**

### **Überprüfung der Wirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion (Abschnitt A-D, Tab. 11)**

Aufgrund des geringen Kenntnisstandes über mögliche langfristige Auswirkungen des Anbaus kohlenhydratveränderter Kartoffeln auf die Artenzusammensetzung und Funktion des Bodens wurden Parameter ausgewählt, die ein möglichst breites Spektrum ökologischer Prozesse abdecken. Sie umfassen neben bodenphysikalischen und bodenchemischen Parametern, bodenbiologische und bodenzoologische Erhebungen. In den meisten Fällen handelt es sich um bewährte Messgrößen. Sofern inhaltlich möglich, erfolgte ihre Auswahl in enger Anlehnung an das Boden-Dauerbeobachtungsflächenprogramm (BDF), das bereits bundesweit Bodenuntersuchungen durchführt (Kapitel 6). Eine ausführliche Erläuterung der ökologischen Bedeutung der ausgewählten Bodenparameter erfolgt in Kap. 5.2.5.

Neu eingeführt werden die Parameter mikrobielle Diversität und Nachweis rekombinanter DNA im Boden. Treten infolge des Anbaus transgener Kulturpflanzen Veränderungen in der Arten- und Dominanzstruktur der Bodenmikroorganismen auf, kann sich dies auf das Nahrungskettengefüge und auf Bodenfunktionen auswirken. Ein direkter Nachweis von Transformationsereignissen im Boden ist unter derzeitigem Kenntnisstand praktisch nicht möglich. Im Rahmen des Monitoring wird daher zunächst der Nachweis von rekombinanter DNA in Bodenproben empfohlen, fällt er positiv aus sind weitergehende Untersuchungen vorzunehmen, um einen eventuellen horizontalen Gentransfer zu detektieren.

Ein Monitoring von Umweltwirkungen auf die Bodenzönose und Bodenfunktion sollte zunächst auf der Anbaufläche der transgenen Kartoffeln beginnen. Je nach Erkenntnisstand können die Untersuchungsorte im Verlauf des Monitoring auf andere Biotope ausgedehnt werden. Als Referenzstandorte sind entsprechend Anbauflächen ohne transgene Kartoffeln auszuwählen. Um jahreszeitliche Einflüsse auf die Untersuchungsergebnisse auszuschließen, sollte die Entnahme von Bodenproben einheitlich im Frühjahr erfolgen. Hinsichtlich der Anzahl von Parallelproben und der Entnahmetiefe wird hier auf die Angaben des Boden-Dauerflächen-beobachtungsprogramms (LABO 2000) verwiesen. Für die physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Untersuchungen werden auf Ackerstandorten 20 über die Fläche verteilte Proben mit einer Entnahmetiefe von 0-20 cm empfohlen. Die Anleitungen zur Bodenbearbeitung und Bodenlagerung erweisen sich auch für DNA-Fingerprintmethoden als gut geeignet (WIELAND mündl. 2002). Für die zoologischen Untersuchungen werden in der Regel 10-20 Parallelproben mit gruppenspezifischen Bodenausschnitten und Bodentiefen empfohlen (ROSENKRANZ et al. 1988). Als Erhebungsintervall werden für die biologischen Parameter jährliche bis vierteljährliche Untersuchung empfohlen. Die Frequenz kann im Verlauf des Monitoring den Erfordernissen angepasst werden.



### Überprüfung der Wirkungen auf Flora und Vegetation (Abschnitt E, Tab. 11)

Um die aufgeführten Wirkungspfade und die sich daraus ergebenden Folgen überprüfen zu können, sind Erhebungen auf populations- und vegetationsökologischer Ebene sowie molekulare Untersuchungen erforderlich. Wesentliche Voraussetzung für eine Abschätzung der Verwildierungs- und Ausbreitungsdynamik von Kartoffeln ist die Kenntnis über Vorkommen von verwilderten Kartoffelpflanzen. In Tab. 12 sind neben der Kartoffel als Zielart der Untersuchungen zwei weitere weit verbreitete und häufige Nachtschattengewächse angegeben. Sie werden als potenzielle Hybridisierungspartner diskutiert. Derzeit wurden allerdings noch keine natürlich entstandenen Hybride gefunden. Sie sollten ggf. in die Liste der Zielarten der floristischen Kartierungen aufgenommen werden. Im Rahmen von floristischen Kartierungen sind Arten, Häufigkeiten und Wuchsorte der entsprechenden Pflanzen möglichst flächendeckend zu dokumentieren. Über eine Entnahme von Pflanzenproben und die Durchführung molekularer Analysen kann festgestellt werden, ob Auskreuzungen und ggf. Transgen-Akkumulationen stattgefunden haben bzw. ob es sich um gentechnisch veränderte Kulturpflanzen handelt.

**Tab. 12:** Zielart der floristischen Kartierung und molekulargenetischen Analysen

Kartoffel	<i>Solanum tuberosum</i>
(Schwarzer Nachtschatten)	( <i>Solanum nigrum</i> )
(Bittersüßer Nachtschatten)	( <i>Solanum dulcamara</i> )

Werden außerhalb der Anbaufläche Kartoffelpflanzen erfasst, die Fremdgenkonstrukte in ihrem Genom aufweisen, sind sie in einem zweiten Schritt eingehenden Beobachtungen hinsichtlich Entwicklung, Etablierung und ökologischem Verhalten zu unterziehen. Um ein möglichst breites Spektrum an möglichen Veränderungen der Pflanzen bzw. der Phytozönose über einen langen Zeitraum erfassen zu können, wird die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen empfohlen (siehe vorheriges Kapitel). Geeignete Erhebungsparameter sind nach derzeitigem Kenntnisstand Vergesellschaftung und Deckungsgrad sowie Dichte, Vitalität und phänologischer Zustand. Die Vergesellschaftung gibt Auskunft über die Vegetation und damit über den Lebensraum und die Standortbedingungen in denen die Zielart aufgelaufen ist. Anhand des Artenspektrums und des Deckungsgrades auf der Dauerfläche und der Dichte der Zielart können Veränderungen der Dominanzstruktur und eine eventuelle Ausbreitung der Populationen festgestellt werden. Der Parameter Vitalität gibt darüber hinaus detaillierte Hinweise auf die Fitness, die Konkurrenzkraft und das Reproduktionsvermögen der Zielart. Veränderungen im Lebenszyklus können über die Erhebung des Phänozustandes erfasst werden. Von besonderer Bedeutung sind u.a. Blühzeiträume, da synchrone Blühphasen Voraussetzung für Auskreuzungsereignisse sind.

Die Entwicklung, Etablierung und das ökologische Verhalten der Zielarten kann durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden. Eine Interpretation der erhobenen

Daten nach den möglichen kausal wirkenden Faktoren erfordert daher die Einbeziehung von Basisparametern (Kap. 5.2.2.1) wie Nutzung, Bodenbedingungen, Klima und Witterungsverlauf. Als Referenz sollten Dauerflächen mit Populationen der jeweiligen Zielarten ohne Fremdgenkonstrukt eingerichtet und parallel untersucht werden.

Ein zentraler Wirkungspfad auf der Anbaufläche von Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum ist das Auftreten von transgenen Durchwuchskartoffeln in Nachkulturen und die daraus entstehenden Folgen. Für ein Monitoring werden die Parameter Dichte der Durchwuchspflanzen, molekularer Nachweis des Transgens und Vitalität empfohlen. Sie geben nicht nur Auskunft über die Häufigkeit von Durchwuchspflanzen in Folgekulturen sondern auch über ihre Fitness und das Reproduktionsvermögen. Durchwuchspflanzen können auch über Auskreuzung rekombinante Gensequenzen in ihrem Genom enthalten. In die Untersuchungen sind also auch Flächen mit konventionellem und ökologischem Anbau der jeweiligen Kultursorten einzubeziehen. Geeignete Referenzstandorte sind Flächen, auf denen nicht-transgene Kulturpflanzen in identischer Fruchtfolge und möglichst gleichen Bearbeitungsmaßnahmen angebaut werden.

Die Untersuchungen sind zunächst in jedem Jahr durchzuführen. Dies gewährleistet in der Anfangsphase des Monitoring die Erfassung des Ausgangszustandes. Im Verlauf des Monitoring sollten die Intervalle überprüft und ggf. modifiziert werden. Für Erhebungen außerhalb der Anbaufläche eignen sich die Zeiträume Frühjahr und Sommer. Damit werden zwei wesentliche Phasen der Vegetationsentwicklung abgedeckt.

#### **Überprüfung des Befalls durch mikrobielle Phytopathogene und Phytophage (Abschnitt F, Tab. 11)**

Um im Rahmen des Monitoring Veränderungen im Befall der Kartoffeln durch bakterielle, pilzliche oder virale Phytopathogene zu erheben, sind über die Erfassung der Vitalität hinaus das genaue Schadbild und der Infektionsverlauf zu dokumentieren.

#### **Überprüfung der Wirkungen auf die epi- und hypergäische Arthropodenfauna und Wirbeltiere (Abschnitt G-H, Tab. 11)**

Die zu erwartenden Wirkungen des Anbaus transgener Kartoffelpflanzen auf epi- und hypergäische Arthropoden und Wirbeltiere können sich auf zwei ökologischen Ebenen, der Ebene der Population und der Ebene der Zoozönose manifestieren. Veränderungen der Populationen von Tierarten lassen sich im Rahmen des Monitoring anhand von Abundanzen messen. Kausalanalytische Interpretationen dieser Daten setzen die Einbeziehung von Basisparametern (z.B. Witterungsbedingungen, Landschaftsstrukturen) voraus. Eine wichtige Basis der Auswertung sind geeignete Referenzflächen, vor deren Hintergrund sich Abundanzmuster im Gebiet des Anbaus transgener Kartoffeln interpretieren lassen. Veränderungen von Zoozönosen lassen sich über mehrere Parameter messen, z.B. Dominanzstrukturen und Artendiversität. Die Interpretation dieser

Daten macht, ebenso wie populationsbiologische Daten, ein System von Referenzflächen notwendig.

Angesichts der Artenfülle, insbesondere von Insektengruppen in Ackerflächen ist ein komplexer und schwieriger Abwägungsprozess notwendig, um geeignete Zielarten und Zielartengruppen für das Monitoring auszuwählen. Neben der ökologischen Aussagekraft der Arten bzw. Artengruppen sind Faktoren wie Bestimmungsaufwand, Erfassbarkeit, Artenreichtum, Spezialisierungsgrad und Kenntnisstand zu berücksichtigen. Erläuternde Hintergründe für die hier getroffene Auswahl von Zielarten und Zielartengruppen gibt Kap. 5.2.5.

Hinsichtlich der epi- und hypergäischen Arthropoden richtet sich die Ordnung der Tabelle nach Straten bzw. trophischer Stufe der Tiergruppen und differenziert zwischen den zöologischen und populationsbiologischen Parametern. Diese Einteilung wurde gewählt, um möglichst strikt Wirkungen der transgenen Kartoffeln nach Trophie, Stratum und ökologischer Organisationsebene trennen zu können. Da bei Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum mit einer veränderten Nutzung der Kulturpflanzen durch Phytophage zu rechnen ist, steht hier die möglichst breitgefächerte Untersuchung des Phytophagenspektrums im Vordergrund. In Kartoffelkulturen sind neben Schmetterlingen (Lepidoptera), Blattläusen (Aphidina), Schnellkäfern (Elateridae), Blattkäfern (Chrysomelidae) und Mist- und Laufkäfern (Scarabaeidae) auch Wanzen (Heteroptera) und Zikaden (Auchenorrhyncha) in größeren Anteilen zu erwarten. Zielarten innerhalb der hypergäischen Phytophagen rekrutieren sich aus dem Kartoffelkäfer (*Leptinotarsa decemlineata*) sowie Blattlaus-, Wanzen- und Zikadenarten. Unter den epi- und hypergäischen Prädatoren sind Spinnen (Araneae), Laufkäfer (Carabidae) und Marienkäfer (Coccinellidae) zu untersuchen. Als Parasitoide konnten bisher nicht dominante Familien bzw. Arten innerhalb der Hautflügler (Hymenoptera) identifiziert werden.

In der Wirbeltierfauna wird in Tab. 11 bei Vögeln nach karnivoren, pflanzen- bzw. körnerfressenden und größeren prädatorischen Vogelarten unterschieden, bei Kleinsäugetieren zwischen Insektivoren und Herbivoren. Die beispielhaft genannten Wirbeltierarten sind bisher kaum nach ihrem Verbreitungsschwerpunkt in den vier im Rahmen des Forschungsvorhabens bearbeiteten Kultursorten differenzierbar. Sollten sich lokal andere als die genannten Arten als dominant erweisen, kann eine Modifizierung des Artenspektrums erforderlich sein.

Die Erhebungen sollten ab März begonnen und bis September bzw. Oktober durchgeführt werden, da in diesem Zeitraum die Aktivitätsphasen der Tierarten liegen. Bei der Erfassung der epigäischen Fauna sollte auch während der Sommermonate beprobt werden, da dann in der Spinnenfauna die Hauptaktivität vieler Arten liegt (BLICK, mdl. 2002). Bei der Kleinsäugererfassung und den Bodenfallen kommt es zu einem kontinuierlichen Ausfall mit monatlichen Wechselintervallen, alle anderen Methoden erfassen dagegen zeitlich punktuell. Bei der Klopfmethode bzw. der Entnahme von Pflan-

zenteilen richtet sich der Zeitpunkt der Probenahme entscheidend nach den Aktivitätsphasen der Zielarten.

Das räumliche Konzept beruht auf der parallelen Beprobung von drei Flächenkategorien, d.h. Acker, Ackerrain und Umgebung und der Paralleluntersuchung dieser drei Flächentypen in den Referenzflächen, d.h. Flächen ohne Anbau transgener Kulturpflanzen. Daraus ergeben sich also insgesamt sechs Flächen (3 x GVP + 3 x Referenz), innerhalb derer jeweils die Einzelproben für die Wirbellosenfauna genommen werden (Abb. 2, Kap. 5.2.2.3). Bei der Erfassung der Brutvögel können flächendeckend Acker, Ackerrain und Umgebung an einem Beobachtungsdatum erfasst werden. Dabei wird bei der Kartierung der Randbereich des Ackers und Ackerraines abgegangen und der nähere Umkreis der Umgebung mit erfasst. Dieses Design aus Flächen mit transgenen Pflanzen und Referenzflächen (mit den Untereinheiten Acker, Rain und Umgebung) wird hier als Untersuchungseinheit (UE) bezeichnet. Abweichend von diesem räumlichen Raster müssen größere prädatorische Vogelarten in einem weiteren Umkreis erfasst werden, da ihre Raumansprüche sehr groß sind.

Es bleibt noch zu spezifizieren, wo die Proben in der „Umgebung“ des Ackers lokalisiert werden sollen. Auf der Ackerfläche selbst sollten mögliche Randeffekte mitbedacht werden. Als Faustgröße für einen Abstand der Proben vom Ackerrand werden hier bei großen Ackerflächen 50 m vorgeschlagen, ein Abstand, der bei kleinen Feldern verringert werden muss.

### 5.2.3 Monitoring von Wirkungszusammenhängen mit großen Bezugsräumen

In diesem Kernbereich des Monitoring werden Wirkungspfade und Umwelteffekte zusammengefasst, die in großen räumlichen Skalen zum tragen kommen. Sie können z.B. Regionen, Landschaften oder auch das gesamte Bundesgebiet betreffen. Ihre Überprüfung erfordert eine entsprechende Ausdehnung der Beobachtungsräume. Inhaltlich bestehen Überschneidungen zwischen diesem Kernbereich und den beiden bereits ausgeführten Bereichen des Monitoring. Windverbreitete Pollen und Kreuzungspartner sind z.B. auch Parameter des Screening von Umweltmedien bzw. der schlagbezogenen Erhebungen. Neue, bisher nicht genannte Parameter, wie die schlaggenaue Erfassung aller Anbauflächen oder die Dokumentation der Freisetzungsflächen, bilden wichtige Informationsgrundlagen auch für Interpretationen von Daten, die schlagbezogen oder im Rahmen des Screening erhoben wurden.

Nicht alle in Tab. 13 genannten Parameter müssen zusätzlich erhoben werden. Vielfach kann auf vorhandene Datenreihen zurückgegriffen werden, die allerdings im Rahmen des Monitoring zusammengeführt, aufgearbeitet und ausgewertet werden müssen.

Die kontinuierliche und vollständige Dokumentation aller Anbauflächen transgener Kulturpflanzen und aller Freisetzungsversuche im Bundesgebiet ist eine wesentliche Informationsgrundlage für die Überprüfung und Interpretation möglicher Umweltwirkungen. Dabei sind nicht nur Daten zum schlaggenauen Anbauort, zur verwendeten Kulturpflanzenlinie und den begleitenden Maßnahmen von Bedeutung sondern auch detaillierte Angaben zu allen in das Genom der Pflanzen integrierten Gensequenzen. Kenntnisse über die zeitliche und räumliche Verbreitung der Kulturpflanzen bzw. ihrer Fremdenkonstrukte sind wesentliche Voraussetzung für die Detektion und Interpretation von Transgen-Akkumulationen, mögliche Kombinations- und Synergieeffekte sowie Wechselwirkungen mit Phytopathogenen. Für die Datendokumentation wäre die Einrichtung rechnergestützter Schlagkarteien sinnvoll. Mittels Datenbanken und Geographischem Informationssystem können die Daten zusammengeführt und statistisch sowie kartographisch ausgewertet werden.

Liegen schlaggenaue Daten flächendeckend zu den Anbauflächen transgener Kulturpflanzen über längere Zeiträume vor, können eine Vielzahl von Informationen daraus abgeleitet werden. Dazu gehören mögliche Erweiterungen von Anbauflächen der jeweiligen Kulturarten, Verschiebungen bisheriger Anbauregionen oder auch veränderte Landnutzungen, indem z.B. bisherige Grenzertragsländer nun intensiv genutzt werden.

Eine geostatistische Verrechnung dieser Informationen mit flächendeckenden Biotoptypenkarten kann Hinweise auf Veränderungen der landschaftsökologischen Diversität durch den Anbau transgener Kulturpflanzen geben. Werden Ausdehnung und Vielfalt von Biotoptypen durch entsprechende Verlagerungen der Anbauflächen transgener Kulturpflanzen beeinträchtigt, wirkt sich dies auch auf die Biodiversität aus. Biotoptypenkartierungen werden auf Länderebene bereits durchgeführt. Allerdings unterschei-

den sich die verwendeten Kartierschlüssel derart, dass eine bundesweite Zusammenführung der Daten nicht möglich ist. Eine Harmonisierung der Methoden steht nicht in Aussicht. Überlegenswert wäre eine Erweiterung der Länderschlüssel um Kategorien, die für ein Monitoring von Bedeutung sind, um auf Länderebene eine Auswertung der Daten vornehmen zu können.

Detaillierten Schlagdateien, in denen Bewirtschaftungsmassnahmen vollständig dokumentiert werden, können Informationen zur räumlichen Ausdehnung neuer oder veränderter landwirtschaftlicher Eingriffe im Zuge des Anbaus transgener Kulturpflanzen entnommen werden. Werden großräumige Verschiebungen oder Veränderungen der Biodiversität im Agrarraum beobachtet, stellen sie einen bedeutenden Interpretationshintergrund dar.

Die großräumige Verbreitung von Pollen der vier Fallbeispiele über den Wind kann durch Pollenakkumulatoren detektiert werden. Die Pollen werden aufgefangen und einer molekularen Analyse (PCR bzw. DNA-Chip-Technologie Kap. 5.2.4) unterzogen. Welche Pollenmessnetze es bereits gibt und inwieweit sie sich für ein Monitoring eignen wird in Kapitel 6 dargestellt.

Eine Methode zur flächendeckenden Erfassung potenzieller Kreuzungspartner wurde bereits im Zusammenhang mit schlagbezogenen Erhebungen erläutert. Floristische Kartierungen mittels semiquantitativer Häufigkeitsskalen werden in allen Ländern durchgeführt. Auf die Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung dieser Daten bzw. einer Anbindung des Monitoring an diese Programme wird in Kapitel 6 eingegangen.

Indirekte und komplexe Nahrungsketteneffekte und ihre Auswirkungen auf Arten der Nahrungskettenendstufen können über das vorhandene Artenspektrum bzw. über die Häufigkeit und Fitness ausgewählter Artengruppen erfasst werden. Die in Tab. 13 vorgeschlagenen Parameter werden bereits in bundesweiten Beobachtungsprogrammen erhoben. Ohne konkrete Hinweise auf mögliche Nahrungsketteneffekte scheint es zum gegenwärtigen Zeitpunkt schwer umsetzbar, im Rahmen des Monitoring zusätzliche Tierarten der Nahrungskettenendstufen großräumig zu beobachten. Vielmehr sollten alle vorhandenen Datenreihen zusammengeführt und ausgewertet werden. Werden Veränderungen oder Einbrüche sichtbar, sind weitergehende Untersuchungen erforderlich über die kausale Bezüge zum Anbau von transgenen Kulturpflanzen abgefragt werden.

Tab. 13 gibt einen Überblick über Parameter, die im Rahmen eines Monitoring von Wirkungszusammenhängen mit großen Bezugsräumen relevant sind.

**Tab. 13:** Monitoring von Wirkungszusammenhängen mit großen Bezugsräumen

Hypothesen	Parameter	Methode/Erhebungsart/Datenquelle/ Datenverarbeitung	Erhebungsintervall/ Auswertungsintervall verfügbarer Daten
	<i>Anbau von GVP</i>		
H9 H10 H11	Flächendeckende Erfassung der Anbauflächen transgener Kulturpflanzensorten, verwendete Genkonstrukte, transgene Eigenschaften	Schlagkartei GIS	jährlich
	Dokumentation der Feisetzungsversuche transgener Kulturpflanzensorten, verwendete Genkonstrukte, transgene Eigenschaften	GIS, Bearbeitung und Visualisierung vorhandener Daten	jährlich
	Veränderungen der Anbaupraxis auf Anbauflächen transgener Kulturpflanzensorten	Schlagkartei GIS	jährlich
	Landschaftsökologische Diversität Biotoptypen	Biotoptypenkartierung Luftbildauswertung	alle 5 Jahre
H1, H15 H16, H39 H43, H51 H62	Verbreitung von Pollen inverkehrgebrachter transgener Kulturpflanzen Molekularer Nachweis	Pollenakkumulatoren Polymerase Chain Reaction (PCR) DNA- Chip- Technologie	wöchentlich bzw. zwei- wöchentlich während der Vegetationsperiode

Hypothesen	Parameter	Methode/Erhebungsart/Datenquelle/ Datenverarbeitung	Erhebungsintervall/ Auswertungsintervall verfügbarer Daten
H16, H17 H18, H51	Floristische Kartierung potenzieller Kreuzungspartner Molekularer Nachweis	Floristische Häufigkeitsschätzskala (PCR) DNA- Chip- Technologie	jährlich im Frühjahr und Sommer
<i>Nahrungsketteneffekte</i>			
H9 H37 H32 H31 H30 H46	Artenspektrum, relative Häufigkeit und Fitness von Arten der Nahrungskettenendstufen  Siedlungsdichte Avifauna (Agrarraum) Bestandsentwicklung Greifvögel und Eulenvögel Bestandsentwicklung Singvogelpopulationen Bestandsentwicklung von Wildtieren Zustandsentwicklung von Arten der Vogelschutzrichtlinie Zustandsentwicklung von Arten der FFH-Richtlinie Zustandsentwicklung von Fischen	Zusammenführung und Auswertung vorhandener Datenreihen aus bundesweiten Monitoringprogrammen	



## 5.2.4 Erläuterungen zu den für das Monitoring vorgeschlagenen Methoden

### Übersicht

- A Molekulare Analysemethoden**
  - A1 Polymerase Chain Reaction (PCR)
  - A2 DNA-Chip-Technology und Real time PCR
  - A3 DNA-Fingerprintmethoden
  - A4 Enzyme-linked-immunosorbent-assay (ELISA)
  - A5 Hochdruckflüssigkeitschromatographie
- B Vegetationsökologische Methoden**
  - B1 Floristische Kartierung
  - B2 Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen
  - B3 Floristische Aufnahme der Dauerbeobachtungsflächen
  - B4 Dichte
  - B5 Vitalität
  - B6 Phänologie
  - B7 Untersuchung der Diasporenbank
- C Methoden zur Erfassung von Arthropoden**
  - C1 Erfassung an Einzelpflanzen
  - C2 Klopfmethode
  - C3 Entnahme von Pflanzenteilen
  - C4 Saugmethode
  - C5 Käscher
  - C6 Bodenfallen
  - C7 Fangrahmen
- D Methoden zur Erfassung von Kleinsäugetern**
  - D1 Schlagfallen und Lebendfallen
  - D2 Bodenfallen
- E Methoden zur Erfassung von Brutvögeln**
  - E1 Standardisierte Erhebung
  - E2 Erfassung des Bruterfolgs
- F Methoden zur Erfassung von Rastvögeln**
  - F1 Raumnutzungsanalysen
- G Bodenökologische Methoden**
  - G1 Bodenchemische und bodenphysikalische Methoden
  - G2 Bodenmikrobiologische Methoden
  - G3 Bodenzologische Methoden
- H Methoden zur Untersuchung von Gewässerzönosen**

## **A Molekulare Analysemethoden**

### **A1 Polymerase Chain Reaction (PCR)**

Die PCR ist eine molekulare Nachweismethode von rekombinanten Gensequenzen. Drei Schritte sind für den Nachweis aus Organismen oder Umweltproben erforderlich:

- Extraktion der Gesamt-DNA aus der Probe
- Durchführung der eigentlichen PCR, d.h. Amplifizierung der gesuchten Genabschnitte durch spezifische Primer
- Analyse der PCR-Produkte über Agarose-Gelelektrophorese.

Jedes Genkonstrukt und jeder transgene Organismus, der eine Zulassung erhält, stellt neue Anforderungen an den Nachweis der rekombinanten Gensequenzen. Die Einheitlichkeit angewendeter Methoden und die Vergleichbarkeit von Analyseergebnissen ist eine wichtige Voraussetzung für ein großräumig angelegtes Monitoring. Der Länderausschuss Gentechnik (LAG) hat einen Unterausschuss eingerichtet, der sich mit der Entwicklung und Validierung von Methoden für die experimentelle Überwachung gentechnisch veränderter Organismen befasst. U.a. werden Methoden zur Probenahme und Analyse von Pflanzen entwickelt und in Ringversuchen überprüft. Die Methodensammlung wird ständig fortgeschrieben und vom Robert-Koch-Institut veröffentlicht ([www.rki.de](http://www.rki.de)).

Eine besondere methodische Herausforderung ist die Extraktion und Reinigung von DNA aus Umweltproben, wie z.B. aus Bodenmaterial. Die Weiterentwicklung und Standardisierung vorhandener methodischer Ansätze wird derzeit in Forschungsvorhaben verfolgt (UMWELTBUNDESAMT 2001a).

Im Rahmen des Monitoring werden große Probemengen mit unterschiedlichen rekombinanten Gensequenzen anfallen. Zukünftig wäre es sinnvoll, die Gelelektrophorese zum Nachweis von PCR-Produkten durch eine Diagnose mittels DNA-Chip-Technologie zu ersetzen (A2).

### **A2 DNA-Chip-Technologie , Real time PCR**

Das Screening von Umweltmedien erfordert eine Methode, die eine schnelle Analyse unterschiedlichster Proben in hohem Probendurchsatz ermöglicht. Als geeignet erscheinen hierfür PCR-basierte DNA-Chip-Technologien (DNA-Array-Assays), die eine Probe simultan auf alle gesuchten Gensequenzen screenen kann, ohne das bekannt sein muss, in welchem Organismus sie sich befinden (MERTES et al. 1997, JORDAN & JORDAN 2001, GRIFFIN & GRIFFIN 1994).

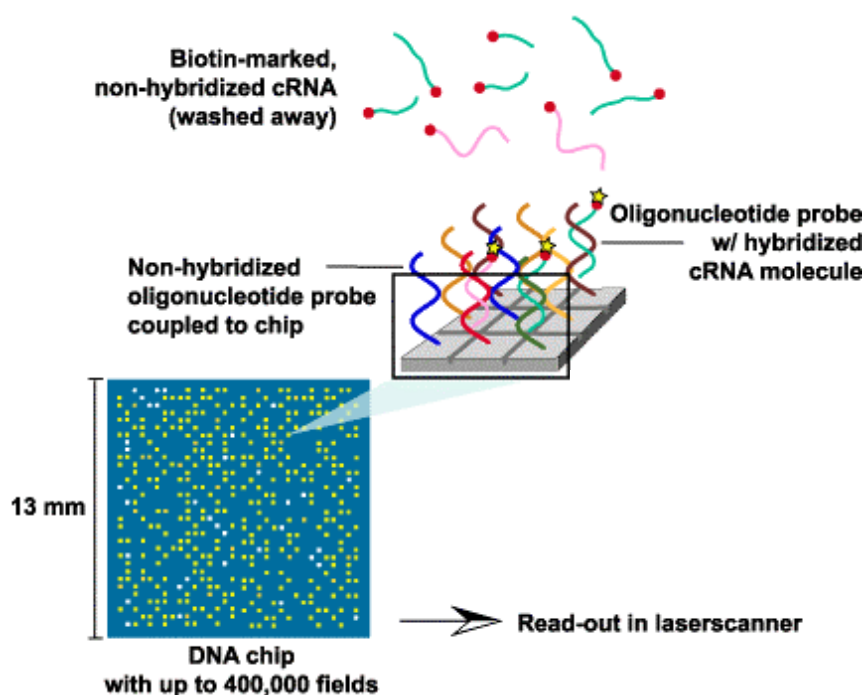
Das Prinzip der DNA-Mikroarray-Hybridisierung (DNA-Chip-Technologie) beruht auf der Fixierung einer großen Anzahl von Genabschnitten auf einer Matrix, die mit fluoreszenz-markierten DNA- (oder auch RNA-) Fragmenten auf korrespondierende Gene mittels Hybridisierung abgesucht wird. Entwickelt wurden bis heute zwei Array-Systeme, die sich dadurch unterscheiden, wie und in welcher Form die Zielgene auf der Glasmatrix fixiert werden (Abbildung 3).

Bei der Herstellung der Arrays werden zwei Verfahren angewandt, Photolithographie und Festphasen-DNA-Synthese. Synthetische Linker, an die photosensitive Schutzgruppen gekoppelt sind, werden zunächst auf der Glasmatrix verankert. Belichtung durch eine photolithographische Maske, die nur an spezifischen Stellen lichtdurchlässig ist, zieht eine positionsabhängige Freisetzung von reaktiven Gruppen nach sich, an die im anschließenden Schritt Desoxynukleotide kovalent binden können. Die Hydroxylgruppen dieser Nukleotidbausteine sind wiederum durch photosensitive Gruppen geschützt. Dieser Prozess der Freisetzung reaktiver Gruppen durch Belichtung und anschließender chemischer Synthese wird mehrmals wiederholt, wodurch jeweils andere Positionen aktiviert werden und unterschiedliche Nukleotide für die Kopplungsreaktion verwendet werden, so dass an jeder Stelle Oligonukleotide beliebiger Sequenz synthetisiert werden können. Patentinhaber ist die Fa. Affymetrix.

Auf einem Set von fünf Arrays können mit dieser Methode bis heute z.B. 30.000 unterschiedliche Gene repräsentiert werden, wobei diese Anzahl noch deutlich gesteigert werden soll. Die Arrays haben jeweils eine Größe von 1.28 x 1.28 cm und alle Gene werden durch ca. 20 Oligonukleotide repräsentiert, die unabhängige Hybridisierungssignale geben und auch unterschiedlichen Abschnitten des Zielgens entstammen können. Diese Redundanz an Zielgenen wird zusätzlich erhöht, indem neben den Oligonukleotiden, die genau der Zielsequenz entsprechen, Oligonukleotide synthetisiert werden, die an bestimmten Stellen eine Punktmutation im Vergleich zu dem korrespondierenden Original aufweisen. Durch diese variablen Repräsentationen der Zielgene wird neben einer Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses weiterhin die Zuordnung positiver Hybridisierungsergebnisse erleichtert sowie die Möglichkeit zur Identifizierung falsch positiver Signale, hervorgerufen z.B. durch Kreuzhybridisierung, gegeben.

Andere DNA-Mikroarray-Systeme verwenden, anstatt der relativ kurzen Oligonukleotide längere (0.6-2.4 kb), PCR-amplifizierte DNA-Fragmente. Bei diesem Verfahren ist die Aufbringung der Zielsequenzen auf die Glasmatrix nicht an eine Festphasen-DNA-Synthese auf dem Objektträger gebunden, vielmehr werden die amplifizierten DNA-Fragmente durch einen Roboter auf die Matrix aufgetragen ("gespottet"). Publiziert wurden bis heute Dichten von ca. 5000 Genen pro cm<sup>2</sup>. Die DNA wird anschließend durch UV-Strahlung auf der Matrix fixiert, durch Hitze- oder Alkalibehandlung teilweise in Einzelstränge überführt und in dieser Form der Hybridisierung mit fluoreszenz-markierten (Cy5 oder Cy3) DNA-Fragmenten zugänglich gemacht.

Nachteil dieser Methode ist, dass die aufgebrachte DNA nicht ausschließlich als Einzelstrang vorliegt, sondern z.T. doppelsträngig verbleibt, unterschiedliche Stränge miteinander verbunden sind sowie innerhalb eines Stranges mehrere Verankerungspunkte mit der Matrix auftreten können. Der Vorteil liegt allerdings in der Länge und Komplexität der verwendeten DNA Produkte, die eine höhere Spezifität bei der Hybridisierung vermitteln. Die Hybridisierung der Mikroarrays ist für beide Verfahren ähnlich. Der Einsatz der DNA-Mikroarray-Hybridisierung ist nicht ausschließlich auf die Expressionsanalysen einzelner Gene beschränkt. Weitergehende Einsatzbereiche beinhalten z.B. die Untersuchung polymorpher Loci im Genom. Ebenso ist es möglich, Gentypisierungen durchzuführen, wobei mehrere Tausend alternativer Allele innerhalb kurzer Zeit detektiert werden können.



**Abb. 3:** Schematische Darstellung des Aufbaus eines DNA-Arrays.  
[www.biohytec.de/techno/t\\_dna.html](http://www.biohytec.de/techno/t_dna.html)

Werden in Umweltproben rekombinante Gensequenzen nachgewiesen, ist für bestimmte Fragestellungen eine anschließende Quantifizierung sinnvoll. Geeignet hierfür sind sogenannte Real-Time-PCR-Methoden (TERRY & HARRIS 2001, EINSPANIER 2001). Eine Methode, bei der mehrere Proben gleichzeitig analysiert werden können, ist der Taq-Man<sup>TM</sup>-Assay (MERTES et al. 1997, JORDAN et al. 2001, GRIFFIN & GRIFFIN 1994).

Die TaqMan<sup>TM</sup>-Chemie (Perkin-Elmer) beruht auf dem bereits 1991 publizierten 5'Nuklease-Assay (HOLLAND et al. 1991). Dabei wird neben den üblichen Komponenten der PCR (DNA-Template; Puffer; Nukleotide; Primer; Taq-Polymerase) noch eine sequenzspezifische Sonde zum PCR-Ansatz hinzugegeben, die mit zwei Fluoreszenz-

farbstoffen markiert ist: Als sogenannter Reporter-Farbstoff wird ein Fluoresceinderivat an das 5'-Ende der Sonde gekoppelt. Bei der intakten Sonde ist eine Fluoreszenz dieses Reporters in einem Luminometer nicht nachweisbar, da das 3'-OH-Ende der Sonde mit einem Quencher-Farbstoff TAMRA (einem Rhodaminderivat) markiert ist. TAMRA unterdrückt durch seine relative Nähe in der intakten Sonde die Reporter-Fluoreszenz (quenching). Außerdem ist das 3'-OH-Ende der Sonde über einen Phosphatrest blockiert, so dass sie während der Reaktion nicht als ein zusätzlicher Primer fungieren kann. Bindet die Sonde im Verlauf eines PCR-Zyklus spezifisch an die entsprechende Einzelstrang-DNA, so führt die Taq-Polymerase zunächst eine Primer-Extension (Primer-Verlängerung) durch. Trifft sie dabei auf die gebundene Sonde, so hebt sie diese einige Basen weit vom Einzelstrang ab. Dadurch wird ein Substrat für die 5'-3'-Exonukleaseaktivität der Taq-Polymerase geschaffen und die Sonde zwischen Reporter und Quencher verdaut. Der Quenching-Effekt wird dadurch aufgehoben und die Emission wird im Luminometer nachweisbar. Es werden pro Zyklus so viele markierte Sonden verdaut, wie Amplifikat gebildet wird. Am Ende der PCR ist daher das Verhältnis beider Farbstoffe (Reporter- und Quencherfarbstoff) der Menge des gebildeten PCR-Produkts proportional. Dadurch sind sehr genaue quantitative Analysen möglich.

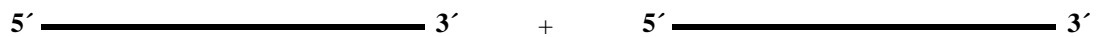
Die Messung erfolgt innerhalb weniger Minuten im Mikrotiterplattenformat in einem Luminometer, was in Kombination mit der computergestützten Auswertung des Ergebnisses einen hohen Probendurchsatz ermöglicht. Durch die Verwendung verschiedener Reporterfarbstoffe für verschiedene Sonden ist die TaqMan<sup>TM</sup>-Chemie multiplexfähig, was den Probendurchsatz zusätzlich erhöht (Abb. 4).

Der größte Aufwand bei den oben beschriebenen PCR-Diagnostiken liegt in der sauberen Isolation der Nukleinsäure aus den Umweltproben (NICHOLL 1994, MEESE & MENZEL 1995, NEWTON & GRAHAM 1994). Die PCR stellt keine hohen Ansprüche an die Qualität der nachzuweisenden DNA, sie muss nicht in hochmolekularer Form vorliegen. Problematisch wird es, wenn bestimmte Inhaltsstoffe der Probematerialien die PCR-Analyse stören. In Bodenproben können z.B. Huminstoffe eine PCR-Analyse inhibieren. Auch hohe Konzentrationen von Glucose, wie sie bei den DNA-Extraktionen von Pflanzen vorkommen, zeigen einen negativen Einfluss auf die PCR-Analyse.

Sowohl die DNA-Chip-Technologie als auch Methoden der Real-Time-PCR befinden sich in der Entwicklung und entsprechen derzeit noch nicht den Anforderungen einer Massenanalyse mit hohem Probendurchsatz. Die Techniken erlauben höchstens die gleichzeitige Bearbeitung von bis zu vier Proben (abhängig von den Markierungs-Chemikalien). Durch die schnelle Online-Detektion der PCR-Reaktion bei der Verwendung des TaqMan<sup>TM</sup>-Assays lassen sich pro Tag wohl bis zu 20-30 verschiedene Proben untersuchen. Allerdings ist der Pipettieraufwand, der für die Vorbereitung der PCR notwendig ist, so hoch, dass sich der Zeitvorteil durch den Arbeitsaufwand schnell relativiert. Trotz des neu entwickelten Vierkammer DNA-Chip-Systems durch die Firma MWG-Biotech AG, das vier parallele Hybridisierungsansätze zulässt, erlaubt die DNA-Chip-Technologie derzeit in der Gesamtheit auch nur eine sehr begrenzte Anzahl an Analysen.

Für die Umsetzung des Monitoring ist es notwendig, die Verbesserung und Weiterentwicklung dieser Technologien zu fördern, damit schnellstmöglich Methoden zur Verfügung stehen, die eine Analyse unterschiedlicher Umweltproben mit hohem Probendurchsatz erlauben.

### 1. DNA Denaturierung



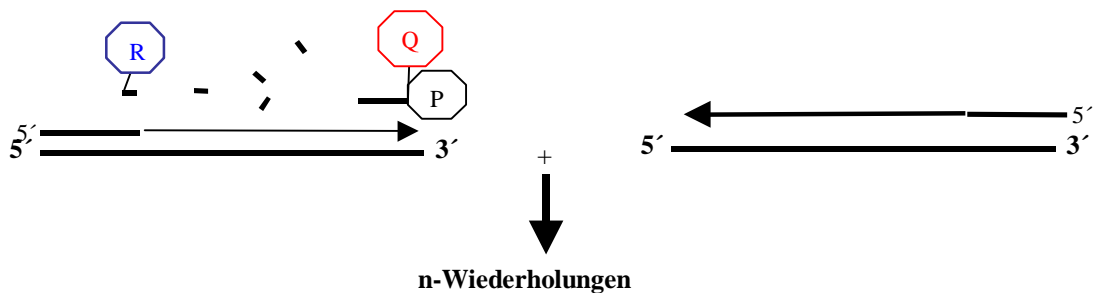
### 2. Anlagerung der PCR-Primer und der Sonde



### 3. Verdau der Sonde während der Primer-Extension



### 4. Abschluß des TaqMan™ PCR-Zyklus



**Abb. 4:** Schematisierter Ablauf der TaqMan™-PCR (R=Reporter; Q=Quencher; P=Phosphatrest) (MERTES et al. 1997)

## A3 DNA-Fingerprintmethoden

Grundlage der DNA-Fingerprintmethoden ist die Amplifikation von DNA-Abschnitten mittels PCR und die Auftrennung von Reaktionsprodukten nach Größe mittels

Gelelektrophorese. Durch die Elektrophorese werden Bandenmuster erzeugt, die es ermöglichen, Veränderungen in der Mikroorganismengemeinschaft zu erkennen. Derzeit stehen verschiedene DNA-Fingerprintmethoden zur Verfügung (TGGE - Temperature Gradient Gel Electrophoresis, DGGE - Denaturing Gradient Gel Electrophoresis, SSCP-Analyse - Single Strand Conformation Polymorphism, T-RFLP - Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism u.a.). Die Entwicklung geeigneter und standardisierter Routinemethoden ist Gegenstand laufender Forschungsvorhaben (UMWELTBUNDESAMT 2001a).

#### **A4 Enzyme-linked-immunosorbent-assay (ELISA)**

ELISA ist eine Testmethode, die auf der hochspezifischen Wechselwirkung von Antikörper und Antigen beruht und deren Detektion durch einen enzymkatalysierten Farbumschlag erfolgt.

Für den Nachweis von B.t.-Toxinen sind standardisierte ELISA-Test-Kits im Handel erhältlich ([www.agrobiologicals.com](http://www.agrobiologicals.com)). Eine Unterscheidung von natürlich im Boden vorkommenden Toxinen und über Transgene produzierte Toxine ist bisher methodisch nicht möglich. An Bodenpartikel adsorbierte Proteine müssen für einen Nachweis erst gelöst werden.

Für den Nachweis von BNYVV (Beet necrotic yellow vein virus) sind ebenfalls standardisierte ELISA-Test-Kits im Handel erhältlich ([www.agrobiologicals.com](http://www.agrobiologicals.com)).

#### **A5 Hochdruckflüssigkeitschromatographie**

Die Methoden der hochdruckflüssigkeitschromatographischen Bestimmung von Glufosinat und Glyphosat und deren Metabolite gehen auf Empfehlungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft zurück. Eine genaue Methodenbeschreibung liefern RÖDEL et al. (1999).

### **B Vegetationsökologische Methoden**

#### **B1 Floristische Kartierung mittels floristischer Häufigkeitsskala nach GARVE (1994)**

Diese semiquantitative Erfassung von Pflanzenarten erfolgt über eine Schätzung der Individuenzahl nach Häufigkeitsklassen (Tab. 14). Ist eine Unterscheidung der Individuen nicht möglich, werden blühende Sprosse oder die Deckung der jeweiligen Art erhoben. Im Rahmen der auf Länderebene durchgeführten Florenerfassungen wird sie vielfach verwendet. Die Schätzmethode ist auch für Laien gut handhabbar und gewährleistet eine zügige flächenbezogene Erhebung der Flora.

**Tab. 14:** Floristische Häufigkeitsskala nach GARVE (1994)

Häufigkeits-kategorie	Individuen	blühende Sprosse	von der Art bedeckte Fläche
0	früheres Vorkommen erloschen		
1	1	1	< 1 m <sup>2</sup>
2	2-5	2-5	2-5 m <sup>2</sup>
3	6-25	6-25	6-25 m <sup>2</sup>
4	26-50	26-50	26-50 m <sup>2</sup>
5	51-100	51-100	51-100 m <sup>2</sup>
6	> 100	> 100	> 100 m <sup>2</sup>
7	> 1000	> 1000	> 1000 m <sup>2</sup>
8	> 10.000	> 10.000	> 10.000 m <sup>2</sup>
9	ohne Häufigkeitsangabe		

## B2 Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen

Dauerbeobachtungsflächen werden nach FISCHER & KLOTZ (1996, zitiert in TRAXLER 1997) folgendermaßen definiert:

Räumlich zusammenhängender, dauerhaft festgelegter, in der Regel markierter Ausschnitt einer Phytozönose, auf dem der Zustand der Vegetation(...)mit identischer Methode wiederholt erfasst wird.

Die erforderliche Größe von Dauerbeobachtungsflächen variiert mit den Pflanzengesellschaften (DIERSCHKE 1994). Für Ackerwildkraut- und Ruderal-Vegetation, Gesteinsfluren, Schlagvegetation und Gebüsche werden Erfahrungswerte von 25 bis 100 m<sup>2</sup> angegeben. Da die im Rahmen des Monitoring durchzuführenden Untersuchungen keinen pflanzensoziologischen Hintergrund haben, sondern Aussagen zur Vergesellschaftung der Zielarten und zu Dominanzverschiebungen in den Beständen gemacht werden sollen, ist die jeweilige Flächengrößen den Gegebenheiten entsprechend auszuwählen.

Außerhalb der Anbaufläche transgener Kulturpflanzen sind Verteilung und Form der Dauerbeobachtungsflächen dem Vorkommen der zu untersuchenden Zielarten anzupassen. Innerhalb der Anbaufläche und im Ackerrain können sie im Plotdesign oder als Transekt angelegt werden.

## B3 Floristische Aufnahme der Dauerbeobachtungsfläche nach der Schätzskala von PFADENHAUER et al. (1986)

Die floristische Aufnahme der Dauerbeobachtungsflächen erfolgt im wesentlichen in zwei Schritten, der Anfertigung einer möglichst vollständigen Artenliste und der Schätzung der Deckungsgrade. Als Schätzskala schlagen wir in Anlehnung an die Methoden zur Ökologischen Flächenstichprobe (STATISTISCHES BUNDESAMT & BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2000) das Verfahren von PFADENHAUER et al. (1986) vor (Tab. 15).



Dabei handelt es sich um eine modifizierte Braun-Blanquet-Skala, die als Messgröße nur Deckungswerte berücksichtigt und auf Angaben zur Abundanz verzichtet. Die quantitative Schätzung des Pflanzenbestandes wird dadurch genauer und ist besser handhabbar (TRAXLER 1997, DIERSCHKE 1994). Um die Genauigkeit der Skala darüber hinaus noch zu verbessern, wird im Rahmen der Ökologischen Flächenstichprobe eine Erweiterung um den Wert „r“ vorgeschlagen (STATISTISCHES BUNDESAMT & BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ 2000).

**Tab. 15:** Aufnahmeskalen von BRAUN-BLANQUET (1964) und PFADENHAUER et al. (1986)

Braun-Blanquet (1964)		Pfadenhauer et al. (1986)	
Artmächtigkeit		Deckungsgrad	
r	„raro“, meist nur ein Exemplar		
+	Spärlich, maximal 1 % Deckung	+	< 1 %
1	1-5 % Deckung oder reichlich Pflanzen mit geringer Deckung	1a	1-3 %
		1b	3-5 %
2	5-25 % oder sehr zahlreich	2a	5-12,5 %
		2b	12,5-25 %
3	25-50 %	3	25-50 %
4	50-75 %	4	50-75 %
5	75-100 %	5	75-100 %

#### **B4 Dichte**

Als Dichte wird die Individuenzahl pro Flächeneinheit bezeichnet (TRAXLER 1997). Die Individuenzahl von Durchwuchspflanzen auf den Anbauflächen kann durch Zählung erhoben werden.

#### **B5 Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991)**

Angaben zur Vitalität der Pflanzen sagen etwas über ihre Fitness, Konkurrenzkraft und ihr Reproduktionsvermögen aus. Die Skala von MURMANN-KRISTEN (1991) erfasst zusätzlich zu den gängigen Vitalitätskriterien den Befall der Pflanzen durch phytopathogene Insekten und Mikroorganismen sowie sonstige Schadbilder (Tab. 16). Sie wurde ursprünglich für die Waldschadensforschung entwickelt. Um Schäden oder den Befall von Zielarten des Monitoring zu erfassen, sind die Schadbilder ggf. den jeweiligen Pflanzenarten anzupassen.

**Tab. 16:** Vitalität nach MURMANN-KRISTEN (1991)

	Vitalität
∞	sehr schwach, zufällig gekeimt, sich nicht vermehrend
°	geschwächt, kümmerlich
∅	geschwächt, kümmerlich durch sichtbare Schäden
•	normal
••	überaus kräftig

	Art des Schadens
1	Fraß- und Saugschäden
2	Schäden durch Pilzbefall
3	unspezifische Vergilbungen
4	Chlorosen, Nekrosen
5	Seneszenzerscheinungen

### B6 Phänologischer Aufnahmeschlüssel nach DIERSCHKE (1994)

Die Erhebung phänologischer Stufen beschreibt den Eintritt definierter Entwicklungsphasen bei den beobachteten Einzelpflanzen bzw. Pflanzenbeständen (DIERBEN 1990). Als Methode für phänologische Untersuchungen ist der von DIERSCHKE (1994) zusammengestellte Aufnahmeschlüssel leicht erkennbarer Phänostufen geeignet. Für die hier behandelten Fallbeispiele sind die Kategorien der vegetativen und generativen Phänostufen von Kräutern und Keimlingen relevant.

**Tab. 17:** Phänologischer Aufnahmeschlüssel nach DIERSCHKE (1994)

Vegetative Phänostufen		Generative Phänostufen	
Sommergrüne Laubhölzer			
0	Knospen völlig geschlossen	0	ohne Blütenknospen
1	Knospen mit grünen Spitzen	1	Knospen erkennbar
2	Grüne Blatttüten	2	Blütenknospen stark geschwollen
3	Blattentfaltung bis 25 %	3	kurz vor der Blüte
4	Blattentfaltung bis 50 %	4	beginnende Blüte
5	Blattentfaltung bis 75 %	5	bis 25 % erblüht
6	Volle Blattentfaltung	6	bis 50 % erblüht
7	Erste Blätter vergilbt	7	Vollblüte
8	Blattverfärbung bis 50 %	8	abblühend
9	Blattverfärbung bis 75 %	9	völlig verblüht
10	Blattverfärbung über 75 %	10	fruchtend
11	Kahl	11	Ausstreuen der Samen bzw. Auswerfen der Früchte

Vegetative Phänostufen		Generative Phänostufen	
Kräuter: blattreiche (blattarme) Pflanzen			
0	ohne neue oberirdische Triebe	0	ohne Blütenknospen
1	neue Triebe ohne entfaltete Blätter	1	Knospen erkennbar
2	erstes Blatt entfaltet (bis 25 % entwickelt)	2	Blütenknospen stark geschwollen
3	2-3 Blätter entfaltet (bis 50 % entwickelt)	3	kurz vor der Blüte
4	mehrere Blätter entfaltet (bis 75 % entwickelt)	4	beginnende Blüte
5	fast alle Blätter entfaltet (fast voll entwickelt)	5	bis 25 % erblüht
6	voll entwickelt	6	bis 50 % erblüht
7	beginnende Vergilbung, Blütenstengel vergilbt	7	Vollblüte
8	Vergilbung bis 50 %	8	abblühend
9	Vergilbung über 50 %	9	völlig verblüht
10	oberirdisch abgestorben	10	fruchtend
11	oberirdisch verschwunden	11	Ausstreuen der Samen bzw. Auswerfen der Früchte
Gräser / Grasartige			
0	ohne neue oberirdische Triebe	0	ohne erkennbaren Blütenstand
1	neue Triebe ohne entfaltete Blätter	1	Blütenstand erkennbar, eingeschlossen
2	erstes neues Blatt entfaltet	2	Blütenstand sichtbar, nicht entfaltet
3	2-3 Blätter entfaltet	3	Blütenstand entfaltet
4	beginnende Halmentwicklung	4	erste Blüten stäubend
5	Halme teilweise ausgebildet	5	bis 25 % stäubend
6	Pflanze voll entwickelt	6	bis 50 % stäubend
7	beginnende Vergilbung bis vergilbte Halme	7	Vollblüte
8	Vergilbung bis 50 %	8	abblühend
9	Vergilbung über 50 %	9	völlig verblüht
10	oberirdisch abgestorben	10	fruchtend
11	oberirdisch verschwunden	11	Ausstreuen der Samen
K	Keimling		
J	Jungpflanzen, im Beobachtungszeitraum nicht voll entwickelt		
W	überwinternd, grüne Blätter des Vorjahres		
°	angefressen		
*	welkend		

## **B7      Untersuchung der Diasporenbank**

Für eine Erfassung des Diasporenpotenzials im Boden stehen im Wesentlichen zwei Methoden zur Verfügung (FISCHER 1987, DIERSCHKE 1994, THOMPSON et al. 1997):

- Bei der Schlamm-Methode werden die Diasporen durch Abschlämmen und Aus-sieben von Bodenpartikeln getrennt. Sie müssen ausgelesen und bestimmt werden. Über anschließende Keimversuche kann festgestellt werden, ob es sich um lebende und keimfähige Samen handelt.
- Beim Auflaufverfahren wird Bodenmaterial in dünnen Schichten in ein Keimbett gegeben und unter geeigneten Bedingungen (Freiland, Gewächshaus, Klimakammer) exponiert. Auflaufende Keimlinge werden bestimmt, gezählt und dann entfernt. Nicht keimfähige oder in der Samenruhe befindliche Diasporen werden über diese Methode nicht erfasst.

## **C      Methoden zur Erfassung von Arthropoden**

### **C1      Erfassung an Einzelpflanzen**

Zur Erfassung hypergäischer Zielarten ist das Abfangen an Einzelpflanzen die Methode mit dem kleinsten räumlichen Auflösungsvermögen. Dabei treten allerdings Variationen im Besiedlungsmuster bei Phytophagen wie ihren Antagonisten in Abhängigkeit von der Wuchsform, dem Alter der Pflanzen etc. auf (SOUTHWOOD & HENDERSON 2000). Die Erfassung der Tiere kann entweder an der Pflanze mittels eines Exhaustors oder eines Klopfschirms bzw. Klopftuchs im Gelände vorgenommen werden bzw. die Pflanze wird in Plastikbeutel gebracht und ins Labor mitgenommen, wo das Material aussortiert und ggf. weitergezüchtet wird.

### **C2      Klopfmethode**

Mit der Klopfmethode werden Wirtspflanzen mit einem Klopfschirm oder -tuch abgesammelt, indem mit einem Stock o.ä. der Tierbestand an der Pflanze heruntergeklopft wird. Anschließend wird von der meist weißen Fläche des Schirms oder Tuches ein Exhaustor zur Entnahme der Tiere eingesetzt (Tab. 18). Bei dieser Beprobung spielt der Zufall allerdings eine erhebliche Rolle, da viele Arten leicht entweichen und viele Tiere sich versteckt, z.B. in den Blattscheiden oder nahe am Wurzelbereich aufhalten. Endophage, wie Minierer oder Gallbildner werden dabei kaum erfaßt. Dennoch eignet sich diese Methode insbesondere zur Erfassung ektophytophager Insekten an ihren Wirtspflanzen. Um die Wirtspflanzenbindung der Tiere eindeutig zu identifizieren, werden Einzelpflanzen oder größere Bestände nur einer Pflanzenart beprobt. Diese Methode eignet sich nahezu als einzige, um Blatt- und Rüsselkäfer an Wildkräutern zu erfassen (FRITZ-KÖHLER 1996), ist jedoch auch für andere höhere Taxa geeignet, sofern diese

nicht zu flugaktiv sind und bei Annäherung schnell entweichen, wie viele Arten unter den Diptera und Hymenoptera.

**Tab. 18:** Klopfmethode

Material	Vorgehen
Stock Klopfschirm oder Klopftuch Exhaustor Sammelgefäße zum Überführen des Tiermaterials Tötungsmittel (Essigäther)	Abklopfen der Wirtspflanzen Einsammeln des Tiermaterials mittels eines Exhaustors

### C3 Entnahme von Pflanzenteilen

Die Entnahme von Blättern, Stengeln oder Blüten kann standardisiert werden, indem z.B. genau 100 Blätter aus der Probefläche entnommen werden. Diese Methode wird im Pflanzenschutz vor allem zur Kontrolle des Blattlausflugs, z.B. auf Kartoffeläckern eingesetzt (MÜHLE et al. 1983). Dabei wird in 14-tägigem Abstand vom Aufgang der Kartoffeln bis Mitte August einmal wöchentlich eine Probe genommen. Alle vier Schritte wird je ein Blatt aus der unteren, mittleren und oberen Region entnommen, bis 100 Blätter beprobt sind. Das Pflanzenmaterial wird in Plastikbeutel überführt (Tab. 19). In der Regel wird vom Ackerrand ausgegangen und Proben in Richtung Feldmitte genommen. Diese bisher meist auf Blattläuse beschränkte Methode ließe sich möglicherweise auch auf andere wenig mobile Taxa erweitern.

**Tab. 19:** Entnahme von Pflanzenteilen

Material	Vorgehen
Plastikbeutel Tötungsmittel (Essigäther)	Abschneiden von Pflanzenmaterial aus der unteren, mittleren und oberen Region der Pflanzen Überführen des gesamten Materials in Plastikbeutel

Bei beiden Methoden (C2, C3) ist im Vorfeld eine Klärung über die Zahl der zu untersuchenden Pflanzenarten und der Individuen notwendig. Eine Einschätzung zum notwendigen Probenumfang erscheint beim jetzigen Kenntnisstand nur mit Vorbehalten möglich; hier wird eine Untersuchung von fünf Pflanzen pro Fläche vorgeschlagen.

### C4 Saugmethode

Unter mittlerweile zahlreichen Sauggerätstypen sind derzeit der d-vac bzw. eco-vac die gängigsten, es konnte aber auch mit Erfolg mit umgebauten Laubsaugern, die bei der Straßenreinigung eingesetzt werden, gearbeitet werden (SOUTHWOOD & HENDERSON

2000). Mittels eines Unterdruck erzeugenden Motors wird das Tiermaterial aus der Fläche herausgesaugt und in einem Gazebeutel aufgefangen (Tab. 20). Einige Taxa innerhalb der hypergäischen Fauna werden in nicht zu hochwüchsiger Vegetation weitgehend vollständig ausgefangen (HENDERSON & WHITACKER 1977), es gelangt aber auch ein Teil der epigäischen Fauna in die Fangbehälter. Die Vorteile dieser Methode bestehen darin, dass

1. sich mit relativ geringem Arbeitsaufwand flächenbezogene Daten gewinnen lassen,
2. der Verzerrungseffekt relativ gering bleibt, da auch die bodennah lebenden Tiere des Hypergaions erfaßt werden.

Die Nachteile ergeben sich

1. aus der relativ kleinen Auflösungsschärfe, die eine relativ hohe Zahl von Stichproben nötig macht, um das Gesamtartenspektrum zu erfassen,
2. dem Verzerrungsgrad hinsichtlich einiger Taxa, wie leicht flüchtigen größeren Dipteren sowie Tieren, die sich bei Berührung ihrer Wirtspflanze fallen lassen, wie Rüsselkäfer (Curculionidae) und die deshalb nur unterrepräsentativ abgefangen werden (HILDEBRANDT 1990).

Da beim einmaligen Aufsetzen des Saugzylinders nur vergleichsweise kleine Raumausschnitte erfaßt werden, wird eine mehrfache Wiederholung, z.B. 10-fach, empfohlen, (HILDEBRANDT & NICKEL 2002). Als Probenumfang werden fünf Proben pro Fläche vorgeschlagen.

**Tab. 20:** Saugmethode

Material	Vorgehen
d - vac – Sauggerät	10 maliges Aufsetzen des Zylinders bei laufendem Motor
Fangbeutel aus Nylon	Überführen des Probematerials in Beutel für Streuproben
Beutel für Streuproben mit angeschraubtem Glas	Transport in Gläsern
Gläser (Marmeladengläser)	Aussortieren im Labor
Alkohol (70 %)	

## C5 Käscher

Die Käschermethode ist immer noch die einzige, die annähernd zu so rasch verwertbaren Daten führt, wie die pflanzensoziologischen Aufnahmetechniken (MÜLLER et al. 1978). Dabei wird mit einem Streifnetz die Vegetation abgestreift und es werden überwiegend hypergäische Arthropoden erfaßt. Um auch bodennah lebende Arten nachzuweisen, ist ein Streifnetz mit geradem Bügel empfehlenswert, der auch die unteren Bereiche der Vegetation beprobt (WITSACK 1975, Tab.21). Mit einer Schlagzahl von 50

Schlägen pro Probestelle kann in der Regel das Arteninventar einer nicht zu heterogenen Fläche nachgewiesen werden (KONTKANEN 1950). Wegen der tageszeitlichen Variabilität des Stratenaufenthalts vieler Arten sollten die Proben möglichst immer zur gleichen Tageszeit genommen werden. Die räumliche Erfassung erfolgt in streifenförmigen Transekten. Vergleichbar der Saugmethode hat die Käschermethode einige Vorteile, wie

1. geringen Arbeitsaufwand,
2.  $\pm$  vollständige Erfassung mehrerer Insektentaxa der Krautschicht.

Dem stehen einige Nachteile gegenüber, wie

1. relativ starke mechanische Schädigung der Vegetation an den Probestellen,
2. geringe Eignung in hochwüchsiger Vegetation, wie z.B. Mais kurz vor der Ernte,
3. ein nur ungenügend herzustellender räumlicher Bezug der Daten.

Wegen des größeren Raumausschnittes, der durch den Käscher erfasst wird, scheint eine Beschränkung auf drei Proben pro Fläche vertretbar.

**Tab. 21:** Käschermethode

Material	Vorgehen
Streifnetz mit geradem Bügel	50 maliges Abstreifen des Pflanzenbestandes
Plastikbeutel	Überführen des Materials in Plastikbeutel
Tötungsmittel (Essigäther)	Aussortieren im Labor

## C6 Bodenfallen

Fanggefäße, wie z.B. leere Joghurtbecher, werden mit Fangflüssigkeit, wie Formalin oder Äthylenglykol versehen, i.d.R. mehrere Wochen im Gelände exponiert und regelmäßig gewechselt. Zum Schutz vor Regen sollten die Bodenfallen mit einem entsprechenden Schutzdach überdeckt werden. Bodenfallen erfassen überwiegend epigäische Arthropoden, dabei geraten in geringeren Anteilen jedoch auch Tiere des Hypergaions ins Fangmaterial.

Die Vorteile der Bodenfallen bestehen vor allem in

1. geringem Arbeitsaufwand,
2. der Summierung von Fangdaten über längere Zeitintervalle, wobei tageszeitlich bedingte Verzerrungen, wie bei der Käscher- und Saugmethode, ausgeglichen werden.

Denen stehen Nachteile gegenüber:

3. Verzerrungseffekte durch unterschiedliche Raumwiderstände in den Biotopen, z.B. in unterschiedlich hochwüchsigen Feldkulturen,

4. nur ungenau herzustellender Raumbezug, da in Abhängigkeit von der Laufaktivität der Arten Tiere aus ganz unterschiedlich großen Radien in die Bodenfallen gelangen.
5. Der Probenumfang von fünf Bodenfallen pro Fläche wird als ausreichend angesehen, um das Artenspektrum zu erfassen (vgl. TRAUTNER 1992).

**Tab. 22:** Bodenfallen

Material	Vorgehen
Fangbecher Fangflüssigkeit Schutzdach (z.B. Weißblechquadrate) Sieb Sammelgefäße Konservierungsflüssigkeit (70 % Alkohol)	Eingraben der Fallen im Boden (exakte Ausrichtung des oberen Fallenrandes an der Geländeoberfläche)  Wechsel in regelmäßigem Abstand, dabei Überführen des Materials in Sammelgefäße

Bodenfallen werden bis heute in unterschiedlichsten Fallengrößen, mit verschiedenen Fangflüssigkeiten und in uneinheitlichen Zeitintervallen eingesetzt; dies setzt der Vergleichbarkeit enge Grenzen. Deshalb ist im Rahmen eines Monitoring unbedingt auf eine Normierung dieser genannten Faktoren zu achten und im Vorfeld der Untersuchung festzulegen. Vergleichbar zur Käschermethode ist der Bodenfallenfang immer noch die kostengünstigste und effektivste Methode, um das Artenspektrum der Biotope nachzuweisen. Er eignet sich dagegen nicht für Populationsgrößenbestimmung von Zielarten.

## **C7 Fangrahmen**

Fangrahmen sind neben den Bodenfallen eine weitere Methode, um überwiegend epigäische Arthropoden nachzuweisen. Eingesetzt werden Fangrahmen in unterschiedlichen Größen, z.B. von 20 x 20 cm, wobei definierte Flächen ausgestochen werden, das Material in Plastikbeutel überführt und z.B. mittels Berleseapparaturen ausgefangen wird (MÜHLE et al. 1983). Dabei gelangt allerdings auch ein erheblicher Teil endogäischer Tiere in die Proben. Da Fangrahmen einen quantifizierbaren Flächenbezug ermöglichen, sind sie vergleichbar mit den Saugfängen für die hypergäische Fauna. Sie haben gegenüber den Bodenfallen den Vorteil, eine definierte Raumeinheit der Bodenoberfläche auszufangen. Dem steht der Nachteil gegenüber, im Gegensatz zu den Bodenfallen nur einen relativ kleinen Raumausschnitt zu beproben, was entsprechend große Stichprobenmengen nötig macht, um das Artenspektrum eines Biotoptyps nachzuweisen. Wie bei den Bodenfallen sollten pro Fläche fünf Parallelproben genommen werden.



**Tab. 23:** Fangrahmen

Material	Vorgehen
Rahmen von 20 x 20 cm	Ausstechen einer Flächeneinheit
Plastikbeutel	Überführen der ausgestochenen Sode in Plastikbeutel
Ausgangvorrichtung für Bodenorganismen (z.B. Berleseapparatur)	Ausgang im Labor

## D Methoden zur Erfassung von Kleinsäugeternern

Die Ermittlung ausreichend genauer quantitativer Daten zu Kleinsäugeternern ist weit schwieriger als bei Vögeln oder Arthropoden. Dies liegt vor allem an der versteckten, häufig nächtlichen Lebensweise der Tiere sowie den unübersichtlichen Habitaten, die sie besiedeln (HALLE 1995).

### D1 Schlagfallen und Lebendfallen

Zur Erfassung des Artenspektrums sowie einer groben Einschätzung der Häufigkeitsverhältnisse bieten sich für die Kleinsäugeterfauna die beiden Methoden der Schlagfallen- und Lebendfallenerfassung an, die mit vergleichsweise geringem Aufwand betrieben werden können. Die Erfassung mittels Lebendfallen (z.B. Kaffeedosen mit speziellen Klapptüren und Beköderung) erfordert allerdings einen erheblichen Betreuungsaufwand, da aufgrund ihres schnellen Stoffwechsels und ihrer geringen Körpergröße die meisten Spitzmaus- und Mausarten nur wenige Stunden zu hungern vermögen, so daß die Fallen mehrfach täglich gewechselt werden müssen. Demgegenüber können beköderte Schlagfallen mehrere Tage im Gelände ohne Kontrollgänge exponiert werden.

Die Schlagfallenmethode kann hinsichtlich der räumlichen Exposition nach zwei Typen unterschieden werden:

1. Ein Versuchsdesign, das korrekte Dominanzverhältnisse ermittelt, wurde von SYKORA (1978) entwickelt: danach wird ein Fangquadrat von einer Gesamtfläche von 0.25 ha eingerichtet, in dem insgesamt 16 Fangpunkte im Abstand von 30 m liegen. Jeder Fangpunkt besteht aus 4 Schlagfallen, die an den Eckpunkten eines 1 m<sup>2</sup> großen Quadrats positioniert sind. Die Fallen sollten mindestens drei Nächte stehen und zwei mal täglich kontrolliert werden (HAFERKORN 1995). Insgesamt werden also 88 Fallen pro Fallenquadrat aufgestellt.
2. Die "trap line"-Methode legt Transekte in zwei Meter Abstand an (SCHIMMELPFENNIG 1995) und wäre im Rahmen eines Langzeitmonitoring geeignet, das Besiedlungsgeschehen vom Ackerrand in Richtung Feldmitte nachzuweisen. Sie liefert allerdings nur Daten zum Artenspektrum und nicht, wie die Fallenquadratmethode, zur Dominanzstruktur. Die Fallen sollten von August bis Oktober exponiert werden, wobei alle drei Nächte kontrolliert wird (SCHIMMELPFENNIG 1995).

## D2 Bodenfallen

Die einfachste Methode zur Ermittlung des Artenspektrums der epigäischen Fauna sind Bodenfallen, die zur Erfassung exponiert werden und in die auch Kleinsäuger geraten. MEINIG (1995, 1996) ermittelte damit z.B. das Artenspektrum von Maisäckern im Vergleich zu Maisackerbrachen und hält die Methode für geeignet, alle Kleinsäugerarten von Äckern zu erfassen. Insgesamt sind sowohl Artenspektrum wie Individuendichten von Kleinsäufern auf Äckern außerordentlich gering. So wurden z.B. Maisäcker nur von der Zwergmaus (*Micromys minutus*) in Einzeltieren besiedelt (MEINIG 1995), ein Individuum der Hausspitzmaus (*Crocidura russula*) wurde als Durchwanderer eingeschätzt. Aufgrund dieser geringen zu erwartenden Fangmengen in Äckern erscheint eine aufwendige Methodik, die Markierungen von Tieren einschließt (BOYE & MEINIG 1996) nicht notwendig. Auch Schlag- und Lebendfallen erfordern noch einen erheblichen Betreuungsaufwand, so dass hier eine Reduktion des Erhebungsdesigns auf Bodenfallen erfolgen kann.

## E Methoden zur Erfassung von Brutvögeln

Die Brutvogelfauna der Äcker selbst ist i.d.R. arten- und individuenarm. In den Randstreifen und in der Umgebung kann die Artendiversität wesentlich höher sein. Der größte Teil des Artenspektrums hält sich zum Brutgeschäft außerhalb des Ackers auf, allerdings werden Ackerflächen insbesondere zur Nahrungssuche, teilweise auch als Singwarten genutzt, z.B. vom Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*). Die Brutvogelfauna kann relativ schnell auf großen Flächen erfasst werden, wobei sowohl Brutverdacht, -hinweis und -nachweis punktgenau eingeschätzt werden können (als populationsbezogene Parameter). Ebenso leicht lassen sich Artendiversität, Artenspektrum und Dominanzstruktur (als Parameter der Zönose) ermitteln. Aufgrund der guten und schnellen Erfassbarkeit von Brutvögeln und der relativ kleinen zu bearbeitenden Gesamtflächen scheint eine Bearbeitung mittels Transektmethoden i.d.R. nicht nötig.

Während mehrere Kleinvogelarten die Ackerflächen selbst besiedeln, treten Großvögel überwiegend als Brutvögel in der Umgebung auf. Es gibt allerdings Ausnahmen, wie z.B. die Besiedlung von Ackerschlägen durch Großtrappen (*Otis tarda*). Aus den unterschiedlichen Raumansprüchen von Groß- und Kleinvögeln ergeben sich Auswirkungen auf das räumliche Raster, das erfasst werden muss, da Großvögel weniger im Acker selbst als im Bereich von mehreren Quadratkilometern untersucht werden müssen (FLADE 1994).

## E1 Standardisierte Erhebung

Die Erfassung der Brutvögel sollte durch einschlägig vorgebildete Spezialisten erfolgen, die in der Lage sind, nicht nur aufgrund optischer Merkmale, sondern insbesondere anhand der Stimmen die Vogelarten richtig zu determinieren. Neben der reinen Sichtbeobachtung sollten nach BIBBY et al. (1992) auch Rufe und Verhaltensweisen protokol-

liert werden, wobei möglichst die gängigen Codes verwendet werden sollten (z.B. DO-G 1995). Um codierte Karten der Untersuchungsgebiete vergleichbar zu halten, ist im Vorfeld auf eine einheitliche Verwendung der Symbole zu achten.

## **E2 Erfassung des Bruterfolges**

Anhand von Schlüpf- und Aufzuchterfolgen lassen sich Belastungen von Vogelarten in Äckern besonders gut ablesen (SCHOPPENHORST 1996), allerdings erfordert diese Methode einen erheblichen Zeit- und Arbeitsaufwand. Das Vorgehen läuft in folgenden Arbeitsschritten ab (Details, insbesondere Kriterien zur Bestimmung des Schlupferfolges siehe SCHOPPENHORST 1996):

1. Nesterkontrolle
2. Nestermarkierung mittels Stäben (z.B. dünne Bambusstäbe)
3. Kontrolle der Nester zweimal pro Woche
4. Quantifizierung der Familien (Auszählung der Jungvögel)
5. Verhaltensstudien an Jungvögeln, z.B. Nahrungssuche, Reaktion auf mögliche Prädatoren.

Besonders bei Punkt 4 ist ein erheblicher Zeitaufwand nötig, da die Tiere in der meist schon hochwüchsigen Vegetation nur schwer auszumachen sind. In Ackerflächen dürfte der Aufwand bei einigen Arten, insbesondere der Feldlerche, die extrem gut getarnte Nester anlegt, erheblich sein und die oben dargestellte Vorgehensweise müsste ggf. modifiziert werden.

## **F Methoden zur Erfassung von Rastvögeln**

### **F1 Raumnutzungsanalysen**

Vogelarten, die Äcker nur als Fraß-, Rast- bzw. Schlafplätze nutzen, hier jedoch nicht brüten, müssen hinsichtlich ihrer Raumnutzungsmuster analysiert werden. Dazu gehören vor allem Anzahl und Aufenthaltsdauer der Tiere, Nahrungspräferenzen und -suchstrategien, biologische Parameter also, die von Störreizen (Personen wie Angler oder Jäger) und Randeffekten überlagert werden. Weiterhin sind Korrelationen der Raumnutzung mit Eigenschaften der Äcker (wie Feldfruchtart, Biomasse, angrenzende Hecken und Straßen etc.) zu überprüfen. Erst bei der Analyse dieser Faktoren, die auf die Raumnutzung von Rastvögeln einwirken, lassen sich Folgerungen über die Wirkungen des Anbaus transgener Kulturpflanzen auf Rastvögel ziehen. Exemplarisch wurde eine Raumnutzungsanalyse von SPILLING (1998) anhand von rastenden Gänsen und Schwänen an der Unteren Mittelbe durchgeführt, an der sich ein Monitoring orientieren kann. Der Autor hält eine tägliche Zählung der Tiere für nötig, da die Tiere mehrmals täglich ihren Aufenthaltsort wechseln können und führte eine Kartierung auf zwei Raumebenen durch:

1. parzellenscharf auf einer landwirtschaftlichen Nutzungseinheit,
2. auf Quadraten einer Kantenlänge von 250 m.

Raumnutzungsanalysen sind im Rahmen des Monitoring nur in Ackergebieten notwendig, die eine größere Bedeutung für naturschutzrelevante Rastvögel haben. Methodisch handelt es sich bei der hier vorgeschlagenen Raumnutzungsanalyse allerdings nicht um ein eigenständiges methodisches Design, sondern um Zählungen von Individuen in definierten Flächeneinheiten. Die Kartierung kann also erfolgen wie in E1 dargestellt, die Raumnutzungsanalyse wird nicht als eigenständige Methode aufgenommen.

## **G Bodenökologische Erhebungsmethoden**

### **G1 Bodenchemische und bodenphysikalische Methoden**

**Korngrößenverteilung** Die Korngrößenverteilung wird nach Auflösung der Bodenaggregate mittels Pipettanalyse ermittelt (DIN 19683-2). Anhand der Textur lässt sich die Bodenart feststellen (Bodenkundliche Kartieranleitung).

**Rohdichte** Die Rohdichte (Lagerungsdichte) bestimmt die Trockenmasse bezogen auf das Volumen der Bodenprobe. Mit den Daten der Rohdichte können massebezogene Werte auf Volumen und Fläche umgerechnet werden. Die Ermittlung der Rohdichte erfolgt nach DIN 19683-12.

**pH-Wert** Der pH-Wert bestimmt die aktuelle Bodenazidität. Neben der Beeinflussung bodenchemischer Prozesse (z.B. Verwitterung, Al-Fe-Verlagerung) beeinflusst er die Pflanzenverfügbarkeit von Nährstoffen und Schadstoffen. Außerdem beeinflusst er die Aktivität und Abbauleistung der Mikroorganismen (Bakterien/Pilze) und damit die Humusbildung des Bodens. Aktinomyceten werden durch schwach alkalische bis neutrale, Bakterien durch neutrale bis schwach saure und Pilze durch schwach bis stark saure Bodenverhältnisse in ihrer Aktivität gefördert. Die Bestimmung erfolgt nach DIN 19684-1; DIN ISO 10390-7.

**Wassergehalt und Trockenmasse** Der Wassergehalt wird über die Trocknung der Böden nach DIN 19683-4 ermittelt. Die sich ergebende Trockenmasse ist eine wesentliche Bezugsgröße für die bodenchemischen und bodenbiologischen Daten. Weiterhin gibt der Wassergehalt in Verbindung mit der Korngrößenverteilung Hinweise auf die Wasserversorgung des Bodens.

**Kohlenstoff (ges./org.), Stickstoff (ges.)** Der Kohlenstoffgehalt und der Stickstoffgehalt der Bodenprobe wird im C/N-Analyser ermittelt. Vom Gesamt-Kohlenstoffgehalt wird bei neutralen bis alkalischen Böden der Carbonatgehalt ( $\text{CaCO}_3$ ) abgezogen, um den Gehalt an organischem Kohlenstoff zu ermitteln. Unter pH 7 ist im Boden kein feinverteiltes Carbonat zu erwarten. Das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Stickstoff (C/N-Verhältnis) gibt Auskunft über die Qualität der organischen Substanz im Boden und somit über die Abbaubarkeit. Diese bestimmt die Zusammensetzung der

Mikroflora (Verhältnis Bakterien/ Pilze) und somit die Mineralisierungswege und Nährstoffnachlieferung der Böden.

**Carbonatgehalt** Die Bestimmung des Carbonatgehaltes dient der Berechnung des organischen Anteils am Gesamtkohlenstoffgehalt des Bodens. Der Carbonatgehalt wird mit der Scheibler-Apparatur nach DIN 19684-5 ermittelt.

**Pflanzenverfügbare Nährstoffe (P, K, Mg, Ca)** Um die in normaler Frist (Vegetationsperiode) für die Pflanze verfügbaren Nährstoffe zu erfassen, sind die an Bodenpartikel leicht austauschbar gebundenen Nährstoffe geeignet. Dabei werden auch die Ionen der Bodenlösung mit analysiert, die jedoch mengenmässig nur in wenigen Böden eine Rolle spielen. Die leicht gebundenen Nährstoffe gehen in Lösung und werden durch andere Ionen ausgetauscht. Da die Austauschbarkeit der Nährstoffe stark vom chemischen Zustand des Bodens abhängt (pH-Wert), sind standardisierte Bedingungen notwendig. In dem von EIGNER-RIEHM (1960, zitiert in SCHLICHTING et al. 1995) entwickelten Verfahren für die Ermittlung der Ionen, die von Pflanzen aus dem Boden herausgelöst werden können, werden organische Säuren verwendet, die auch von Pflanzenwurzeln ausgeschieden werden.

Kationen (Kalium, Calcium und Magnesium) werden mit Ammoniumlactatessigsäure (AL) aus dem Boden gelöst und flammenphotometrisch bestimmt. Das Anion Phosphat wird ebenfalls mit AL extrahiert, jedoch kolorimetrisch bestimmt. Die genaue Beschreibung der Methode ist SCHLICHTING et al. (1995) zu entnehmen.

**Bodenerosion** Die Ermittlung der Bodenerosion durch Wasser folgt der Kartieranleitung des DVWK (1996). Durch die flächenhafte quantitative Aufnahme von Erosions- und Akkumulationsformen können Gewinne und Verluste bilanziert werden. Weiterhin werden die Randbedingungen (Neigung, Klima, Nutzung etc.) registriert.

Die Kartierung der Winderosion erfolgt nach NEEMANN (1991). Über eine Erfassung des angewehten Materials wird das Volumen der Bodenumlagerungen gemessen. Die Menge leichter Bodenpartikel, die weiter verweht werden, lässt sich errechnen, indem der Feinbodenanteil (Ton, Schluff) unbeeinflusster Stellen im Gelände hinzugerechnet wird.

## G2 Bodenmikrobiologische Methoden

**Mikrobielle Biomasse** Zur Bestimmung der mikrobiellen Biomasse wird die Substrat-Induzierte-Respiration (DIN ISO 14 240-1) gemessen. Durch die Zugabe einer leicht abbaubaren Kohlenstoffquelle (Glucose) zum Boden unter Standardbedingungen wird aus der Kohlendioxidproduktion die mikrobielle Biomasse errechnet. Mit spezifischen Hemmstoffen können die Werte für Bakterien und für Pilze getrennt ermittelt werden (DUNGER & FIEDLER 1997). Bei torfigen und tonigen Böden wird die Fumigations-Extraktionsmethode (DIN ISO 14 240-2) angewendet. Hier wird die mikrobielle Masse durch Chloroform abgetötet, wodurch sich die Menge des mit Kaliumsulfat extrahierbaren Kohlenstoffs aus der Bodenprobe erhöht. Aus der Differenz mit unbehandelten Kontrollen wird die mikrobielle Biomasse errechnet (DUNGER & FIEDLER 1997).

**Mikrobielle Basalatmung / Durchflussverfahren** Gemessen wird die bei der Bodenatmung entstehende Menge an Kohlendioxid mit Hilfe der Infrarot-Gasanalyse (IRGA). Die Bodenproben werden kontinuierlich mit CO<sub>2</sub>-haltiger Luft begast, um Probleme mit der Gasdiffusion zu vermeiden. Dabei gelten Reaktionsgefäße ohne Bodenproben als Kontrolle zur Rückrechnung des zugeführten Kohlendioxids. Die Messung erfolgt stündlich. Eine genaue Beschreibung der Methode liefern HEINEMEYER et al. (1989).

**Sauerstoffaufnahme** (DIN 19 737) Die Sauerstoffaufnahme der Bodenproben wird mittels der O<sub>2</sub>-Nachlieferung bestimmt, die durch Druckabfall nach Absorption des gebildeten CO<sub>2</sub> im geschlossenen System gesteuert wird. Diese Methode wird bei alkalischen und humusreichen Böden empfohlen (SCHINNER et al. 1993).

**Metabolischer Quotient** Der metabolische Quotient wird aus Basalatmung und mikrobieller Biomasse errechnet.

**Stickstoffmineralisation** Zur Messung der N-Mineralisierung wird im anaeroben Inkubationsversuch durch Unterbinden der Nitrifikation die Ammoniumproduktion der Mineralisierung kolorimetrisch gemessen (SCHINNER et al. 1993).

### G3 Bodenzoologische Methoden

Die Erfassung der Bodenfauna hängt zum einen von ihrer Körpergröße und Verteilung im Raum ab, zu anderen von ihrem Lebensstadium (Ei, Jungtier, Adultus), Aktivitätsform, Lebenszyklus und Lebensdauer. Daher ist es notwendig, für die verschiedenen Artengruppen die entsprechenden Methoden anzuwenden, um ihren Bestand zu erfassen. Falls nicht anders angegeben, sind die erforderlichen Methoden bei DUNGER & FIEDLER (1997) beschrieben.

**Lumbriciden** Zur Ermittlung ihrer Häufigkeit und Gemeinschaftsstruktur werden zwei Methoden angewandt:

1. Handauslese, bei der die Bodenprobe in einem definierten Volumen entnommen wird und von Hand vor Ort oder im Labor auf Regenwürmer und deren Kokons durchsucht wird,
2. Austreibung durch Chemikalien (Senflösung, Formalinlösung), wobei die Tiere nach Übergießen einer Fläche aus dem Boden herauskommen und erfasst werden können.

Bei beiden Methoden wird die Vegetationsdecke entfernt. Die Austreibung lässt den Boden ungestört, was für periodisch wiederkehrende Untersuchungen vorteilhaft sein kann, aber im Erfassungsgrad unsicherer ist. Die Bestimmung auf Artebene ist nur bei den adulten Tieren sinnvoll. Juvenile werden in ihrer Gesamtheit erfasst.

**Enchytraeiden** Zur quantitativen Bestimmung der Enchytraeiden wird eine Nasstrichtermethode (ohne Erwärmung, nach GRAEFE) angewandt (DUNGER & FIEDLER 1997). Die Proben werden mit einem Sieb in ein Wasserbad gegeben. Durch ihre Bewegung wandern die Tiere zum Siebboden und schließlich in das Auffanggefäß.

**Bodenkleinarthropoden** Die Bodenkleinarthropoden werden mit einer dynamischen Austreibung aus der Bodenprobe extrahiert, bei der die Proben von oben erwärmt werden. Die Tiere fliehen vor der Hitze und Austrocknung, indem sie nach unten wandern und schließlich in einen Sammelbehälter stürzen. Collembolen und Gamasinen werden quantitativ auf Artebene erfasst. Die übrigen Kleinarthropoden, die bei der Extraktion anfallen, werden bei der Auszählung in Großgruppen erfasst.

**Nematoden** Die Extraktion der Nematoden aus dem Boden erfolgt mittels eines Oostenbrink-Extraktors. Die Nematoden werden im aufsteigenden Wasserstrom von den Grobpartikeln des Bodens getrennt und anschließend in ein Sieb gespült. Anschließend werden Nematoden mit dem Feinboden auf einen Milchfilter gegeben, den sie innerhalb von 24 Stunden durch ihre Eigenbewegung durchwandern, und im Wasser des Auffanggefäßes landen. Im Glasgefäß mit spitzem Boden werden sie am Boden konzentriert und können leicht geerntet werden (SOUTHEY 1986).

**Streubeutel** Der Streuabbau in den Netzbeuteln wird nach einer bestimmten Expositionszeit im Gelände über den Gewichtsverlust ermittelt. Um den zeitlichen Verlauf des Abbauprozesses zu bestimmen, werden entsprechend viele Netzbeutel im Gelände ausgebracht, die halbjährlich im Frühjahr und im Herbst wieder entnommen werden. Bestimmt wird der Masseverlust bezogen auf die aschefreie Trockensubstanz.

## H Methoden zur Untersuchung von Gewässerzönosen

Für die Untersuchung von Gewässerzönosen stehen vielfältige Methoden zur Verfügung. Ihr Einsatz variiert je nach Gewässerart und Gewässerstruktur. Eine ausführliche Beschreibung des verfügbaren Methodenspektrums gibt SCHWOERBEL (1994). Hier sollen beispielhaft einige geeignete Methoden aufgeführt werden.

**Plankton** Die Erfassung des Planktons kann in stehenden und fließenden Gewässern mittels Phytoplanktonnetzen oder Wasserschöpfern erfolgen (SCHWOERBEL 1994).

**Bodenorganismen** Bodenorganismen einschließlich der Pflanzen werden in stehenden Gewässern mittels Dredgen und Bodengreifern bzw. Pflanzenhaken erhoben. In Fließgewässern kommen neben Pflanzenhaken und Dredgen Flotationsverfahren zum Einsatz. Dabei wird ein an einem Rahmen befestigtes GazeNetz unterhalb der jeweiligen Untersuchungsstelle mit Bodenschluss in den Strom gesellt (SCHWOERBEL 1994).

**Organismen des freien Wassers der Uferzone** Die Methoden zur Erfassung der Organismen des freien Wassers in der Uferzone hängen von der Beschaffenheit und der Struktur des Uferbereiches ab. Es können z.B. Handnetze oder Pfahlkratzer verwendet oder von Hand gesammelt werden (SCHWOERBEL 1994).

## **5.2.5 Ergänzende Hintergrundinformationen zu den Parametern (Fauna und Boden)**

### **5.2.5.1 Auswahl geeigneter Arthropoden, Vögel und Säugetiere für ein Monitoring**

#### **Besiedlungsbestimmende Faktoren und Charakteristika von Äckern**

Im Folgenden soll kurz der Interpretationshintergrund für die zoologischen Daten in Ackerflächen aufgebaut werden, der die wesentlichen Charakteristika von Äckern und die besiedlungsbestimmenden Faktoren für die Fauna umfasst.

Da Äcker von der Ansaat bis zur Ernte zahlreichen mechanischen und chemischen Eingriffen unterworfen sind, zählen sie zu den besonders stark gestörten Ökosystemen. Dies hat zur Folge, dass nur hochgradig störungstolerante Tierarten Äcker besiedeln oder dass Arten nur zu bestimmten Zeiträumen in Äckern vorkommen, ohne hier indigene Populationen zu bilden. Die wesentlichen Charakteristika von Äckern, die für die Besiedlung durch Tiere relevant sind, lassen sich folgendermaßen kurz zusammenfassen:

1. Es erfolgen regelmäßige Neueinsaat, Entnahme pflanzlicher Biomasse und Fruchtfolgen.
2. Daraus resultierend ergeben sich im Jahresverlauf und über mehrere Jahre unterschiedliche Strukturen. Offene, lückige Strukturen kurz nach der Ansaat gehen z.B. bei Mais und Raps in dichte und hochwüchsige Pflanzenbeständen über.
3. Als Monokulturen bieten Äcker für die Phytophagenfauna räumlich stark konzentrierte Ressourcen, die einigen Arten weit höhere Reproduktionserfolge ermöglichen als in natürlichen Ökosystemen. Mit der geringen Artendiversität der Primärproduzenten im Acker gehen im Vergleich zu natürlichen Ökosystemen stark vereinfachte Nahrungsketten einher. Dabei ist zugleich die biotische Steuerwirkung auf Phytophage durch Antagonisten vergleichsweise gering.
4. Durch die Fruchtfolge ergibt sich ein stark schwankendes Ressourcenangebot, was extreme Immigrations- und Emigrationsraten mit sich führen kann.

Diese vier Kennzeichen von Äckern bedeuten für ein Monitoring, die starken Schwankungen im Aufbau der Zoozöosen und im Aufbau der Populationen im Auge zu behalten, die ungleich größer sein können als in anderen Biotopen der Kulturlandschaft, wie Grünland, Säumen oder Hecken. Die hohen Variabilitäten können nur durch ein umfangreiches System von synchron erhobenen Probeflächen angemessen interpretiert werden.

Das Besiedlungsgeschehen in Äckern spielt sich auf mehreren Raumskalen ab: 1. kleinere Teilbereiche einer Ackerfläche, wie das Bodenlückensystem oder Blätter von Kulturpflanzen (Mikroskala), 2. die gesamte Ackerfläche, die z.B. nahezu flächendeckend von einer Rastvogelart genutzt werden kann (Mesoskala) und 3. die Landschafts-



ebene, die unabhängig von Nutzungsform und Kulturpflanzensorte wirksam ist (Makroskala).

Die Zusammensetzung der Fauna in Äckern wird von folgenden Faktorenkomplexen maßgeblich beeinflusst, die zu erheblichen Differenzen der Daten bei einem Monitoring führen können:

1. Art und Intensität der Bekämpfung von Tieren und Pflanzen auf mechanischem oder chemischem Wege, vor allem durch den Einsatz von Pestiziden und die Bodenbearbeitung.
2. Art der Nutzpflanzen, die spezifische Ressourcen für Phytophage darstellen und jeweils eigenständige abiotische Faktorengefüge schaffen.
3. Zeitdauer und Zeitpunkte der Bodenbearbeitung, die als mechanische Störung maßgeblich die Zusammensetzung und Phänologie der hyper- und epigäischen Fauna bestimmen. Große Unterschiede im Besiedlungsmuster epigäischer Arten stellen sich z.B. bei verschiedenen Einsaatzeiten ein: die Herbstesaat (z.B. Winterraps) führt zu stärkerer Beschattung und verbesserten Struktur- und Ressourcenangeboten für Tiere während des Winters als eine Einsaat im Frühjahr (z.B. Mais).
4. Feuchtebedingungen, die in Äckern nach den jeweiligen Toleranzgrenzen der Arthropoden spezifische Artenkombinationen selektieren. Lehm Böden sind z.B. wegen besserer Wasserhaltekapazität i.d.R. länger feucht als Sandböden und können so höhere Anteile hygrophiler Laufkäferarten beherbergen, während in sandigen Böden meist xerophile Arten stärker vertreten sind. Einen großen Einfluss auf die standortbedingte Feuchte üben weiterhin künstliche Beregnungen aus, wie sie z.B. in Maiskulturen vielfach stattfinden.
5. Bodentypen, die auf die epi- und hypergäische Arthropodenfauna vor allem durch die unterschiedlichen Wasserhaltekapazitäten, Substratfestigkeiten und Temperatureigenschaften wirken.
6. Vertikale Strukturdiversität, die sich aus den jeweiligen Feldfruchtarten ergibt: sie schafft unterschiedliche Habitatqualitäten insbesondere für hypergäische Taxa, wie z.B. ein Angebot an Pflanzenstängeln, die als Anheftungsmöglichkeit für Radnetze von Spinnen dienen. Für Brutvögel kann die Vegetationsstruktur aufgrund ihrer Wuchshöhe attraktiv wirken. Die Strukturen beeinflussen zugleich das Feuchteregime der Böden. Je nach Kulturpflanzenart bilden sich unterschiedlich diverse Vertikalstrukturen, die z.B. beim relativ hochwüchsig werdenden Mais Wirbeltieren weit mehr Deckung bieten als niedrig bleibende Kulturpflanzen, wie Zuckerrüben, wo bis zum Erntezeitpunkt größere Offenbodenstellen verbleiben.
7. Horizontale Strukturdiversität, die sich maßgeblich aus den Reliefunterschieden in der Ackerfläche ergibt, wie dem Wechsel zwischen höheren und tieferen Lagen. Sind z.B. feuchtere Senken im Acker noch nicht durch Verfüllungen oder Planiermaßnahmen eingeebnet, so können hygrophile Arten in Trockenperioden in diese lokalen Feuchtstellen einwandern.

Unterschiede im Besiedlungsmuster bzw. im faunistischen Artenspektrum sind zwischen den vier Kultursorten Raps, Mais, Zuckerrübe und Kartoffel vor allem durch folgende Faktorengefüge zu erwarten:

1. Die vier Kulturpflanzenarten stellen unterschiedliche Wirtspflanzenpotenziale insbesondere für die mono- und oligophagen Arten dar.
2. Unterschiedlicher Anteil der Wildkrautflora in den vier Kulturen: generell ist die Wildkrautflora von Hackfrüchten wie Zuckerrüben stark verarmt und weist artenarme Phytophagenbestände auf. Da zudem in Zuckerrübenfeldern das Hacken die Wildkräuter weitgehend beseitigt, fällt in stärkerem Maße Licht auf den Boden. Dadurch können ubiquitäre bzw. xerotherme Arten an der Bodenoberfläche dominieren (HEYDEMANN 1997).
3. Unterschiedliche Beschattung und damit kulturartenspezifisch verschiedene Licht- und Feuchteangebote für die Fauna. In Rapskulturen kommt es zu einer sehr dichten Beschattung des Bodens, wodurch diese Ackertypen, vergleichbar den Zuckerrübenfeldern, fast wildkrautfrei bleiben und die ökologischen Bedingungen etwa dem eines Winterweizenfeldes gleichen (HEYDEMANN 1997).
4. Unterschiedliche Einsaatzeiten bestimmen die zeitliche Präsenz des pflanzlichen Ressourcenangebots. Aufwachsender Raps im Herbst bietet z.B. Ressourcenangebote für rastende nordische Schwäne, die ihren Verbreitungsschwerpunkt während der Rastzeit entlang der Flußbauensysteme haben.

Faktoren, die auf der großräumigen Skala wirksam werden, umfassen die klimatischen Gegebenheiten, die Landschaftsstrukturen, Landschaftsgenese und Verbreitungsmuster von Tierarten. Großklimatische Unterschiede wirken sich auf die Besiedlungsmuster in Äckern verschiedener Naturräume bzw. Landschaftseinheiten aus. So ist z.B. in durchschnittlich wärmeren Gebieten die Hackfrucht-Begleitflora stärker ausgeprägt als in kühlen Regionen, was sich auf die Phytophagenfauna diversitätsfördernd auswirken kann. Witterungsverläufe modifizieren die Populationsverläufe erheblich und wirken sich auf die Artenspektren aus (OHNESORGE 1991). Für das Artengefüge spielt zudem die Landschaftsstruktur der Umgebung eine erhebliche Rolle, die sich insbesondere über den Randeinfluss auf die Ackerfauna auswirkt. Methoden zur Analyse relevanter Landschaftsstrukturen sind in TURNER & GARDNER (1991) zusammengestellt. In das Gefüge von Landschaftselementen eingebettet ist die räumliche Anordnung der Ackerflächen selbst: Ein Muster aus groß- oder kleinflächigem Anbau von transgenen Kulturpflanzen kann mutmaßlich das faunistische Gefüge erheblich beeinflussen. Operationalisierbar sind diese makroskaligen Effekte durch die Messung von Zusatz- und Randparametern.

Die Vielzahl sich gegenseitig beeinflussender Faktoren kann die Effekte überlagern, die durch den Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen hervorgerufen werden. Beispielsweise kann der Populationsrückgang einer Falterart weitgehend durch Witterungsbedingungen verursacht sein, wobei ein toxischer Effekt durch B.t.-Mais einen verstärkend dezimierenden Effekt ausüben könnte. Für einen Nachweis der spezifischen Wirkungen

transgener Pflanzen auf die Fauna ergibt sich daraus die Notwendigkeit, ein relativ umfangreiches Set von Daten zu Zusatz- und Randparametern zu erheben und Analysen auf der Ebene von ausgewählten Populationen und repräsentativen Vertretern möglichst aller trophischer Level durchzuführen.

Im Sinne einer Indikatorenfindung soll im folgenden aus der großen Zahl von Tierarten in Äckern eine geeignete Auswahl an Zielarten bzw. höheren Taxa herausgefiltert werden.

### **Tierarteninventar in Äckern: Differenzierbarkeit und Kenntnisstand**

Bisher ist die Arthropodenzönose von Äckern im mitteleuropäischen Raum nicht vollständig dargestellt worden. Sie ist angesichts von ca. 300 Wildkrautarten in Äckern Mitteleuropas (HEYDEMANN 1997), an denen zahlreiche phytophage Spezialisten leben und die mit entsprechenden Antagonistenkomplexen verknüpft sind, als sehr artenreich einzuschätzen. Auch liegen nur relativ wenige Publikationen vor, in denen eine größere Zahl von Tiergruppen in Äckern synchron und flächenvergleichend bearbeitet wurde (TISCHLER 1990). In den Biotopkartierungen der Bundesländer wurde die Ackerfauna meist vernachlässigt, da Äcker nicht zu den schützenswerten Biotoptypen zählen. Umfassende Artenlisten zur Ackerfauna finden sich z.B. zum Stadtgebiet von (West-) Berlin in AUHAGEN et al. (1991), dabei kann aber kaum nach den ackerspezifischen Arten differenziert werden. Die nur geringe Naturschutzrelevanz von Äckern schlägt sich auch darin nieder, daß für diesen Biotoptyp nur wenige Leit- bzw. Charakterarten für bestimmte Tiergruppen festgemacht werden können: Für großflächiges Agrarland, Magerwiesen und -weiden in Nordrhein-Westfalen nennt z.B. LÖBF (1997) nur wenige Charakterarten unter den Schmetterlingen.

Trotz der flächenmäßig erheblichen Bedeutung von Ackerflächen in Deutschland sind vergleichende Untersuchungen zwischen den vier Kultursorten bisher nicht angestellt worden. Deshalb können die faunistischen Besiedlungsmuster zwischen den vier Kulturpflanzenarten hier nur fragmentarisch herausgearbeitet werden. Aufgrund des hohen Anteils euryöker Arten (TISCHLER 1990) ist bei vielen Taxa jedoch eine nur wenig kulturartenspezifische Fauna in allen vier Kultursorten zu erwarten, die auch in anderen Biotoptypen häufig sein kann. Die Ackerfauna ist generell als Littoräa-Element anzusehen (TISCHLER 1990), d.h. es handelt sich um Arten, die in natürlichen Biotopen starke Störungen zu tolerieren vermögen und z.B. an Flussufern zu finden sind. Die Unterschiede zwischen den Tierarteninventaren der vier Feldfruchtarten sind unter den Phytophagen evtl. größer als unter den Zoo- und Saprophagen, da unter den Phytophagen Spezialisten auftreten, die auf eine der vier Kulturpflanzenarten beschränkt sein können. Die epigäische Fauna ist i.d.R. weit weniger kulturartenspezifisch und reagiert vor allem auf das Störungsregime, Feuchte oder Beschattung, die zu nur wenig differenzierbaren Mustern zwischen den vier Kulturpflanzenarten führen. Wenige Untersuchungen wurden bisher explizit auf die Besiedlungsmuster in einer Kultursorte ausgerichtet: Im Mais stellte z.B. JODL (1996) zwei Säuger-, drei Vogelarten sowie 62 Käferarten und 20 Spinnenarten fest, grenzte aber diese Artenspektren nicht von denen anderer Ackertypen

ab. Ähnliche Forschungsdefizite gelten z.B. auch für die Spinnenfauna von Äckern (BLICK, mdl. 2002) oder für Zikaden, die in Ackerflächen in Deutschland bisher nicht umfassender faunistisch bearbeitet wurde, weil hier kaum indigene Arten auftreten (NICKEL, mdl. 2001). Eine umfassende Bilanz, welche höheren Taxa in welchen Artenzahlen in den vier Kultursorten auftreten, steht also bis heute noch aus.

### **Auswahl geeigneter Taxa für ein Langzeitmonitoring**

Die Debatte um die Indikationsleistung von Tierarten für ein Monitoring kann an dieser Stelle nicht ausführlich geführt werden (vgl. BÜCHS 1988). Unter Indikatoren wird hier die systemtheoretische Auffassung vertreten, wonach es sich bei den Organismen um Indikatorvariablen handelt, die von vielen Variablen des Systems beeinflusst werden, das System selbst aber nur in geringem Maße beeinflussen. Demgegenüber beeinflussen kritische Variablen in hohem Maße den Zustand des Systems (DÖRNER 1992). Bestimmte Parameter, wie die Populationsgröße einer Tierart oder die Artendiversität einer Zoozönose, indizieren dabei Veränderungen im Ökosystem, die vom Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen ausgelöst bzw. modifiziert werden. Die Indikatorvariable kann allerdings u.U. selbst zur kritischen Variablen werden, indem z.B. eine phytophage Art durch Massenvermehrung das Ökosystem Acker erheblich beeinflusst.

Im Folgenden wird eine Auswahl indikatorisch geeigneter höherer Taxa sowie eine Einschätzung zu geeigneten Methoden getroffen, mit denen diese Taxa adäquat erfasst werden können. Die Methoden wurden bereits in Kap. 5.2.4 näher erläutert. Der folgende Überblick soll also einer Filterung von Zielgruppen und -arten in der Fauna dienen. Zielarten innerhalb der vier Kultursorten wurden aus diversen Quellen zusammengestellt (z.B. BÖRNER 1990, SCHLÖSSER 1997). Innerhalb der Arthropoden wird zwar nach epi- und hypergäischen Gruppen getrennt, die einzelnen höheren Taxa können dabei aber durchaus mehrere Straten besiedeln. Entscheidendes Kriterium für die Filterung der Indikatorgruppen ist dabei zunächst das Auftreten in Ackerflächen sowie in Rainen und der Umgebung.

## **Arthropoden**

### **Epigäische Fauna**

Neben den in nahezu allen Acker-Ökosystemen auftretenden Spinnen (Araneae), Laufkäfern (Carabidae) und Kurzflügelkäfern (Staphylinidae), Hundertfüßern (Diplopoda), Tausendfüßern (Chilopoda) und Asseln (Isopoda) treten einige Taxa nur unter spezifischen Verhältnissen in Äckern auf (HEYDEMANN 1997):

1. in stärker bewachsenen Bereichen der Äcker z.B. Dungkäfer (Aphodiinae), Mistkäfer (Geotrupidae), Stutzkäfer (Histeridae) und Ameisen (Formicidae).
2. auf unbewachsenen Sandböden auch Wegwespen (Pompilidae), Grabwespen (Sphecidae) und Raubfliegen (Asilidae).

Besiedlungsunterschiede in der epigäischen Fauna zwischen den vier Kulturpflanzenarten sind aufgrund der mechanischen und chemischen Behandlung der Äcker, der Feuchtigkeit, dem Bodensubstrat und der Beschattung zu erwarten (BASEDOW 1989). Insgesamt treten in der epigäischen Fauna erhebliche Emigrations- und Immigrationsprozesse vor allem zwischen Äckern und Hecken/Säumen auf, z.B. in Form des "ballooning" bei kleineren Spinnen, die sich mittels "Fadenflößen" über die Luft passiv verdriften lassen. Diese hohen Austauschraten fließen in das Dominanzgefüge der epigäischen Zoozöosen in starkem Maße ein (KRAUSE 1987).

**Laufkäfer (Coleoptera, Carabidae).** Als überwiegend räuberisch lebende Gruppe an der Bodenoberfläche spielen sie als Antagonisten von "Schädlingen" in Äckern eine bedeutende Rolle. Ihr Auftreten in Äckern ist stark vom Bodentyp bzw. -substrat und der Bodenfeuchtigkeit bestimmt (THIELE 1977). Laufkäfer lassen sich mit Bodenfallen und Fangrahmen gut erfassen, dabei wird das Gesamtartenspektrum am effektivsten mit Bodenfallen nachgewiesen, während bei Fangrahmen ein großer Stichprobenumfang nötig ist. Einige Carabidenarten lassen sich jedoch mit Bodenfallen und Fangrahmen kaum nachweisen, wie bei Arten der Gattungen *Bradycellus*, *Diachromus*, *Zabrus*, *Amara* und *Ophonus*, die überwiegend phytophag von Samen und Pollen leben (TRAUTNER 1992) und zugleich in Ackerflächen häufiger vertreten sind (HEYDEMANN & MEYER 1983). Diese sich auch im Hypergaion aufhaltenden Arten können ergänzend aus Käscher- und Saugproben ermittelt werden.

**Spinnen (Arachnida, Araneae).** Im Gegensatz zu den Laufkäfern, unter denen in Äckern auch zahlreiche phytophage Arten auftreten, leben Spinnen ausschließlich zoophag. Auf die regelmäßige Entfernung der pflanzlichen Biomasse in Äckern reagieren besonders Radnetzspinnen empfindlich. Spinnen treten deshalb vorwiegend als epigäische Arten in Äckern auf, wo sie wie Laufkäfer eine bedeutsame Rolle als biotische Regulatoren spielen und vornehmlich aus euryöken Arten bestehen (HEYDEMANN 1961). Aufgrund der Besiedlung auch der Vegetationsstraten werden Spinnen mit Bodenfallen nur zum Teil erfaßt, die überwiegend Vertreter aus den Familien der Lycosidae (Wolfsspinnen), Micryphantidae (Zwergspinnen) und Linyphiidae (Baldachinspinnen) nachweisen (KRAUSE 1987, GIBSON et al. 1992). Die Arten der Vegetationsschicht sind in besonders hohen Anteilen in den Rainen bzw. den umgebenden Biotoptypen zu erwarten und können, wie die oben genannten phytophagen Laufkäferarten, mit Käscher- und Saugfängen ermittelt werden (NYFFELER & BENZ 1979).

**Weniger geeignete epigäische Taxa für ein Monitoring.** Unter den epigäischen Arthropoden sind die folgenden drei Gruppen weniger geeignet für ein Monitoring:

1. Kurzflügelkäfer (Staphylinidae): Der Kenntnisstand zu den Arten ist bisher vergleichsweise gering (MEISSNER 1997).
2. Hundertfüßer (Diplopoda) und Tausendfüßer (Chilopoda) treten in Äckern in nur wenigen Arten auf (HEYDEMANN 1997).

Weitere auch epigäisch lebende Taxa, wie Springschwänze (Collembola) werden mit den bodenbiologischen Methoden nachgewiesen, die im Rahmen des Monitoring vorgehen sind.

### **Hypergäische Fauna**

Im Vergleich zur epigäischen Fauna ist die hypergäische aus einer weit größeren Zahl von Arthropodengruppen zusammengesetzt, wobei unter den Insekten Heuschrecken, Schmetterlinge, Dipteren, Käfer, Schnabelkerfe und Hautflügler, teilweise auch Fransflügler die größte Rolle spielen.

Bei der hypergäischen Fauna kommt es bei vielen Tiergruppen zu ausgesprochenen Stratenwechseln, wie bei Haarmücken (Bibionidae) in verschiedenen Ontogenesestadien. Ebenso wie die epigäische kann auch ein großer Teil der hypergäischen Fauna in Äckern keine indigenen Populationen ausbilden, sondern fliegt von den Rändern aus immer wieder in Äcker ein bzw. wandert bei ungünstig werdenden Bedingungen wieder aus den Äckern ab (RENKEN 1956). Dies bedeutet nicht nur hohe Variabilitäten in Abundanzen und Artenspektren, sondern auch ungleiche Verteilungsmuster zwischen Ackerrand und -mitte.

**Heuschrecken (Orthoptera).** Heuschrecken spielen in Äckern eine nur untergeordnete bis gar keine Rolle, sie können jedoch in Ackerrainen sowie der Umgebung in erheblichen Abundanzen vertreten sein (KAULE 1991). Zur Erfassung der Heuschrecken eignen sich die Verhörmethode und selektiver Käscherfang an geeigneten Strukturen (DETZEL 1992), Bodenfallenfänge können zusätzlich ausgewertet werden. Der Untersuchungszeitraum ist für die einzelnen Heuschreckenfamilien unterschiedlich: Für Grillen und Dornschröcken im Mai/Juni, für die übrigen Arten im August und im September, wobei schon nach drei bis viermaliger Begehung innerhalb von drei Monaten ca. 90% des Arteninventars erfaßt werden (DETZEL 1992). Trotz dieser guten Erfassbarkeit und des guten autökologischen Kenntnisstandes sind Heuschrecken für ein Monitoring wegen ihrer Absenz in Ackerflächen, ihrer geringen Wirtspflanzenspezifität und weil sie keine Pollennahrung zu sich nehmen, weniger geeignet.

**Schmetterlinge (Lepidoptera).** Aufgrund der Monokultur, der Bewirtschaftungstechnik und des Pestizideinsatzes sind unter den Schmetterlingen Tagfalter in Äckern extrem artenarm bzw. fallen, wie z.B. in Hackfruchtäckern, ganz aus (WITTLAND & VORBRÜGGEN 1997). Relevant sind Tagfalter dagegen in Ackerrainen und der Umgebung, wo sie als Indikatorgruppe für durch transgene Pflanzen bedingte Veränderungen prinzipiell in Frage kommen. Als Standardmethoden zur Erfassung von Tagfaltern bieten sich die Transektmethode (z.B. Transekte von 100 m Länge und 5 m Breite) und die Punkt-Stopp-Zählung an (MÜHLHOFER 1999), 4-5 Begehungen pro Jahr werden als Untergrenze angesehen, die Zahl dieser Begehungen hängt allerdings stark von den Erfahrungen des Bearbeiters ab (HERMANN 1992). Weiterhin sind Erhebungen an tagfalterrelevanten Strukturen (z.B. Ackerrainen) nötig, um das Arteninventar vollständig zu erfassen (HERMANN 1992). Hinweise zur Erfassung von Zielarten, die potentiell die

Ackerraine besiedeln, finden sich bei SETTELE et al. (1999). Im Gegensatz zu Tagfaltern können Nachtfalter auch in Äckern selbst artenreich vorhanden sein und teilweise, wie Raupen der sog. Erdeulen, zu erheblichen landwirtschaftlichen Schäden führen. Eine besondere Bedeutung als Indikatorgruppe kommt Schmetterlingen für den Nachweis der Effekte von B.t.-Mais zu, da sich die toxischen Effekte, die auf eine Reduktion des Maiszünslerbefalls (*Ostrinia nubilalis*) zielen, auch auf andere Schmetterlingsarten erstrecken können.

**Schwebfliegen (Diptera, Syrphidae).** Schwebfliegen besetzen als Larven verschiedene trophische Level (phyto-, sapro- und zoophage Arten), während die Imagines ausschließlich Blütenbesucher sind. Sie sind nur in solchen Ackerkulturen in größeren Mengen und Artenzahlen zu erwarten, wo ein entsprechendes Blütenangebot für die pollen- und nektarfressenden Imagines herrscht, dabei spielt unter den vier Kultursorten wohl Raps die größte Rolle, während sie in Mais kaum vertreten sind (Dziock, mdl. 2002). Wie bei den Tagfaltern haben Ackerraine aufgrund ihres hohen Blütenangebots eine große Bedeutung für Schwebfliegen (SSYMANCK & DOCZKAL 1998). Eine adäquate Erfassung mit den beschriebenen Methoden (Kap. 5.2.4) erscheint kaum möglich, da Schwebfliegen sehr unstet, geklumpt verteilt bzw. in nur geringen Anzahlen in Äckern auftreten. Schwebfliegen sind adäquat nur mit aufwendigen Spezialerfassungen sinnvoll zu bearbeiten, wozu die Suche nach Larvenstadien an Wirtspflanzen zählt.

**Andere Dipterengruppen.** Unter den Halmfliegen (Chloropidae) tritt die Fritfliege (*Oscinella frit*) als polyphage Art an Mais auf, die Imagines besiedeln als Blütenbesucher z.B. auch Winterraps (HONOMICHL & BELLMANN 1994-96). Der Eignung als Zielorganismen steht die geringe Spezifität vieler Dipterenfamilien für Äcker bzw. ihr hoher Bestimmungsaufwand entgegen.

**Blatt- und Rüsselkäfer (Chrysomelidae, Curculionidae).** In diesen zwei Käferfamilien treten ausschließlich phytophage Arten auf, die häufig auf verschiedene Bereiche der Pflanze, wie Wurzeln, Blätter oder Stengel spezialisiert sind und auch ausgesprochene Wirtspflanzenspezifität ausbilden. Aufgrund der hohen Zahl mono- und oligophager Arten an Ackerbeikräutern stellen sie zwei besonders geeignete Tiergruppen, in denen sich zahlreiche Zielarten für ein Monitoring finden. Beide Käfergruppen lassen sich am besten mittels der Klopfmethode individuell an einzelnen Pflanzen nachweisen, werden aber auch mit vielen der in Kap. 5.2.4 genannten bioökologischen Methoden erfasst. In Kartoffeln spielt die Larve des Kartoffelkäfers (*Leptinotarsa decemlineata*) als Schädling eine bedeutsame Rolle, ist also als Zielart in Kartoffeln mit verändertem Kohlenhydratspektrum geeignet.

**Marienkäfer (Coccinellidae).** Marienkäfer treten in Äckern als bedeutsame Antagonisten in der Krautschicht auf, vor allem als Vertilger von Blattläusen (KLAUSNITZER & KLAUSNITZER 1986). Sie sind relativ gut über Käscherränge erfassbar, weniger mit Saugmethoden (HILDEBRANDT 1990).

**Glanzkäfer (Nitidulidae).** Viele Glanzkäferarten leben als Larven und Käfer an Blüten und sind Pollenfresser. Der Rapsglanzkäfer (*Meligethes aeneus*) eignet sich besonders

als Zielart an Raps. Er tritt zunächst als Knospenschädling auf, später frisst er auch Pollen und Nektar (HONOMICHL & BELLMANN 1994-96).

**Schnellkäfer (Elateridae).** Schnellkäfer fressen überwiegend Pflanzen, unter ihnen treten besonders Arten der Gattung *Agriotes* als Larven schädigend in Äckern auf, wo sie an unterirdischen, manchmal auch bodennahen Teilen der Pflanzen sitzen (HONOMICHL & BELLMANN 1994-96).

**Aaskäfer (Silphidae).** Unter den überwiegend an Aas fressenden Silphiden leben einige Phytophage in Äckern, besonders in der Gattung *Blitophaga* an Rüben. Die Larven verzehren dabei oligophag Gänsefußgewächse (Chenopodiaceae) und können durch Blattfraß Rüben stark schädigen (HONOMICHL & BELLMANN 1994-96).

**Wanzen, Zikaden, Blattläuse (Hemipteroidea).** Unter diesen Taxa sind Zikaden und Blattläuse ausschließlich phytophag, während unter den Wanzen einige Arten auch räuberisch leben. Insbesondere Blattläuse (Aphidina) spielen in Äckern als Schadorganismen eine herausragende Rolle und eignen sich daher besonders als Zielorganismen für das Monitoring. Dieser Eignung steht allerdings der erhebliche Aufwand bei der Determination entgegen, der bei großen Individuenzahlen in den Proben kaum zu bewältigen sein dürfte (LANG, mdl. 2002). Methodisch bietet sich zur standardisierten Erfassung die 100-Blattmethode an, Blattläuse können jedoch auch mit anderen in Kap 5.2.4 dargestellten Methoden nachgewiesen werden. Wanzen (Heteroptera) treten besonders in Rübenkulturen (*Piesma quadrata*) auf, in Kartoffeln besonders Arten der Gattung *Lygus*, in Maisfeldern auch als Antagonisten in der Familie der Anthocoridae (*Orius insidiosus*). Unter den Zikaden (Auchenorrhyncha) befallen die Arten *Empoasca flavescens* und *Eupteryx atropunctata* besonders Kartoffeln (MÜHLE et al. 1983).

**Hautflügler (Hymenoptera).** Unter den Hautflüglern sind insbesondere Familien mit parasitoiden Arten wichtige Antagonisten von Phytophagen in Äckern und repräsentieren die oberste trophische Ebene. Trotz ihrer schwierigen Determination sollten sie deshalb in ein Monitoring einbezogen werden, da erst mit den Parasitoiden das Antagonistengefüge adäquat einbezogen ist. Parasitoide Hautflüglerarten treten in allen unten dargestellten Methoden zur Erfassung der Zoozönosen auf und erfordern für ein Monitoring keine speziellen Erfassungsmethoden. Phytophage Vertreter unter den Hautflüglern finden sich bei den Blattwespen (Symphyta) in Äckern, eine geeignete Indikatorart ist weiterhin die Honigbiene (*Apis mellifica*), die sich für ein Langzeitmonitoring insbesondere für Raps und Mais eignet, da sie als Pollensammler und -verbreiter eine wichtige Rolle spielt.

## Wirbeltiere in Äckern

Hier wird eine Auswahl unter den Wirbeltiergruppen getroffen, die im engeren Fokus des Monitoring liegen sollten. Wegen nur geringer zu erwartender Aussagekraft bezüglich der Wirkungen von transgenen Kulturpflanzen werden unter den Säugern die Fledermäuse ebenso wie Amphibien und Reptilien nicht berücksichtigt: Fledermäuse spielen auf Offenflächen wie Äckern eine nur untergeordnete Rolle, da sie vornehmlich an



höheren Vertikalstrukturen, wie Bäumen oder Hecken, jagen (LIMPENS et al. 1997), die Herpetofauna besiedelt Äcker kaum, sondern Raine bzw. Hecken in der Umgebung als Sommer- bzw. Winterquartiere (BLAB 1986). Bei gravierenden Nahrungsketteneffekten, die sich bis in den Ackerrain bzw. die Umgebung erstrecken, sind allerdings auch Auswirkungen auf Fledermäuse und die Herpetofauna zu erwarten.

## Vögel

Die Avizönosen der Äcker sind außerordentlich artenarm und nur wenige Bodenbrüter finden hier geeignete Lebensbedingungen. Allerdings werden Äcker sowohl von kleineren Vogelarten wie auch von größeren Predatoren als Nahrungshabitate genutzt. Nach ihrer Ernährungsweise lassen sich in Äckern  $\pm$  herbivore Arten, wie Feldsperling (*Passer montanus*) von  $\pm$  carnivoren Arten, wie Kiebitz (*Vanellus vanellus*) unterscheiden, wobei die herbivoren Arten zur Zeit der Jungenfütterung auch von Wirbellosen leben. Bisher wurde die spezifische Besiedlung nach Kulturpflanzenarten unzureichend herausgearbeitet. WOLF (2000) erfaßte z.B. die Vogelwelt in Rapsfeldern in der Nähe der hessischen Kühkopfsau (NSG) von April bis zur Rapsernte im Juli. Besonders stetig tritt in Äckern die Feldlerche (*Alauda arvensis*) auf. In 20 Ackerflächen von je mind. 25 ha aus verschiedenen Teilen Mitteleuropas war die Feldlerche mit einer Präsenz von 100 % vertreten (BEZZEL 1982), sie geht allerdings in jüngerer Zeit stark zurück, wahrscheinlich aufgrund des starken Einsatzes von Herbiziden (DPA 2000). Auch nach FLADE (1994) erreicht die Feldlerche mit 80% die höchste Stetigkeit in Äckern, stete Begleiter sind Sumpfrohrsänger (*Acrocephalus palustris*), Goldammer (*Emberiza citrinella*) und Dorngrasmücke (*Sylvia communis*). Das Rebhuhn (*Perdix perdix*) kann auf Feldern die höchsten Dichten erreichen, obwohl es z.B. auch Grünland besiedelt. FLADE (1994) stellte im Lebensraumtyp "gehölzarmes Feld" 72 Brutvogelarten fest, von denen aber nur maximal 19 Arten als reine Feldbrüter anzusehen sind. Als Leitarten werden von FLADE (1994) nur drei Spezies für "gehölzarme Felder" genannt: Grauammer (*Emberiza calandra*), Wachtel (*Coturnix coturnix*) und Großtrappe (*Otis tarda*), wobei die Zuordnung der Großtrappe zum Lebensraumtyp Feld nicht eindeutig ist, sondern ihr Habitat eine offene, weiträumige und übersichtliche Agrarlandschaft darstellt, in der Grünland- und Ackerflächen kombiniert auftreten können.

Die regionalen Unterschiede in der Besiedlung von Ackerflächen sind beträchtlich: Marschen in Küstennähe werden z.B. auch von Austernfischer (*Haematopus ostralegus*) und Sandregenpfeifer (*Charadrius hiaticula*) besiedelt, im Binnenland tritt gelegentlich der Große Brachvogel (*Numenius arquata*) in Äckern auf. Stärker östlich verbreitete Arten, wie Sperbergrasmücke (*Sylvia nisoria*) konzentrieren ihr Vorkommen auf die neuen Bundesländer und fehlen im Westen Deutschlands weitgehend, eine regionale Differenzierung der Zielartenauswahl ist also im Rahmen des Monitorings notwendig.

Einige Arten haben im Zuge der Grünlandintensivierung zunehmend ihren Besiedlungsschwerpunkt auf Äcker verlagert, wie Kiebitz (*Vanellus vanellus*), Wiesenpieper (*Anthus pratensis*) und Schafstelze (*Motacilla flava*) (FLADE 1994). Damit nimmt die Bedeutung von Ackerflächen für den Schutz der Avifauna noch zu, solange Vogelarten

zunehmend aus Intensivgrünlandflächen abwandern und auf Feldern zu brüten versuchen.

Da Intensiväcker häufig "ökologische Fallen" für Brutvögel darstellen (Brutversuche, aber hohe Verluste bei Gelegen und Jungvögeln), ist für ein Monitoring nicht nur der Brutbestand entscheidend, sondern auch der Bruterfolg (FLADE 1994). Die Wirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen müssen also außer durch Ermittlung der Besiedlungsdichten auch durch Reproduktionsparameter untersucht werden.

Gegenüber der Ackerfläche weisen die Ränder und die Umgebung häufig ein völlig anderes, meist arten- und individuenreicheres Besiedlungsmuster auf (BEZZEL 1982). In Ackerrandstreifen sind die Arten von Brach- und Ödflächen vertreten (Tab. 24), wobei deren Grad an Offenheit, Sukzessionsalter und Flächendimensionierung über die Besiedlung entscheidet. In den frühen Brachestadien können sich aufgrund der Lückigkeit der Vegetationsdecke Arten wie Steinschmätzer ansiedeln, ebenso wie typische Ackerbrüter (Rebhuhn, Wachtel, Kiebitz etc.). Mit zunehmender Vegetationentwicklung siedeln sich Braunkehlchen (*Saxicola rubetra*) und Schwarzkehlchen (*Saxicola torquata*), Sumpfrohrsänger (*Acrocephalus palustris*) und Feldschwirl (*Locustella naevia*) und dann zunehmend Gebüschbrüter an (BEZZEL 1982). Die Strukturen bzw. Biotoptypenausstattung der Umgebung führen also zu einem abweichenden Besiedlungsmuster gegenüber den Äckern und können das Besiedlungsgeschehen in den Äckern selbst maßgeblich beeinflussen, indem z.B. Arten aus der Umgebung zur Nahrungssuche in die Äcker einfliegen.

Rastvögel können auf Ackerflächen teils erhebliche Arten- bzw. Bestandszahlen erreichen (FLADE 1994), wobei geschützte Großvogelarten vertreten sein können, z.B. Kranich (*Grus grus*), Singschwan (*Cygnus cygnus*) und Zwergschwan (*Cygnus bewickii*) sowie diverse Arten von Gänsen (SPILLING 1998). Aufgrund der großen naturräumlichen Variabilität im Auftreten von Rastvögeln (FLADE 1994) wird hier auf eine Artenliste verzichtet. Dort, wo Äcker eine erhebliche Naturschutzrelevanz haben, wie in Flußauengebieten, sollten Rastvögel in das Monitoring einbezogen werden.

**Tab. 24:** Brutvögel in Äckern und Brach- und Ödflächen (nach BEZZEL 1982, FLADE 1994, WOLF 2000, verändert) [Anmerkung: bei BEZZEL (1982) sind nur Bodenbrüter berücksichtigt]

+++ = regelmäßig und zahlreich, ++ = regelmäßig, doch nur kleiner Teil des Gesamtbestandes, + = selten und unregelmäßig, (+) = ± ausnahmsweise, K = Küste. Gefährdung nach Roter Liste BRD (Witt et al. 1998). fett = Leitart nach Flade (1994)

Art	Gefährdung	Äcker	Brach- und Ödflächen
<i>vom Aussterben bedroht (Kategorie 1)</i>			
<b>Großtrappe (<i>Otis tarda</i>)</b>	<b>1</b>	++	+
Kornweihe ( <i>Circus cyaneus</i> )	1	+	+
Sumpfohreule ( <i>Asio flammeus</i> )	1		+
Triel ( <i>Burhinus oedicnemus</i> )	1		+ ++
Wachtelkönig ( <i>Crex crex</i> )	1		+
Wiesenweihe ( <i>Circus pygargus</i> )	1		
<i>stark gefährdet (Kategorie 2)</i>			
Großer Brachvogel ( <i>Numenius arquatus</i> )	2	+	
<b>Grauhammer (<i>Emberiza calandra</i>)</b>	<b>2</b>	++	
Rebhuhn ( <i>Perdix perdix</i> )	2	+++	
Uferschnepfe ( <i>Limosa limosa</i> )	2		
<i>gefährdet (Kategorie 3)</i>			
Blaukehlchen ( <i>Luscinia svecica</i> )	3	++	
Braunkehlchen ( <i>Saxicola rubetra</i> )	3		+
Kiebitz ( <i>Vanellus vanellus</i> )	3	+++	+
Rotschenkel ( <i>Tringa totanus</i> )	3		+
Schwarzkehlchen ( <i>Saxicola torquata</i> )	3	+	+
<i>Arten der Vorwarnliste (Kategorie V)</i>			
Dorngrasmücke ( <i>Sylvia communis</i> )	V	++	
Feldlerche ( <i>Alauda arvensis</i> )	V	+++	
Feldsperling ( <i>Passer montanus</i> )	V	+++	
Neuntöter ( <i>Lanius collurio</i> )	V	+	
Schafstelze ( <i>Motacilla flava</i> )	V	+++	+
Steinschmätzer ( <i>Oenanthe oenanthe</i> )	V		+++
<b>Wachtel (<i>Coturnix coturnix</i>)</b>	<b>V</b>		+
<i>nicht gefährdet</i>			
Amsel ( <i>Turdus merula</i> )		+++	
Austernfischer ( <i>Haematopus ostralegus</i> )			+++ K
Bachstelze ( <i>Motacilla alba</i> )		+	
Blaumeise ( <i>Parus caeruleus</i> )		+++	
Buchfink ( <i>Fringilla coelops</i> )		+	
Fasan ( <i>Phasianus colchicus</i> )		+++	
Flußregenpfeifer ( <i>Charadrius dubius</i> )			+++

Girlitz ( <i>Serinus serinus</i> )		+	
Goldammer ( <i>Emberiza citrinella</i> )		++	
Grünfink ( <i>Carduelis chloris</i> )		+++	
Hänfling ( <i>Acanthis cannabina</i> )		+++	
Heckenbraunelle ( <i>Prunella modularis</i> )		+	
Kohlmeise ( <i>Parus major</i> )		+++	
Ringeltaube ( <i>Columba palumbus</i> )		++	
Rohrhammer ( <i>Emberiza schoeniclus</i> )		+	
Star ( <i>Sturnus vulgaris</i> )		+++	
Stieglitz ( <i>Carduelis carduelis</i> )		+++	
Sumpfrohrsänger ( <i>Acrocephalus palustris</i> )		++	
Teichrohrsänger ( <i>Acrocephalus scirpaceus</i> )		+	
Turteltaube ( <i>Streptopelia turtur</i> )		++	
Wacholderdrossel ( <i>Turdus pilaris</i> )		+++	

## Säugetiere

Ähnlich wie die Brutvogelfauna ist die Säugerfauna der Äcker arten- und individuenarm und das Auftreten der in Tab. 25 genannten Arten kann beträchtlich variieren. Die meisten Säugetierarten halten sich in Randstreifen, Säumen oder Hecken auf, weniger im Acker selbst. Für die Vermeidung von Ackerflächen sind vor allem die fehlende Deckung und das geringe Angebot an erreichbarer Nahrung verantwortlich. Die (phasenweise) strukturelle Ähnlichkeit zu Biototypen der Naturlandschaft kann Äcker allerdings auch zu Sekundärhabitaten für einige Säuger machen, wie z.B. Maisäcker, die aufgrund ihrer Hochwüchsigkeit strukturell Röhrichtern ähneln und in denen sich die Zwergmaus (*Micromys minutus*) ansiedeln kann.

Wie Tab. 25 zeigt, rekrutieren sich Kleinsäuger in Äckern vor allem aus mehreren Maus- und Spitzmausarten sowie Herbivoren und Carnivoren innerhalb größerer Säugetiere. Das Angebot an epi- und endogäischen Tieren in Äckern, wie Regenwürmern oder Laufkäfern, wird vor allem von Spitzmäusen genutzt, während Samen und Früchte der Feldkulturen bzw. Ackerwildkräuter von Echten Mäusen verzehrt werden. Viele größere Säugerarten treten in Äckern vor allem zur Nahrungssuche auf, unter den Herbivoren z.B. Reh (*Capreolus capreolus*) und Feldhase (*Lepus europaeus*), unter den größeren carnivore Arten z.B. Iltis (*Mustela putorius*) und Hermelin (*Mustela erminea*).

**Tab 25:** Säugetiere in Äckern (zusammengestellt u.a. aus CORBET & OVENDEN 1982, MEINIG 1995, Gefährdung nach BOYE et al. 1998)

Gruppe	Art	Gefährdung
Mäuse	Feldmaus ( <i>Microtus arvalis</i> ) Waldmaus ( <i>Apodemus silvaticus</i> ) Gelbhalsmaus ( <i>Apodemus flavicollis</i> ) Zwergmaus ( <i>Micromys minutus</i> )	V
Spitzmäuse	Zwergspitzmaus ( <i>Sorex minutus</i> ) Waldspitzmaus ( <i>Sorex araneus</i> )	
Größere Säugetiere	Feldhase ( <i>Lepus europaeus</i> ) Reh ( <i>Capreolus capreolus</i> ) Igel ( <i>Erinaceus europaeus</i> ) Kaninchen ( <i>Oryctolagus cuniculus</i> ) Fuchs ( <i>Vulpes vulpes</i> ) Mauswiesel ( <i>Mustela nivalis</i> ) Iltis ( <i>Mustela putorius</i> ) Hermelin ( <i>Mustela erminea</i> )	3     V V

#### 5.2.5.2 Erläuterung der Parameter im Bereich Boden

**Bodenphysikalische und bodenchemische Parameter** Physikalische und chemische Bodenparameter dienen der Erfassung von Bodeneigenschaften und wichtigen Kenngrößen des Bodenökosystems. Sie sind bedeutende Basisinformationen für die Interpretation der biologischen Datenerhebungen.

**Kartierung der Bodenerosion** Bodenerosionen spielen vor allem auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, die zeitweise offen liegen, eine wichtige Rolle für die Bodenqualität. Die Erodierbarkeit von Böden ist ein Summenparameter aus geomorphologischen, bodenkundlichen, klimatologischen, und ökologischen Aspekten sowie der Landnutzung. Der Abtrag des Oberbodens durch Wasser oder Wind hat deutliche Einwirkungen auf die Bodenstabilität und die Fruchtbarkeit der Fläche, wobei Abtragsflächen und Akkumulationsflächen verschieden zu beurteilen sind. Eine Akkumulation erodierten Materials kann positive und negative Aspekte beinhalten. Einerseits werden Nährstoffe aus Abtragsflächen angelagert, andererseits werden Pflanzenbestände übersandet. Auch die Korngrößenverteilung und damit der Wasserhaushalt und die Nährstoffaustauschkapazität des Bodens werden verändert. Abtragsflächen haben Nährstoffverluste und Verluste der Streu- und Mineralbodenschicht. Um Bodenerosionen durch Wasser zu analysieren, werden (Schadens-)Kartierungen vorgenommen. Durch jährliche Wiederholungskartierungen werden Veränderungen der Bodenfestigkeit ermittelt, sowie Erosionsschwerpunkte im Gelände erfasst.

**Bodenmikrobiologische Parameter** Bakterien und Pilze dominieren (neben den Wurzeln) in Masse und Anzahl alle anderen Organismengruppen im Boden. In neutralen

Böden werden Abbauprozesse im Wesentlichen von Bakterien geleistet, während sie in sauren Böden weniger aktiv sind und dort der Abbau über Pilze dominiert. Etwa 60-80% der toten organischen Substanz wird durch Mikroorganismen zu Kohlendioxid mineralisiert. Der Stickstoffanteil der organischen Masse wird dabei zu anorganischem Stickstoff, Ammonium und Nitrat mineralisiert. Bakterien und Pilze sind für viele Bodentiere die wichtigste Nahrungsquelle. Sie bilden einen wichtigen Teil der Ausgangsbasis für die Nahrungsketten der Bodenfauna.

Die mikrobielle Biomasse ist ein zentraler Parameter zur Beschreibung des Stoffumsatzes. Sie reagiert auf Veränderungen der Umweltbedingungen schneller als der Humusgehalt des Bodens und ist somit ein empfindlicher Indikator für mittelfristige Einflüsse.

Die Basalatmung ist ein Aktivitätsparameter und kennzeichnet den physiologischen Zustand der Mikroorganismen.

Das Verhältnis von Basalatmung zu mikrobieller Biomasse, der metabolische Quotient ( $qCO_2$ ) gibt die Effizienz der Substratnutzung durch die Mikroorganismen an. Je kleiner der  $qCO_2$ , desto weniger Substrat wird veratmet und desto mehr Substrat wird in die mikrobielle Biomasse inkorporiert. Unter Umweltbelastungen sinkt die Effizienz der Substratatmung und der  $qCO_2$  steigt an.

Die Messung der Stickstoff-Mineralisation dient der Abschätzung der potentiellen N-Nachlieferung für die Pflanzenernährung. Sie ist abhängig von der Aktivität der Mikroorganismen sowie von der Qualität des Ausgangsmaterials.

Bei den oben beschriebenen bodenmikrobiologischen Parametern handelt es sich um bewährte Messgrößen. Neu eingeführt werden die Parameter mikrobielle Diversität und Nachweis rekombinanter DNA im Boden. Treten infolge des Anbaus transgener Kulturpflanzen Veränderungen in der Arten- und Dominanzstruktur der Bodenmikroorganismen auf, kann sich dies auf das Nahrungskettengefüge und auf Bodenfunktionen auswirken. Ein direkter Nachweis von Transformationsereignissen im Boden ist unter derzeitigem Kenntnisstand praktisch nicht möglich. Im Rahmen des Monitoring wird daher zunächst der Nachweis von rekombinanter DNA in Bodenproben empfohlen. Fällt er positiv aus, sind weitergehende Untersuchungen vorzunehmen, um einen eventuellen horizontalen Gentransfer zu detektieren.

**Bodenzoologische Parameter** Die Bodenfauna ist nicht nur außerordentlich artenreich, sondern auch durch eine hohe ökologische Diversität gekennzeichnet. Sie hat sowohl direkten als auch indirekten Einfluss auf alle Prozesse im Boden und wird ihrerseits durch diese beeinflusst. Hierbei bestimmen die Lebensraumansprüche und die Stellung im trophischen Gefüge ihre Eignung als Indikatororganismen innerhalb des Monitoring-Systems. Folgende Bodenfauna-Gruppen sollen im Rahmen des Monitoring untersucht werden:

- Lumbriciden (Regenwürmer)
- Enchytraeiden (Kleinanneliden)

- Nematoden (Fadenwürmer)
- Collembolen (Springschwänze)
- Gamasinen (Raubmilben)

Damit werden Bodenporenbildner, Nutzer vorhandener Bodenporen und Tiere des Wassers in den Bodenporen untersucht, wodurch verschiedene Expositionswege für Umwelteinflüsse abgedeckt werden. Im Nahrungsgefüge des Bodens stellen diese Gruppen Vertreter verschiedener Ernährungstypen dar. Regenwürmer und Enchytraeiden sind Substratfresser. Sie verarbeiten vor allem tote organische Substanz und die darauf befindlichen Bakterien und Pilze. Die Nematoden sind vorwiegend Bakterienfresser und im Nahrungssystem auf leicht abbaubare organische Substanz angewiesen. Auf Pflanzen und Pilze spezialisierte Familien der Nematoden lassen Rückschlüsse auf die Bedeutung der verschiedenen Stoffumsatzwege zu. Collembolen sind vorwiegend Pilzfresser und damit Nutzer der von Pilzen abgebauten, biochemisch schwerer zugänglichen organischen Substanz. Die Gamasinen kontrollieren als Prädatoren verschiedene Taxa wie Nematoden und Collembolen.

Für alle Tiergruppen ist die Erfassung der Dominanzstruktur für die Interpretation der Daten notwendig. Hierzu wird neben dem Artenspektrum die Individuendichte der Arten (bei Nematoden Familien) ermittelt.

**Lumbriciden** Regenwürmer sind für die Bodenstruktur und die Humusbildung von Böden der gemäßigten Zone die wichtigste Tiergruppe. Aufgrund der von ihnen bewirkten Durchmischung von organischen und mineralischen Anteilen im Boden (Bioturbation) leisten sie einen bedeutenden Anteil an der Dekomposition. Die Regenwürmer lassen sich in drei Lebensformtypen einteilen, die in ihrer Bedeutung für die Humusbildung und Bodenumlagerung unterschiedlich sind. Der epigäische Typ lebt vorwiegend in der Humusaufgabe und zerkleinert den Bestandsabfall. Die im Mineralboden lebenden endogäischen Formen legen flache Gangsysteme von 30-50 cm Tiefe an, während die anecischen Formen tiefgehende Gangsysteme im Boden bilden. Endogäische und anecische Formen arbeiten organisches Material in den Boden ein und sind als Bildner grober Poren für die Belüftung und Wasserführung des Bodens von Bedeutung.

**Enchytraeiden** Den Enchytraeiden kommt wie den Regenwürmern eine Bedeutung für die Mineralisierung der organischen Substanz zu, die vor allem auf ihre hohe Individuendichte zurückzuführen ist. In sauren Böden sind sie häufig die bestimmenden Arten der Zersetzergemeinschaft. Die Gemeinschaftsstruktur der Enchytraeiden lässt Rückschlüsse über die Humusqualität und die Zersetzung organischen Materials im Boden zu (GRAEFE 1993). Die Enchytraen sind auf vorhandene Bodenporen angewiesen.

**Nematoden** Die Nematoden sind die artenreichste Gruppe der Bodentiere, sie leben im Porenwasser und zeigen hohe Individuendichten. Ihre Lebensweise ist sehr unterschiedlich, wodurch sie ein breites Spektrum von Ernährungstypen, Entwicklungstypen und ökologischen Ansprüchen abdecken. Die größte Gruppe ist die der Bakterien fressenden Nematoden. Aber auch räuberische, an oder von Tieren lebende, sowie an Pilzen und

Pflanzen saugende Nematoden sind verbreitet. Untersucht werden nur die freilebenden Nematoden. Für die Erfassung der parasitären, wirtsgebundenen Nematoden sind eigene Methoden erforderlich. Sie werden hier nicht in die Betrachtung einbezogen. Die bodenbiologische Bedeutung der Nematoden ergibt sich aus ihren Nahrungsansprüchen. Besonders die Bakterien fressenden Arten leisten aufgrund ihrer Anzahl einen bedeutenden Beitrag bei Abbauprozessen und im Nährstoffkreislauf des Bodens. Phytophage, an Wurzeln fressende Nematoden können Pflanzenbestände erheblich schädigen. Je nach ernährungsspezifischen Ansprüchen kommt den Nematoden eine unterschiedliche bodenbiologische Bedeutung zu. Aufgrund der verschiedenen Entwicklungstypen von Nematoden können bodenökologische Charakteristika wie Störungsgrad ermittelt werden, was ihre Qualität als Indikatororganismen hervorhebt. Hierfür wurde von BONGERS (1990) ein Maturity Index auf der Basis der Nematodenzönose auf Familienebene entwickelt. Die Bestimmung der Nematoden auf Artebene ist für viele Familien sehr aufwendig. Für die Ermittlung der Nahrungstypen und die Erhebung des Maturity Indexes ist eine Bearbeitung auf Familienebene ausreichend.

**Gamasinen und Collembolen** Die Bodenkleinarthropoden, zu denen die Gamasinen und Collembolen gehören, leben in luftgefüllten Mittelporen und in der Streuauflage des Bodens. Die bodenbiologische Bedeutung der Collembolen beruht auf ihrer Stellung im Nahrungsnetz als vorwiegend Saprophage und Pilzfresser und als Beute für andere Arthropoden. Durch ihre Fraßätigkeit werden Bodenpilze in einem produktiven Zustand gehalten. Die Gamasinen sind räuberisch und stellen einen Kontrollfaktor für die Bestände von Nematoden und Collembolen und anderer Kleintiere dar. Als Indikatororganismen reagieren sie auf Veränderungen des Beutespektrums im Boden. Die Zusammensetzung der Collembolen- und Gamasinengemeinschaft und deren Änderung lässt Rückschlüsse auf den ökologischen Zustand der Böden zu. Bei der Bearbeitung der Collembolen und Gamasinen fallen weitere hier als Zielarten nicht aufgeführte Großgruppen von Bodenkleinarthropoden an, deren Mengenverhältnisse wichtige Hinweise auf Nahrungswege, Humusqualität und Stoffumsatzprozesse liefern können.

Insbesondere im Zusammenhang mit möglichen Auswirkungen von B.t.-Mais im Boden können über die genannten Artengruppen hinaus auch zeitweilig im Boden lebende Arten oder speziell rhizophage Artengruppen besondere Bedeutung erlangen.

**Fressaktivität der Bodenfauna (Streubeutel)** Der Streuabbau ist ein integrativer Aktivitätsparameter und misst die Gesamtleistung der an der Dekomposition beteiligten Organismen im Zusammenwirken mit chemischen, physikalischen und mikroklimatischen Eigenschaften des Bodens. Die hohe Systemintegration begründet die Eignung des Streuabbaus als Monitoringparameter. Die in Netzbeuteln eingeschlossene Streu ist für die Bodenorganismen zugänglich. Durch die Wahl der Maschenweite können bestimmte Größenklassen der Bodenfauna vom Zersetzungsprozess ausgeschlossen werden und so die Leistung einzelner Faunengruppen ermittelt werden.



### 5.3 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Aus dem breiten Spektrum möglicher Umweltwirkungen der im Rahmen dieser Studie behandelten Fallbeispiele ( siehe auch ZÜGHART et al. 2001) wurden dem Monitoringkonzept diejenigen Wirkungshypothesen zugrunde gelegt, die bei derzeitigem Kenntnisstand von großer ökologischer Relevanz und damit von hoher Priorität sind. Ein weiteres Kriterium für ihre Auswahl war die Überprüfbarkeit und methodische Erfassbarkeit der Wirkungen nach Marktzulassung bzw. Inverkehrbringen transgener Pflanzen und ihre Nutzung im Rahmen des Anbaus.

Fragestellungen, wie z.B. Auswirkungen auf die genetische Diversität von Wildpflanzen oder horizontaler Gentransfer auf Darmbakterien wurden zunächst nicht aufgegriffen. Diese ökologisch bedeutsamen Wirkungspfade sind zum derzeitigen Kenntnisstand Themen der wissenschaftlichen Grundlagen- und Sicherheitsforschung. Liegen hier ausreichend Grundkenntnisse und standardisierte Erhebungsmethoden vor, sind die Parameter in das Monitoring zu integrieren.

Aber auch hinsichtlich der im Rahmen der Konzeptentwicklung berücksichtigten Hypothesen besteht noch weitergehender Forschungsbedarf. Vielfach sind die Wirkungszusammenhänge im Einzelnen noch weitgehend unbekannt und es stehen keine befriedigenden Beobachtungsparameter- und -methoden zur Verfügung. Einige der unten aufgeführten Forschungsfelder werden derzeit in Projekten bearbeitet. Sobald neue Erkenntnisse vorliegen, ist das Monitoring entsprechend fortzuschreiben. Die Risikoermittlung transgener Kulturpflanzen erfordert eine enge Rückkoppelung zwischen der wissenschaftlichen Grundlagenforschung, experimenteller und freisetzungsbegleitender Sicherheitsforschung und dem Monitoring.

Themen, für die Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht, sind insbesondere:

- Genetische Diversität von Wildkrautpopulationen, um Einwirkungen auf die Biodiversität durch Veränderungen des Anbauregimes besser zu verstehen
- Ausbreitung von Transgenen über Brückenarten in der Familie der Brassicaceen (Raps), um das langfristige Verbreitungspotenzial von transgenen in wildlebenden Populationen abschätzen zu können
- Wirkungen und Verbleib des B.t.-Toxins in Gewässern, um mögliche Einflüsse auf aquatische Organismen (z.B: Dipteren u.a.) sowie damit verbundene Veränderungen im Stoffhaushalt zu analysieren
- Kombinationswirkungen und Synergismen verschiedener Genkonstrukte / Transgenakkumulation, um Wirkungen zu erfassen, die bisher nicht untersuchbar und abschätzbar sind

- Wechselwirkungen mit Bakterien, Pilzen und Viren, um Veränderungen der Artenzusammensetzung und das Entstehen veränderter pathogener Organismen zu erfassen
- Horizontaler Gentransfer auf Darmbakterien, um unerwünschte Wirkungen auf Nichtzielorganismen zu detektieren
- Persistenz von Transgenen in Umweltmedien, um Möglichkeiten des Eintretens seltener Ereignisse (Gentransfer) abzuschätzen
- Methoden zum Nachweis rekombinanter Mikroorganismen und DNA-Chip-Technologie / Screening von Umweltmedien, um den notwendigen Probenumfang zur statistischen Absicherung von Ergebnissen bei Inverkehrbringen verarbeiten zu können
- Differenzierung von natürlichen und transgenen B.t.-Toxinen, um Verursacher unerwünschter Einwirkungen auf den Naturhaushalt feststellen zu können
- Diversität von Bodenmikroorganismen, um die Vielfalt biotischer Wechselwirkungen, denen Transgene unterliegen, besser abschätzen zu können.

## 5.4 Schnittstellen

Über das Monitoring sollen nur diejenigen Wirkungszusammenhänge überprüft werden, die nicht bereits im Rahmen anderer Erhebungen und Programme bearbeitet werden. Auf Anbindungsmöglichkeiten an Umweltbeobachtungsprogramme des Bundes und der Länder wird in Kapitel 6 (Band II) eingegangen. Darüber hinaus bestehen Schnittstellen des Monitoring zu Arbeiten und Aufgaben anderer Institutionen. So wurde z.B. der Nachweis von Auskreuzungen in nicht-transgene Kulturen in das vorliegende Konzept nicht aufgenommen. Verunreinigungen des Saatgutes bzw. von Produkten werden, sobald die rechtlichen Grundlagen festgelegt sind, über die Saatgutüberwachung bzw. entsprechende Kontrollinstanzen abgedeckt. Die Daten sollen jedoch auch mit in den "Monitoring-Datenpool" einfließen. Ein weiteres Beispiel ist die Hypothese einer Verengung der Diversität von Kulturpflanzensorten durch den Anbau transgener Kulturen. Diese Fragestellungen fallen u.a. in den Aufgabenbereich des Bundessortenamtes. Nicht in das Konzept integriert wurden außerdem ökonomische Fragestellungen. Parameter wie Ernteverluste etc. werden von den LandwirtInnen selbst bzw. den Pflanzenschutzämtern erfasst. Für die Umsetzung des Monitoring ist eine Kooperation zwischen allen Institutionen und Einrichtungen anzustreben, die Daten erheben, die für eine Erfassung von Umweltwirkungen transgener Pflanzen relevant sein können.

## Literatur (Band I und II)

- AARDEMA, B.W.; LORENZ, M.G.; KRUMBEIN, W.E. (1983): Protection of sediment-adsorbed transforming DNA against enzymatic inactivation. *Applied and Environmental Microbiology* 46: 417-420.
- AAZIZ, R.; TEPFER, M. (1999): Recombination of RNA viruses and in virus-resistant transgenic plants. *Journal of General Virology* 80: 1339-1346.
- ADOLPHI, K. (1995): Neophytische Kultur- und Anbaupflanzen als Kulturflüchtlinge des Rheinlandes. NARDUS 2. Martina Galunder Verlag, Wiehl
- AHLMER, W.; BERGMEIER, E. (1991): Floristische Erhebungen in der Bundesrepublik Deutschland - Übersicht und Ausblick. *Natur und Landschaft* 66: 423-435.
- AHMAD, I.; MALLOCH, D. (1995): Interaction of soil microflora with the bioherbicide phosphinothricin. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 54: 165-174.
- AHRENS, M. (2000): Zur Situation des Feldhasen in Brandenburg. *Brandenburgische Forstnachrichten* 87: 28-30.
- AK REGIONALSTATISTIK (1999): Statistik Regional - Daten und Informationen. CD-ROM. Statistische Ämter des Bundes und der Länder. Bayrisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung.
- AKNU (ARBEITSKREIS NATURSCHUTZORIENTIERTE UMWELTBEOBACHTUNG) (1999): Fachkonzeption für eine "Naturschutzorientierte Umweltbeobachtung". Unveröffentlicht. 146 S.
- ALEF, K. (1991): Methodenhandbuch Bodenmikrobiologie. 284 S.
- ALEF, K.; KLEINER, D. (1987): Applicability of arginine ammonification as indicator of microbial activity in different soils. *Biology and Fertility of Soils* 5: 148-151.
- AL-KAFF, N.; KREIKE, M.; COVEY, S.; PITCHER, R.; PAGE, A.; DALE, P. (2000): Plants rendered herbicide-susceptible by cauliflower mosaic virus-elicited suppression of a 35S promoter-regulated transgene. *Nature Biotechnology* 18: 995-999.
- ALLISON, R.F.; SCHNEIDER, W.L.; DENG, W. (2000): Risk assessment of virus resistant transgenic plants. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 380: 186-196.
- ALVAREZ, A.J.; YUMET, G.M.; SANTIAGO, C.L.; TORANZOS, G.A. (1996): Stability of manipulated plasmid DNA in aquatic environments. *Environmental Toxicology and Water Quality* 11: 129-135.
- AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (2001): Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. L 106/1.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. (1978): A physiological method for a quantitative measurement of MICROBIAL BIOMASS IN SOILS. *SOIL BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY* 10: 215-221.
- ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. (1990): APPLICATION OF ECOPHYSIOLOGICAL QUOTIENTS (QCO<sub>2</sub> AND QD) ON MICROBIAL BIOMASSES FROM SOILS OF DIFFERENT CROPPING HISTORIES. *SOIL BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY* 22: 251-255.
- ATTIA, B.M. (1985): Ökologische Beziehungen zwischen Maisblattläusen, polyhagen Prädatoren und dem Maiszünsler *Ostrinia nubilalis* Hbn. Dissertation Universität Hohenheim. 97 S.
- AUERSWALD, K. (1996): Probleme der Bodenerosion - Auswirkungen des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz auf das Ausmaß der Bodenerosion und der Pestizidabschwemmung. - In: VAN DEN DAELE, W.; PÜHLER, A.; SUKOPP, H. (Hrsg.): Grüne Gentechnik im Widerstreit. VCH-Verlag, Weinheim. S. 147-152.
- AUHAGEN, A.; PLATEN, R.; SUKOPP, H. (1991): Rote Listen der gefährdeten Pflanzen und Tiere in Berlin. Landschaftsentwicklung und Umweltforschung. Schriftenreihe des Fachbereichs Landschaftsentwicklung der TU Berlin. 6 S.
- BAEHR, M. (1987): Laufkäfer (Coleoptera, Carabidae) als Indikator für die Bewertung von Biotopen, dargestellt am Beispiel der Erhebungen im Landkreis Weißenburg-Gunzenhausen. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz 77: 7-24.
- BAIER, H.; ZIMMERMANN, H. (1999): Naturschutzmonitoring in Mecklenburg-Vorpommern. Naturschutzarbeit in Mecklenburg-Vorpommern 42: 1-2
- BAIER, A.; VOGEL, B.; TAPPESER, B. (2001): Grüne Gentechnik und ökologische Landwirtschaft. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 23/01. 53 S.
- BAIERLEIN, F.; BAUER, H.-G.; DORSCH, H. (2000): Integriertes Monitoring von Singvogelpopulationen. *Vogelwelt* 121: 217-232.
- BAILLIE, S.R. (1990): Ökologie der Vögel.
- BÁLÁZS, A. (1998): 14 Jahre Niederschlagsdeposition in Hessischen Waldgebieten. Ergebnisse von den Meßstationen der Waldökosystemstudie Hessen. Forschungsberichte der Hessischen Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie 25. 129 S.
- BALLHAUS, M. (1992): Bestandserfassung schilfbrütender Vögel an sieben Ostfriesischen Binnenmeeren 1992 - Avifaunistische Röhrichtbewertung und Analyse des Einflusses der Schilfmahd auf die Brutvögel. Unveröffentlichtes Gutachten. 62 S.

- BARBER, H.S. (1931): Traps for cave inhabiting insects. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* 46: 259-265.
- BARKMAN, J.J.; DOING, H.; SEGAL, S. (1964): Kritische Bemerkungen und Vorschläge zur quantitativen Vegetationsanalyse. *Acta Botanica Neerlandica* 13: 394-419.
- BARR, K.J.; ASHER, M.J.C.; LEWIS, B.G. (1995): Resistance to *Polymyxa betae* in Britain. *Plant Pathology* 44: 301-307.
- BARTELS, F.; DASCHKEIT, A.; FRÄNZLE, O.; KASKE, A.; KERRINNES, A.; SCHMIDT, G.; SCHRÖDER, W.; STECH, C. (1997): Organisation und Methodik für ein Bodenmonitoring. Bd. I und Bd. II. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Unveröffentlicht. 34 + 57 S.
- BARTSCH, D. (1997): Ecological impact of transgenic virus-resistance in crop, weed, and wild plant populations (due to potential alterations of plant invasiveness). - In: Tepfer, M.; Balázs, E. (eds.): *Virus-resistent transgenic plants: Potential ecological impacts*. 107-113.
- BARTSCH, D. (2000): Ökologische Risiken bei Freisetzung transgener Pflanzen. [www.rwth-aachen.de/bio5/Ww/AG-Bart.html](http://www.rwth-aachen.de/bio5/Ww/AG-Bart.html).
- BARTSCH, D.; POHL-ORF, M. (1996): Ecological aspects of transgenic sugar beet: transfer and expression of herbicide resistance in hybrids with wild beets. *Euphytica* 91: 55-58.
- BARTSCH, D.; SCHMIDT, M. (1997): Influence of sugar beet breeding on populations of *Beta vulgaris* ssp. *maritima* in Italy. *Journal of Vegetation Science* 8: 81-84.
- BARTSCH, K.; TEBBE, C.C. (1989): Initial steps in the degradation of phosphinothricin (Glufosinate) by soil bacteria. *Applied and Environmental Microbiology* 55: 711-716.
- BARTSCH, D.; SCHMIDT, M.; POHL-ORF, M.; HAAG, C.; SCHUPHAN, I. (1996): Competitiveness of transgenic sugar beet resistant to beet necrotic yellow vein virus and potential impact on wild beet populations. *Molecular Ecology* 5: 199-205.
- BARTSCH, D.; DIETZ-PFEILSTETTER, A.; KOENIG, R.; SCHUPHAN, I.; SMALLA, K.; WACKERNAGEL, W. (2000): Wissenschaftliche Begleitung von Freilandversuchen mit Rhizomania-resistenten Zuckerrüben. - In: Schiemann, J. (Hrsg.): *Biologische Sicherheitsforschung bei Freilandversuchen mit transgenen Organismen und anbaubegleitendes Monitoring*. Proceedings zum BMBF-Statusseminar 29.-30. Juni 1999. 65-76.
- BASEDOW, T. (1989): Die Bedeutung von Pestizidanwendungen für die Existenz von Tierarten in der Agrarlandschaft. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz* 29: 151-168.
- BASTIAN, H.-V. (1987): Untersuchungen über die toxischen Wirkungen der Herbizide Basta (Glufosinat-Ammonium) und Aretit (Dinoseb-Acetat) auf Tiere im Süßwasser-Ökosystem. Dissertation an der Fakultät der Biologie der Eberhard-Karls-Universität Tübingen. 130 S.
- BAUCHHENß, J. (1997): Regenwurm-Fauna. - In: *Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF): Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985-1995, Teil III Boden: Gefüge, Organische Substanz, Bodenorganismen, Vegetation*. - Schriftenreihe der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 6/97: 219-234.
- BAYER-STAATL; BAYSTMELF (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN, BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN) (1990): *Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern - Standortauswahl, Einrichtung, Probenahme, Analytik*. 44 S.
- BECK, T. (1971) : Die Messung der Katalaseaktivität von Böden. *Journal für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 130: 68-81.
- BECKER, R.; ULRICH, A. (1999): Untersuchungen zum Überdauerungs- und Keimungsverhalten von Vermehrungsorganen transgener Kartoffellinien mit erhöhter Akkumulation löslicher Zucker und Entwicklung molekularbiologischer Methoden zu deren Identifizierung. Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg). Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Münchenberg. 45 S.
- BECKER, H.C.; DAMGAARD, C.; KARLSSON, B. (1992): Environmental variation for outcrossing rate in rapeseed (*Brassica napus*). *Theoretical and Applied Genetics* 84: 303-306.
- BECKER, J.; LOGEMANN, J.; SCHELL, J. (1994): Begleitende Sicherheitsforschung zur Freisetzung gentechnisch veränderter Petunien. Bundesministerium für Forschung und Technologie. *Biologische Sicherheit* 3: 563-578.
- BECKER, R.; MARTY, B.; ULRICH, A. (1998): Experimentelle Verifizierung von Veränderungen risikorelevanter ökologischer Parameter bei transgenen Kartoffelpflanzen mit Veränderungen im Phosphat- und Kohlenhydratmetabolismus. Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg). Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Münchenberg. 24 S.
- BECKER, R.; AUGUSTIN, J.; BEHRENDT, U.; HEDTKE, C.; LÜTTSCHWANGER, D.; MÜLLER, M.; ULRICH, A. (2000): Ökologische Begleitforschung zum Anbau transgener Kartoffeln mit Veränderung im Grundstoffwechsel. Landesumweltamt Brandenburg (Hrsg). Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Münchenberg. 96 S.
- BELTING, H.; BELTING, S. (1992): Brutvogelerfassung am Dümmer 1992 und Auswirkungen des Wasserstandes auf die Brutbestände. Unveröffentlichtes Gutachten. Stewede. 21 S.

- BENKERT, D.; FUKAREK, F.; KORSCH, H. (1996): Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Ostdeutschlands. Jena, Stuttgart. 615 S.
- BERCK, K.-H. (2000): Vogelwelt einer Agrar-Bachauen-Weiherfläche bei Gießen (Hessen) - Ergebnis einer sechsjährigen Planbeobachtung. Zeitschrift für Vogelkunde und Naturschutz in Hessen - Vogel und Umwelt 11: 13-48.
- BERGELSON, J.; PURRINGTON, C.B.; PALM, C.J.; LÓPEZ-GUTIÉRREZ, J.-C. (1996): Costs of resistance: a test using transgenic *Arabidopsis thaliana*. Proceedings of the Royal Society of London 263: 1659-1663.
- BERGEMANN, K.; NOE, W.; WALZ, F. (1994): Identifizierung und Messung von Parametern zur Beurteilung der potentiellen Risiken bei der Entsorgung von rekombinanten tierischen Zellkulturen im Produktionsmaßstab. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMFT). Biologische Sicherheit/Forschung Biotechnologie 3: 579-632
- BEZZEL, E. (1982): Die Vögel der Kulturlandschaft. 350 S.
- BHATIA, J.; GRANT, S.E.; POWELL, D.A. (2000): Backgrounder: Genetically-engineered Bt-containing field corn. Technical report No.11, July 1999, updated Aug. 2000; Agnet Mailout 08.08.2000.
- BIBBY, C.J.; BURGESS, N.D.; HILL, D.A. (1992): Bird census techniques. 257 S.
- BIBBY, C.J.; BURGESS, N.D.; HILL, D.A. (1995): Methoden der Feldornithologie - Bestandserfassung in der Praxis. 270 S.
- BLAB, J. (1986): Biologie, Ökologie und Schutz von Amphibien. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 18. 3. Aufl. 150 S.
- BMELF (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN) (1994): Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) - Arbeitsanleitung. 158 S.
- BMELF (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN) (1997): Dauerbeobachtungsflächen zur Umweltkontrolle im Wald - Level II, Methodenleitfaden. 126 S.
- BMELF (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN) (1999): Feldhasensymposium. 70 S.
- BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT) (1993): Umweltprobenbank des Bundes - Konzeption, Fortschreibung und Ausbau.
- BMU (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT) (2001): Umweltpolitisches Konzeptpapier "Umweltbeobachtung - Stand der Entwicklungsmöglichkeiten". Unveröffentlicht.
- BÖGER, P. (1994): Mögliche pflanzenphysiologische Veränderungen in herbizidresistenten und transgenen Pflanzen und durch den Kontakt mit Komplementärherbiziden. - In: van den Daele, W.; Pühler, A.; Sukopp, H. (Hrsg.): Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz. Bd. 2. Berlin. 161 S.
- 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: 238-266
- BONGERS, T. (1990): The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. Oecologia 83: 14-19.
- BÖRNER, H. (1990): Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. 7. Aufl. 478 S.
- BOUDRY, P.; MÖHRCHEN, M.; SAUMITOU-LAPRADE, P.; VERNET, P.H.; VAN DIJK, H. (1993): The origin and evolution of weed beets: consequences for the breeding and release of herbicide-resistant sugar beets. Theoretical and Applied Genetics 87: 471-478.
- BOYE, P.; MEINIG, H. (1996): Flächenbezogene Erfassung von Mäusen und Spitzmäusen. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 46: 45-54.
- BOYE, P.; HUTTERER, R.; BENKE, H. (1998): Rote Liste der Säugetiere (Mammalia). - In: Binot, M.; Bless, R.; Boye, P.; Grutke, H.; Pretscher, P. (Bearb.): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 55: 33-39.
- BRANDELIK, A.; KRAFT, G.; HÜBNER, C.; RUPPERT, P.; SCHWARZMÜLLER, H.; SCHUHMAN, R.; ZISCHAK, R.; HÖTZEL, H. (1996): Zerstörungsfreie in situ-Messung der Feuchte und Dichteänderung von mineralischen Deponieabdichtungen. Müll und Abfall 4: 263-268.
- BRANDT, P. (1995): Transgene Pflanzen: Herstellung, Anwendung, Risiken und Richtlinien. 308 S.
- BRAUN-BLANQUET, J. (1964): Pflanzensoziologie - Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl. Wien, Springer-Verlag. 865 S.
- 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. UBA-Berichte 3/01: 319-340.
- BREIMAN, L.; FRIEDMAN, A.; OLSHEN, R.; STONE, C.J. (1984): Classification and regression trees (CART).

- BRINKER, M. (1999): Untersuchung zur Spezifität von Promotoren. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 80/99. 166 S.
- BROER, I.; DRÖGE-LASER, W.; GERKE, M. (1996): Examination of the putative horizontal gene transfer from transgenic plants to agrobacteria. - In: Schmidt, E.R.; Hankeln, T. (eds.): Transgenic organisms and biosafety, horizontal gene transfer, stability of DNA and expression of transgenes. 67-70.
- BRUNS, E.; GARVE, E.; WICKE, G. (1999): Artenschutzmaßnahme "Küchenschellen in Niedersachsen". Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 19: 290-291.
- BRUNT, A.A.; CRABTREE, K.; DALLWITZ, M.J.; GIBBS, A.J.; WATSON, L.; ZURCHER, E.J. (eds.) (1996 onwards): Plant viruses online: description and lists from the VIDE database. Version: 16. January 1997. <http://biology.anu.edu.au/Groups/MES7vide/>.
- BÜCHS, W. (1988): Stamm- und Rindenzoönosen verschiedener Baumarten des Hartlaubauenwaldes und ihr Indikatorwert für die Früherkennung von Baumschäden. Dissertation.
- BUDER, W. (1997): Ergebnisse des ersten Durchganges der selektiven Biotopkartierung in Sachsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Materialien zu Naturschutz und Landschaftspflege 131 S.
- BÜK (2000): Bodenübersichtskarte Bundesrepublik Deutschland 1:200.000. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2001): Modell zur Erfüllung der Berichtspflichten zum allgemeinen Monitoring der Anhangs-Arten und Lebensraumtypen nach Art. 11. Unveröffentlicht. 9 S.
- BÜSCHER, E. (1995): Vegetationskundliche Untersuchungen im NSG "Brambosteler Moor". Unveröffentlichtes Gutachten. 33 S.
- BUTT, A. (2001): Risk assessment and monitoring of farmland wildlife. - In: Miklau, M.; Gaugitsch, H.; Heissenberger, A. (Hrsg.): EU-workshop: Monitoring of environmental impacts of genetically modified plants. 9th and 10th November 2000, Berlin. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 45/01: 49-50.
- CASLER, M.D.; BUXTON, D.R.; VOGEL, K.P. (2002): Genetic modification of lignin concentration affects fitness of perennial herbaceous plants. Theoretical and Applied Genetics 104: 127-131.
- CHADOEUF, R.; DARMENCY, H.; MAILLET, J.; RENARD, M. (1998): Survival of buried seeds of interspecific hybrids between oilseed rape, hoary mustard and wild radish. Field Crops Research 58: 197-204.
- CHAKRAVARTY, P.; CHATARPUL, L. (1990): Nontarget effects of herbicides: I. Effect of glyphosate and hexazinone on soil microbial activity. Microbial population, and in-vitro growth of ectomycorrhizal fungi. Pesticide Science 28: 233-241.
- CHAKRAVARTY, P.; SIDHU, S.S. (1987): Effects of glyphosate, hexazinone and trichlorpyr on in-vitro growth of five species of ectomycorrhizal fungi. European Journal of Forest Pathology 17: 204-210.
- CHAMPOLIVIER, J.; GASQUEZ, J.; MESSEAN, A.; RICHARD-MOLARD, M. (1999): Management of transgenic crops within the cropping system. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. Symposium Proceedings 72: 233-240.
- CHAT-LOCUSSOL, I. (2000): Surveillance des Organismes Génétiquement Modifiés disséminés dans l'environnement. Bilan au 07.08.2000, Bureau Biovigilance et Expérimentation. (Unveröffentlichte Zusammenstellung von Ergebnissen der ersten 3 Jahre des Biovigilance-Monitoring-Projektes in Frankreich).
- CHÉVRE, A.-M.; EBER, F.; BARANGER, A.; RENARD, M. (1997): Gene flow from transgenic crops. Nature 389: 924.
- CHÉVRE, A.M.; EBER, F.; RENARD, M.; DARMENCY, M. (1999): Gene flow from oilseed rape to weeds. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. BCPC Symposium Proceedings 72: 125-130.
- COGHLAN, A. (1999): Splitting headache. New Scientist, 20. November
- CONDAT (1998): Entwicklung eines Modells zur Zusammenführung vorhandener Daten von Bund und Ländern zu einem Umweltbeobachtungsprogramm. Unveröffentlichter Endbericht der Arbeitsgruppe 1, Sachstand der Länderbefragung. 46 S.
- CORBET, G.; OVENDEN, D. (1982): Pareys Buch der Säugetiere. 240 S.
- CRAWLEY, M.J.; HAILS, R.S.; REES, M.; KOHN, D.D.; BUXTON, J. (1993): Ecology of transgenic oilseed rape in natural habitats. Nature 363: 620-623.
- CRAWLEY, M.J.; BROWN, S.L. (1995): Seed limitation and the dynamics of feral oilseed rape on the M25 motorway. Proceedings of the Royal Society of London 259: 49-54.
- CRAWLEY, M.J.; BROWN, S.L.; HAILS, R.S.; KOHN, D.D.; REES, M. (2001): Transgenic crops in natural habitats. Nature 409: 682-683.
- CRECCHIO, C.; STROTZKY, G. (1998): Insecticidal activity and biodegradation of toxin from *Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki* bound to humic acids from soil. Soil Biology & Biochemistry 30: 463-470.
- DARMENCY, H. (1994): The impact of hybrids between genetically modified crop plants and their related species: introgression and weediness. Molecular ecology 3: 37-40.

- DARMENCY, H.; GASQUEZ, J. (1983): Interpreting the evolution of a triazine-resistant population of *Poa annua*. *The New Phytologist* 95: 299-304.
- DARMENCY, H.; COMPOINT, J.P.; GASQUEZ, J. (1981): La résistance aux triazines chez *Polygonum lapathifolium*. *Comptes Rendus de L'Academie d'Agriculture de France* 67: 231-238.
- DE VRIES, F.T.; VAN DER MEIJDEN, R.; BRANDENBURG, W.A. (1992): Botanical files - A study of the real chances for spontaneous gene flow from cultivated plants to the wild flora of the Netherlands. *Gorteria supplement* 1. 100 S.
- DEML, R.; DETTNER, K. (1998): Wirkungen *Bacillus thuringiensis*-Toxin-produzierender Pflanzen auf Ziel- und Nichtzielorganismen - Eine Standortbestimmung. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 36/98. 120 S.
- DEPPE, V. (1999): Evaluierung des Programnteils 2.1 Beihilfen für die Extensivierung von Einzelflächen zu Naturschutzzwecken und für die Beibehaltung solcher Extensivierungen sowie für die Pflege aufgegebener landwirtschaftlicher Flächen. Unveröffentlicht. 9 S.
- DESPANQUE, B.; BOUDRY, P.; BROOMBERG, K.; SAUMITOU-LAPRADE, P.; CUGUEN, J.; VAN DIJK, H. (1999): Genetic diversity and gene flow between wild, cultivated and weedy forms of *Beta vulgaris* L. (Chenopodiaceae), assessed by RFLP and microsatellite markers. *Theoretical and Applied Genetics* 98: 1194-1201.
- DETZEL, P. (1992): Heuschrecken als Hilfsmittel in der Landschaftsökologie. - In: Trautner, J. (Hrsg.): Arten- und Biotopschutz in der Planung: Methodische Standards zur Erfassung von Tierartengruppen. 189-194.
- DEUTSCHER TOURISMUSVERBAND; DEUTSCHER HEILBÄDERVERBAND (1998): Begriffsbestimmungen - Qualitätsstandards für die Prädikarisierung von Kurorten, Erholungsorten und Heilbrunnen. 11. Aufl.
- DIERCKS, R.; HEITFUSS, R. (Hrsg.) (1990): Integrierter Landbau. Systeme umweltbewußter Pflanzenproduktion. 440 S.
- DIERSCHE, H. (1994): Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden. 683 S.
- DIERSEN, K. (1990): Einführung in die Pflanzensoziologie, Akademie Verlag. 241 S.
- DIETZ, A.; NIEMANN, P.; WENZEL, G.; HEIDLER, G.; EGGERS, T. (1993): Aspekte des Anbaus herbizidresistenter Kulturpflanzen. Mitteilungen an die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 286.
- DIETZ-PFEILSTETTER, A.; WEBER, A.; BARG, E.; KIRCHNER, M. (1998): Untersuchungen zur Vererbung und Ausprägung von Transgenen in Zuckerrüben, Mangold-Hybriden (*Beta vulgaris* L.). Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft 357: 116-117.
- DO-G (DEUTSCHE ORNITHOLOGEN-GESELLSCHAFT) (1995): Qualitätsstandards für den Gebrauch vogelkundlicher Daten in raumbedeutsamen Planungen.
- DOMSCH, K.H. (1962): Bodenatmung - Sammelbericht über Methoden und Ergebnisse. Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten Abt. II 116: 33-78.
- DONEGAN, K.K.; PALM, C.J.; FIELAND, V.J.; PORTEOUS, L.A.; GANIO, L.M.; SCHALLER, D.L.; BUCAO, L.Q.; SEIDLER, R.J. (1995): Changes in levels, species and DNA fingerprints of soil microorganisms associated with cotton expressing the *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* endotoxin. *Applied Soil Ecology* 2: 111-124.
- DÖRING, V.; HELFERICH, R. (1986): Zur Ökologie einer Rebhuhnpopulation (*Percix percix*, Linné, 1758) im Unteren Naheland (Rheinland-Pfalz; Bundesrepublik Deutschland). Schriften des Arbeitskreises Wildbiologie und Jagdwissenschaft an der Justus-Liebig-Universität Gießen 15. 365 S.
- DORN, E.; GÖRLITZ, G.; HEUSEL, R.; STUMPF, K. (1992): Verhalten von Glufosinat-Ammonium in der Umwelt - Abbau im und Einfluß auf das Ökosystem. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XIII: 459-468.
- DORNBUSCH, G. (1997): Adler in Sachsen-Anhalt. Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt. 16 S.
- DÖRNER, D. (1992): Die Logik des Mißlingens - Strategisches Denken in komplexen Situationen. 320 S.
- DOWNEY, R.K. (1999): Gene flow and rape - the Canadian experience. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. BCPC Symposium Proceedings 72: 109-116.
- DPA (2000): Studie: Weniger Vögel durch gentechnisch veränderte Saat. [www.netlink.de/gen/Zeitung/2000/000831.html](http://www.netlink.de/gen/Zeitung/2000/000831.html).
- DRIEBEN, S.; WEHRES, U.; BARTSCH, D. (2000): Wildrübenpopulationen in Deutschland, ihre Bewertung für die Freisetzung transgener Zuckerrüben. [www.dainet.de/genres/infos/wild\\_beet](http://www.dainet.de/genres/infos/wild_beet).
- DRÖSCHMEISTER, R. (2001): Bundesweites Naturschutzmonitoring in der "Normallandschaft" mit der Ökologischen Flächenstichprobe. *Natur und Landschaft* 2: 58-69.
- DÜLL, R.; KUTZELNIGG, H. (1994): Botanisch-ökologisches Exkursionsatlasbuch. 590 S.
- DUNGER, W.; FIEDLER, H.J. (Hrsg.) (1997): Methoden der Bodenbiologie. 2. Aufl. 539 S.
- DVWK (DEUTSCHER VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V) (1994): Grundsätze zur Ermittlung der Stoffdeposition. Merkblatt 229.

- DVWK (DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL) (1996): Boden-erosion durch Wasser - Kartieranleitung zur Erfassung aktueller Erosionsformen. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft 239. 64 S.
- EASTHAM, K.; SWEET, J. (2002): Genetically modified organisms (GMOs): The significance of gene flow through pollen transfer. European Environment Agency. Environmental issue report 28. 75 S.
- EBER, F.; CHÈVRE, A.M.; BARANGER, A.; VALLÉE, P.; TENGUY, X.; RENARD, M. (1994): Spontaneous hybridization between a male-sterile oilseed rape and two weeds. *Theoretical and Applied Genetics* 88: 362-368.
- ECKELKAMP, C.; WEBER, B. (1996): Glyphosat-Applikation im Gleisbereich. Öko-Institut e.V.
- ECKELKAMP, C.; MAYER, M.; WEBER, B. (1997a): BASTA resistenter Raps - Vertikaler und horizontaler Gentransfer unter besonderer Berücksichtigung des Standortes Wölfersheim-Melbach. Öko-Institut e.V. Werkstattreihe 100. 113 S.
- ECKELKAMP, C.; JÄGER, M.; WEBER, B. (1997b): Risikoüberlegungen zu transgenen virusresistenten Pflanzen. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 59/97. 279 S.
- ECKELKAMP, C.; JÄGER, M.; TAPPESE, B.; DANNEBERG, G.; DRIESEL, A.J. (1998): Verbreitung und Etablierung rekombinanter Desoxyribonukleinsäure (DNS) in der Umwelt. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 51/98. 226 S.
- EDWARDS, P.J.; ABIVARDI, C.; RICHNER, W. (1999): The effects of alternative tillage systems on biodiversity in agroecosystems. - In: Wood, D.; Lenné, J.M. (eds.): *Agrobiodiversity: characterization, utilization and management*. 305-329
- EINSPANIER, R. (2001): Quantifying genetically modified material in food: searching for a reliable certification. *European Food Research and Technology* 213: 415-416.
- ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Stuttgart, Ulmer. 989 S.
- ELLWANGER, G.; PETERSEN, B.; SSYMAN, A. (2002): Nationale Gebietsbewertung gemäß FFH-Richtlinie: Gesamtbestandsermittlung, Bewertungsmethodik und EU-Referenzlisten für Arten nach Anhang II in Deutschland. *Natur und Landschaft* 77: 29-42.
- ELRICK, D.E.; REYNOLDS, W.D. (1992): Methods for analysing constant head well permeameter data. *Soil Science Society of America Journal* 56: 320-323.
- EMBERLIN, J.; ADAMS-GROOM, B.; TIDMARSH, J. (1999): A report on the dispersal of maize pollen. Research paper. [www.soilassociation.org](http://www.soilassociation.org)
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY) (1995): Pesticide fact sheet. *Bacillus thuringiensis* Cry (B) delta endotoxin and the genetic material necessary for its production (plasmid vector pCIB4431) in corn. Office of Prevention, Pesticides and Toxic Substances, 8.10.1995. [www.epa.gov/opppbd1/biopesticides/factsheets/fs006458t.htm](http://www.epa.gov/opppbd1/biopesticides/factsheets/fs006458t.htm).
- ERCHINGER, H. (1998): Abschlussbericht, Oktober 1998 - Projekt: "Vertragsnaturschutz auf ökologisch wertvollen Ackerflächen". Unveröffentlicht.
- ERNST, D.; KIEFER, E.; DROUET, A.; SANDERMANN, H. (1996a): A simple method of DNA extraction from soil for detection of composite transgenic plants by PCR. *Plant Molecular Biology Reporter* 14: 143-148.
- ERNST, D.; ROSENBROCK, H.; KIEFER, E.; SANDERMANN, H. (1996b): Field studies with phosphinotricin-resistant transgenic plants: Analysis of the pat-gene during senescence. *Gesellschaft für Pflanzenzüchtung. GPZ-Tagung* 223-224.
- ESCHER, N.; KÄCH, B.; NENTWIG, W. (2000): Decomposition of transgenic *Bacillus thuringiensis* maize by microorganisms and woodlice *Porcellio scaber* (Crustacea: Isopoda). *Basic and Applied Ecology* 1: 161-169.
- ESTOK, D.; FREEDMAN, B.; BOYLE, D. (1989): Effects of the herbicides 2,4-D, glyphosate, hexazinone and trichloropyr on the growth of three species of ectomycorrhizal fungi. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 42: 835-839.
- EWALD, D.; HAN, Y. (1999): Freisetzungsversuche mit transgenen Pappeln in China. UBA-Fachgespräch "Freisetzung transgener Gehölze - Stand, Probleme, Perspektiven" 20. & 21. Sept., Humboldt Universität zu Berlin.
- EYLERT, J. (2000): Jagdstatistik als Beitrag zum Landschaftsmonitoring. *LÖBF-Mitteilungen* 2: 56-67.
- FALTIN, D. (1988): Untersuchungen zur Verbreitung der Schlafmäuse (Gliridae) in Bayern. *Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz* 81: 7-16.
- FEIL, B.; SCHMID, J.E. (2001): Pollenflug bei Mais, Weizen und Roggen. Ein Beitrag zur Frage der beim Anbau von transgenen Kulturpflanzen erforderlichen Isolierabstände. [www.internutrition.ch](http://www.internutrition.ch)
- FELDMANN, S. (2000): Begleitforschung zur Freisetzung herbizidresistenter, transgener Rapspflanzen 1995-1999. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie. *Nachhaltiges Niedersachsen - Dauerhaft umweltgerechte Entwicklung* 13. 57 S.
- FISCHBECK, G. (1998): Einführung und Ergebnisse zur Pollen- und Samenverbreitung transgener Erbeigensschaften. Verein Deutscher Biologen. FORBIOSICH: Gentechnik, Ökologie und Ernährung, VDBIOL-Forum München 1998: 5-8.



- FISCHER, A. (1987): Untersuchungen zur Populationsdynamik am Beginn von Sekundärsukzessionen. Diss. Botanicae 110. Berlin, Stuttgart. 234 S.
- FISCHER, R.; SIEBERS, J.; BLACHA-PULLER, M. (1997): Methodenhandbuch Rückstandsanalytik. Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. 326 S.
- FLADE, M. (1994): Die Brutvogelgemeinschaften Mittel- und Norddeutschlands. IHW-Verlag, Eiching. 879 S.
- FLADE, M.; SCHWARZ, J. (1996): Stand und aktuelle Zwischenergebnisse des DDA-Monitoringprogramms. Vogelwelt 117.
- FLADUNG, M.; GROSSMANN, K.; AHUJA, M.R. (1997): Alterations in hormonal and developmental characteristics in transgenic *Populus*. Journal of Plant Physiology 150: 420-427.
- FLADUNG, M.; NOWITZKI, O.; EBBINGHAUS, D.; SCHELLHORN, A.; BENTEN, G.; AHUKA, M.R.; MUHS, H.J. (1999): Field release of ROLC-transgenic Aspen-*Populus*. [http://users.ox.ac.uk/~dops0022/conference/forest\\_biotech99\\_home.html](http://users.ox.ac.uk/~dops0022/conference/forest_biotech99_home.html) . Poster 47.
- FLEXNER, J.L.; LIGHTHART, B.; CROFT, B.A. (1986): The effects of microbial pesticides on non-target, beneficial arthropods. Agriculture, Ecosystems and Environment 16: 203-254.
- FÖRSTER, K.; SCHUSTER, C.; BELTER, A.; DIEPENBROCK, W. (1998): Agrarökologische Auswirkungen des Anbaus von transgenem herbizidtoleranten Raps (*Brassica napus* L.). Bundesgesundheitsblatt 12: 547-552.
- FRANK, D. (1996): Konzeption für die Erarbeitung einer Flora Sachsen-Anhalts. Mitt. Florist. Kart. Sachsen-Anhalt 1: 5-8.
- FRANZ, H.P. (1988): Kartierung der Fließgewässer im Nationalpark Berchtesgaden und seinem Vorfeld. Teil I: Kriterium zur Einteilung der Gewässerabschnitte, Teil II: Dokumentation. Unveröffentlichter Bericht im Rahmen der Ökosystemforschung Berchtesgaden. Nationalparkverwaltung Berchtesgaden.
- FRANZ, H.P. (1992): Die Natürlichkeitsgrade der Fließgewässer im Nationalpark Berchtesgaden und seinem Vorfeld, ermittelt mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems. Limnologie aktuell 3: 253-283.
- FREE, J.B.; WILLIAMS, I.H.; LONGDEN, P.C.; JONSSON, M.G. (1975): Insect pollination of sugar beet (*Beta vulgaris*) seed crops. Annals of Applied Biology 81: 127-134.
- FREI, G.; MANHART, C. (1992): Nützlinge und Schädlinge an künstlich angelegten Ackerkrautstreifen in Getreidefeldern. Agrarökologie 4. 140 S.
- FRIEBEN, B. (1994): Das Ackerrandstreifenprogramm in Nordrhein-Westfalen - Effizienz und Perspektiven. Schriftenreihe zum Schutz gefährdeter Pflanzen 5: 36-43.
- FRIEBEN, B. (1995): Effizienz des Schutzprogramms für Ackerwildkräuter. LÖBF-Mitteilungen 4: 15-19.
- FRITZ, W. (1989): Die Blatt- und Rüsselkäferfauna ungespritzter Ackerrandstreifen der Eifel und der angrenzenden Niederrheinischen Bucht. Diplomarbeit, Landwirtschaftliche Fakultät, Universität Bonn.
- FRITZ-KÖHLER, W. (1994): Zur Auswirkung herbizidfreier Ackerrandstreifen auf phytophage Käfer. Aus Liebe zur Natur, Schriftenreihe Stiftung zum Schutz gefährdeter Pflanzen 5: 141-149.
- FRITZ-KÖHLER, W. (1996): Blatt- und Rüsselkäfer an Ackerunkräutern - Ökologie und Biogeographie in Mitteleuropa und Untersuchungen an ungespritzten Ackerrandstreifen. Agrarökologie 19. 139 S.
- GARCÍA-ARENAL, F.; MALPICA, J.M.; FRAILE, A. (2000): Evolution of plant virus populations - the role of genetic exchange. - In: Fairbairn, C.; Scoles, G.; McHughen, A. (eds.): The biosafety of genetically modified organisms. 91-96.
- GARVE, E. (1994): Atlas der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen in Niedersachsen und Bremen. Naturschutz und Landschaftspflege Niedersachsen 30 (1-2). 896 S.
- GEBHARD, B. (2000): EU-LIFE-Projekt "Feuchtlebensraummanagement im Biosphärenreservat Schaalsee". Naturschutzarbeit in Mecklenburg-Vorpommern 43: 13-22.
- GEBHARD, F.; SMALLA, K. (1998): Transformation of *Acinetobacter* sp. strain BD413 by transgenic sugar beet DNA. Applied and Environmental Microbiology 64: 1550-1554.
- GEBHARD, F.; SMALLA, K. (1999): Monitoring field releases of genetically modified sugar beets for persistence of transgenic plant DNA and horizontal gene transfer. FEMS Microbiology Ecology 28: 261-272.
- GERBER, A.; PLACHTER, H. (1987): Vergleichende Untersuchungen zur Laufkäferfauna (Coleoptera, Carabidae) im Bereich des Ausgleichsbeckens Altmühltal (Bayern, Mittelfranken). Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz 77: 25-32.
- GERDEMANN-KNÖRCK, M.; TEGEDER, M. (1997): Kompendium der für Freisetzen relevanten Pflanzen; hier Brassicaceae, *Beta vulgaris*, *Linum usitatissimum*. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 38/97. 221 S.
- GERTZ, J.M.; VENCILL, W.K.; HILL, N.S. (1999): Tolerance of transgenic soybean (*Glycine max*) to heat stress. - In: British Crop Protection Council (ed.): Weeds: The 1999 Brighton Conference. 3: 835-840.

- GEYL, L.; GARCIA HERIZ, M.; VALENTIN, P.; HEHN, A.; MERDINOGLU, D. (1995): Identification and characterization of resistance to rhizomania in an ecotype of *Beta vulgaris* subsp. *maritima*. *Plant Pathology* 44: 819-828.
- GIBSON, C.W.D.; HAMBLER, C.; BROWN, V.K. (1992): Changes in spider (Araneae) assemblages in relation to succession and grazing management. *Journal of Applied Ecology* 29: 132-142.
- GRAEFE, U. (1991): Ein Enchyträentest zur Bestimmung der Säure- und Metalltoxizität im Boden.- Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 66: 487-490.
- GRAEFE, U. (1993): Die Gliederung von Zersetzergesellschaften für die standortökologische Ansprache. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 69: 95-98.
- GRIFFIN, H.G.; GRIFFIN, A.M. (1994): PCR Technology: current innovations. 370 S.
- GROSS, A.; WURZ, A.; WILLMUND, R. (1994): Untersuchungen zum Verbleib rekombinanter Plasmid-DNA in einer Modellkläranlage. *Korrespondenz Abwasser* 41: 2042-2048.
- GRÜNWALD, A.; BAUER, B.; THOMANN-AUER, K.; WALDT, H.-O. (1996): Artenschutzprojekte in Rheinland-Pfalz. Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. Materialien zur Landespflege. 55 S.
- HAAS, V.; WEBER, B. (1993): Gutachten zum Freisetzungsantrag: transgene Zuckerrüben. Öko-Institut e.V.
- HAASE, P. (1996): Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Wasserkäfer mit Gesamtartenverzeichnis. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 16: 81-100.
- HAEUPLER, H.; SCHÖNFELDER, P. (1988): Atlas der Farn und Blütenpflanzen der Bundesrepublik Deutschland. Stuttgart. 768 S.
- HAFERKORN, J. (1995): Der Einfluß der Fangflächengröße beim Kleinnagerfang. - In: Stubbe, M.; Stubbe, A.; Heidecke, D. (Hrsg.): Methoden feldökologischer Säugetierforschung, Bd. 1. Wissenschaftliche Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. 269-272.
- HAFEZ, M.; SALAMA, H.S.; ABOUL-ELA, R.; ZAKI, F.N.; RAGAEI, M. (1997): *Bacillus thuringiensis* affecting the larval parasite *Meteorus laeviventris* Wesm. (Hym., Braconidae) associated with *Agrotis ypsilon* (Rott.) (Lep., Noctuidae) larvae. *Journal Applied Entomology* 121: 535-538.
- HAGEDORN, C. (1997): Boll drop problems in roundup-resistant cotton. *Crop and Soil Environmental News* 12. [www.ext.vt.edu/news/periodicals/cses/1997-12/1997-12-04.html](http://www.ext.vt.edu/news/periodicals/cses/1997-12/1997-12-04.html)
- HALL, L.; TOPINKA, K.; HUFFMAN, J.; DAVIS, L. (2000): Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. *Weed science* 48: 688-694.
- HALLE, S. (1995): Untersuchungen zum Aktivitätsverhalten von Kleinsäugetern im Freiland. - In: Stubbe, M.; Stubbe, A.; Heidecke, D. (Hrsg.): Methoden feldökologischer Säugetierforschung, Bd. 1. Wissenschaftliche Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg: 247-256.
- HÄNI, F. (1986): Analyse ausgewählter landwirtschaftlicher Kulturen der Schweiz - Zuckerrüben. *Landw. Forschung* 3/4: 316-322.
- HANSEN JESSE, L.C.; OBRZYCKI, J.J. (2000): Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. *Oecologia*, Springer online, <http://link.springer.de/link/service/jou...s/00/00502/paper/s004420000502ch100.html> 19. August: 14.
- HARTGE, K.H.; HORN, R. (1992) Die physikalische Untersuchung von Böden. 3. Aufl. 176 Seiten.
- HECHT (1993): Feststellung des Langzeitverhaltens von Schadstoffen im Biozyklus Boden, Pflanze und Wildtiere. UBA-Forschungsvorhaben Nr. 116 08 052. Unveröffentlicht.
- HECKENROTH, H. (1993): Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Säugetierarten - Übersicht. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 13: 221-226.
- HECKENROTH, H. (1995): Übersicht über die Brutvögel in Niedersachsen und Bremen und Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Brutvogelarten. 5. Fassung, Stand 1995. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 15: 1-16.
- HECKENROTH, H. (1996): Weißstorch *Ciconia ciconia* Brutbestand 1971-1995 in Niedersachsen und Bremen. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 16: 101-168.
- HECKENROTH, H.; LASKE, V. (1997): Atlas der Brutvögel Niedersachsens 1981-1995. Naturschutz und Landschaftspflege Niedersachsen 37. 329 S.
- HEINEMEYER, O.; INSAM, H.; KAISER, E.A.; WALENZIK, G. (1989): Soil microbial biomass and respiration measurements: An automated technique based on infrared gas analysis. *Plant and Soil* 116: 191-195.
- HEISSENBERGER, A.; UNGER, G.; WOTTAWA, A.; SCHMIDT, J. (1999): Möglichkeiten zum Monitoring des Einflusses transgener Pflanzen auf Bodenmikroorganismen. Umweltbundesamt Wien. Reports 160. 51 S.
- HEMMERLING, W.; JACOBSEN, J. (1993): Naturschutz in der Eider-Treene-Sorge-Niederung - Ein integrierter Konzeptentwurf der Landesregierung. - In: Landesamt für Naturschutz und Landschaftspflege Schleswig-Holstein (Hrsg.): Perspektiven des Naturschutzes in Schleswig-Holstein - 20 Jahre Landesamt für Naturschutz und Landschaftspflege: 56-59.

- HENDERSON, I.F.; WHITAKER, T.M. (1977): The efficiency of an insect suction sampler in grassland. *Ecological Entomology* 2: 57-60.
- HENSELER, K.L. & RENGGER, M. (1968): Die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit in wasserungesättigten Böden mit der Doppelmembran- Druckapparatur. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 122: 220-229.
- HERBICIDE FACTSHEET (1995): Glyphosate, Part 2: Human exposure and ecological effects. *Journal of Pesticide Reform* 14: 14-20.
- HERMANN, G. (1992): Tagfalter und Widderchen - Methodische Vorgehen bei Bestandsaufnahmen zu Naturschutz- und Eingriffsplanungen. - In: Trautner, J. (Hrsg.): Arten- und Biotopschutz in der Planung: Methodische Standards zur Erfassung von Tierartengruppen. 219-238.
- HERR, W. (1996): Landschaftsökologische Untersuchung im Gebiet Stollhammer Wisch, Landkreis Wesermarsch. Gutachten im Auftrag des NLÖ, unveröffentlicht. 96 S.
- HEUSINGER, G. (1987): Stellung und Möglichkeiten des Schmetterlingschutzes im Rahmen des Bayerischen Arten- und Biotopschutzprogramms. *Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz* 77: 33-36.
- HEYDEMANN, B. (1961): Untersuchungen über die Aktivitäts- und Besiedlungsdichte der epigäischen Spinnen. *Verh. Deutsche Zoologische Gesellschaft*. 538-556.
- HEYDEMANN, B. (1997): Neuer biologischer Atlas - Ökologie für Schleswig-Holstein und Hamburg. 591 S.
- HEYDEMANN, B.; MEYER, H. (1983): Auswirkungen der Intensivkultur auf die Fauna in den Agrarbiotopen. *Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflanze* 42: 174-191.
- HILBECK, A.; BAUMGARTNER, M.; FRIED, P.; BIGLER, F. (1998a): Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neurotera: Chrysopidae). *Environmental Entomology*. 27: 480-487.
- HILBECK, A.; MOAR, W.J.; PUSZTAI-CAREY, M.; FILIPPINI, A.; BIGLER, F. (1998b): Toxicity of *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab toxin to the predator *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environmental Entomology* 27: 1255-1263.
- HILBECK, A.; MOAR, W.J.; PUSZTAI-CAREY, M.; FILIPPINI, A.; BIGLER, F. (1999): Prey-mediated effects of Cry1Ab toxin and protoxin and Cry2A protoxin on the predator *Chrysoperla carnea*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 91: 305-316.
- HILBECK, A.; MEIER, M.S.; RAPS, A. (2000): Review on non-target organisms and bt-plants. Report to Greenpeace International. EcoStrat GmbH. 77 S.
- HILDEBRANDT, J. (1990): Terrestrische Tiergemeinschaften der Salzwiesen im Ästuarbereich. Dissertation. 290 S.
- HILDEBRANDT, J.; NICKEL, H. (2002): Auchenorrhyncha communities as indicators of biodiversity and disturbance in grassland ecosystems - a case study from the middle Elbe valley (North Germany). *Agriculture, Ecosystems and Environment* (im Druck)
- HILL, J.E. (1999): Concerns about gene flow and the implications for the development of monitoring protocols. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. British Crop Protection Council. Symposium Proceedings: Gene Flow and Agriculture: Relevance for transgenic crops 72: 217-224.
- HILLMANN, U.; SCHLÖSSER, E. (1992): Rizomania VIII. Titer des Aderngelbfleckungsvirus (BNYVV) in Teilen von Zuckerrüben. *Med. Fac. Landbouw. Rijksuniv. Gent*.
- HO, M.-W.; RYAN, A.; CUMMINS, J. (1999): Cauliflower mosaik viral promoter - A recipe for disaster? *Microbial Ecology in Health and Disease* 11(4): 194-197.
- HO, M.-W.; RYAN, A.; CUMMINS, J. (2000a): CaMV 35S promoter fragmentation hotspot confirmed, and it is active in animals. *Microbial Ecology in Health and Disease* 12: 189.
- HO, M.-W.; RYAN, A.; CUMMINS, J. (2000b): Hazards of transgenic plants containing the cauliflower mosaic viral promoter. *Microbial Ecology in Health and Disease* 12: 6-11.
- HOFFMAN, C.A. (1990): Ecological risks of genetic engineering of crop plants. *BioScience* 40: 434-436.
- HOFFMANN, G. & DEDEKEN, M. (1965): Eine Methode zur kolorimetrischen Bestimmung der  $\beta$ -Glucosidase- Aktivität der Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 108: 195-201.
- HOFFMANN, M.; KÖHLER, W. (2000): Modellierung von Genfluss und Verwildерung bei transgenen Zuckerrüben (*Beta vulgaris* convar. *altissima* Döll). - In: Schiemann, J. (Hrsg.): Biologische Sicherheitsforschung bei Freilandversuchen mit transgenen Organismen und anbaubegleitendes Monitoring. *Proceedings zum BMBF-Statusseminar* 29.-30. Juni 1999. 101-110.
- HOFMEISTER, H. (1975): Ackerunkrautgesellschaften des Ostbraunschweigischen Hügellandes. *Mitteilungen der Floristisch-Soziologischen Arbeitsgemeinschaft N.F* 18:25-39.
- HOFMEISTER, H. (1981): Ackerunkraut-Gesellschaften des Mittelleine-Innerste-Berglandes (NW Deutschland). *Tuexenia* 1: 49-62.
- HOHMANN, M.-L.; KELLER, I. (1988): Floristische und pflanzensoziologische Untersuchungen der Ackerwildkrautflora auf typischen Flächen der Naturräume Untermainebene (hessischer Teil) und

- Messler Hügelland unter Berücksichtigung der Boden-, Klima- und Nutzungsverhältnisse. Abschlussbericht für die Hessische Landesanstalt für Umwelt. Unveröffentlicht. 87 S.
- HOHMANN, M.-L.; KELLER, I.; KOSTER, B. (1989): Floristische und pflanzensoziologische Untersuchungen der Ackerwildkrautflora im Bereich von Ackerschonstreifen und deren Wechselwirkung mit typischen Vertretern der Schädlings- und Nützlingsfauna auf ausgewählten, für Hessen typischen Standorten. Abschlussbericht für das Hessische Ministerium für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz. Unveröffentlicht. 123 S.
- HOLLAND, P.M.; ABRAHAMSON, R.D.; WATSON, R.; GELFAND, D.H. (1991): Detection of specific polymerase chain reaction product by utilising the 5'----3' exonuclease activity of *Thermus aquaticus* DNA polymerase. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 88: 7276-7280.
- HOMMEL, B.; PALLUTT, B. (2000): Bewertung der Herbizidresistenz für den integrierten Pflanzenschutz im System einer 4-feldrigen Fruchtfolge mit Glufosinat-resistentem Raps und Mais. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* XVII: 411-420.
- HONOMICHL, K.; BELLMANN, H. (1994-96): Biologie und Ökologie der Insekten. CD-ROM-Lexikon.
- HUANG, F.; BUSCHMAN, L.L.; HIGGINS, R.A.; MCGAUGHEY, W.H. (1999): Inheritance of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin (Dipel ES) in the European corn borer. *Science* 284: 965-967.
- HÜLSBERGEN, K.-J.; DIEPENBROCK, W. (Hrsg.) (2000): Die Entwicklung von Fauna, Flora und Boden nach Umstellung auf ökologischen Landbau. Deutsche Wildtierstiftung, Martin Luther-Universität Halle-Wittenberg, Universitätszentrum für Umweltwissenschaften (UZU). 285 S.
- HURLE, K. (1994): Mögliche Veränderungen in der landwirtschaftlichen Praxis durch die HR-Technik. In: van den Daele, W.; Pühler, A.; Sukopp, H. (Hrsg.): *Verfahren zur Technologiefolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz*. 87 S.
- ILLIG, H.; KLÄGE, H.-C. (1994): Feldflorareservate und Ackerrandstreifen in Brandenburg. *Schriftenreihe Stiftung zum Schutz gefährdeter Pflanzen* 5: 181-186.
- JACOT, Y. (1994): A bibliographical study of gene flow between crops and wild relatives in Switzerland. Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Environmental Documentation*: 12. Organisms 12: 14-18.
- JÄGER, M.; WEBER, B. (1993): Risikoaspekte gentechnisch erzeugter Virusresistenzen. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 22: 407-412 S.
- JANSEN, E. (2000): Auswertung der Schadstoffbelastung im hessischen Rhein und Main ermittelt durch Fischbiomonitoring. Hessische Landwirtschaftliche Versuchsanstalt. *Schriftenreihe* 7. 190 S.
- JEDICKE, E. (1999): Statusanalyse und Konzeption einer Amphibienkartierung in Hessen. Gutachten im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten. 102 S.
- JEPSON, P.C.; CROFT, B.A.; PRATT, G.E. (1994): Test systems to determine the ecological risks posed by toxin release from *Bacillus thuringiensis* genes in crop plants. *Molecular Ecology* 3: 81-89.
- JODL, S. (1996): Vergleichende faunistische Untersuchungen in Miscanthus-, Mais- und Schilfbeständen. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. [www.lwg.bayern.de/landespflge/versuche/1996/1-ve9608.html](http://www.lwg.bayern.de/landespflge/versuche/1996/1-ve9608.html).
- JOHNSON, B. (2001): A critical analysis of the field scale trials of herbicide tolerant oilseed rape in the UK. - In: Miklau, M.; Gaugitsch, H.; Heissenberger, A. (Hrsg.): *EU-workshop: Monitoring of environmental impacts of genetically modified plants*. 9th and 10th November 2000, Berlin. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 45/01: 142-148.
- JORDAN, B.R.; JORDAN, B. (2001): DNA microarrays: Gene expression applications (principle and practice).
- JØRGENSEN, R.B. (1999): Gene flow from oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. - In: British Crop Protection Council (ed.): *Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops*. Symposium Proceedings 72: 117-124.
- JÜRGING, M. (1989): Die Brutvögel der Stadt Burgdorf/Han. Unveröffentlicht. 166 S.
- KALLWEIT, D. (1997): Geeignete Sammelverfahren zur Erfassung von Depositionen und Anwendung im UBA-Messnetz. - In: Landesanstalt für Umweltschutz (LfU BW); Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.): *Ermittlung atmosphärischer Stoffeinträge in den Boden, Nutzung neuer Sammel- und Nachweisverfahren*. Fachgespräch am 27. November 1996: 41-48.
- KAULE, G. (1991): Arten- und Biotopschutz. 2. Aufl. 519 S.
- KAULE, G.; AG ÖKOLOGIE (1988): Beschreibung der Kartierung besonders schutzwürdiger Biotope im Saarland - Kartieranleitung. Ministerium für Umwelt. Saarbrücken.
- KEHREIN, A. (2002): Aktueller Stand und Perspektiven der Umsetzung von Natura 2000 in Deutschland. *Natur und Landschaft* 77(1): 2-9.
- KENNEDY, A.C.; SMITH, K.L. (1995): Soil microbial diversity and the sustainability of agricultural soils. *Plant and Soil* 170: 75-86.
- KISS, J.; SZENTKIRÁLYI, F.; TÓTH, F.; EDWARDS, C.R.; KÁDÁR, F.; KOZMA, E. (2001): Comparison of Bt and isogenic corn arthropod assemblages. Workshop Poster: Riskassessment methods for genetically modified plants - Current trends and new developments. Czech Republic, 13-15 September 2001.

- KJELLSSON, G.; STRANDBERG, M. (2001): Monitoring and surveillance of genetically modified higher plants - Guidelines for procedures and analysis of environmental effects. 119 S.
- KLAPP, E. (1965): Grünlandvegetation und Standort. Verlag Paul Parey, Berlin. 282 S.
- KLAUSNITZER, B.; KLAUSNITZER, H. (1986): Marienkäfer. 451.
- KLINGMÜLLER, W.; RIEDER, G. (1994): Gentransfer bei Bakterien und Verhalten gentechnisch veränderter Bakterien im Boden und Wasser. A) Konjugativer Transfer gentechnisch veränderter Plasmide, B) Konjugativer Transfer veränderter Plasmide bei Freisetzungssimulation. BMFT. Biologische Sicherheit/Forschung Biotechnologie 3: 83-105.
- KLITZING, F. VON (2000): Konkretisierung des Umweltbeobachtungsprogramms im Rahmen eines Stufenkonzeptes der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. Teilvorhaben 2: Fortschreibung der Dokumentation von Programmen anderer Ressorts. F+E-Vorhaben 299 82 212.
- KLITZING, F. VON; CORSTEN, A.; MISCHKE, A. (1998): Umweltbeobachtungsprogramme des Bundes - Integration der Beobachtungsprogramme anderer Ressorts. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 73/98. 312 S.
- KLÖPPER, W.; RENNER, I.; TAPPESER, B.; ECKELKAMP, C.; DIETRICH, R. (1999): Life cycle assessment genetisch veränderter Produkte als Basis für eine umfassende Beurteilung möglicher Umweltwirkungen. Umweltbundesamt Wien. Monographien 111. 253 S.
- KLUGE, E.; ENZIAN, S.; GUTSCHE, V. (1999): Befallsatlas - Atlas der potentiellen Befallsgefährdung durch wichtige Schadorganismen im Ackerbau Deutschlands. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA). 170 S.
- KNAUER, N. (1993): Ökologie und Landwirtschaft. Situation - Konflikte - Lösungen. 280 S.
- KNETSCH, G.; MATTERN, K. (1998): Die zukünftige Entwicklung von Monitoringkonzepten beim Bund - Theorie und Praxis. EcoSys 77: 129-136.
- KOENIG, R.; BÜTTNER, G. (2000): Untersuchungen über den Einfluss von Zuckerrüben, die Genom-Teile des A-Typs des beet necrotic vein virus (BNYVV) exprimieren, auf Populationen anderer BNYVV-Stämme und anderer Viren. - In: Schiemann, J. (Hrsg.): Biologische Sicherheitsforschung bei Freilandversuchen mit transgenen Organismen und anbaubegleitendes Monitoring, Proceedings zum BMBF-Statusseminar 29.-30. Juni 1999: 31-36.
- KOENIG, R.; LENNEFORS, B.-L. (2000): Molecular analysis of European A, B and P type sources of beet necrotic yellow vein virus and detection of the rare P type in Kazakhstan. Archives of Virology 145: 1561-1570.
- KOENIG, R.; LESEMANN, D.-E.; MAISS, E. (1995): Attempts to detect heteroencapsidations or other non-intended side effects in transgenic sugarbeet expressing the coat protein gene of beet necrotic yellow vein virus (BNYVV). Mitteilungen aus der biologischen Bundesanstalt 309: 31-38.
- KÖHLER, F. (1998): Zur Bestandssituation an Ackerunkräutern lebender Blatt- und Rüsselkäfer in Deutschland (Coleoptera, Chrysomelidae, Curculionidea s.l.). Schriftenreihe der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz 6: 243-254.
- KÖHLER, S.; SCHULTE, G.; SCHWARTZE, P. (2000): Effizienzkontrollen für den Pflegeplan "NSG Posberg". LÖBF-Mitteilungen 2: 27-34.
- KOHL, A.; GRIFFITHS, S.; PALACIOS, N.; TWYMAN, R.M.; VAIN, P.; LAURIE, D.A.; CHRISTOU, P. (1999): Molecular characterization of transforming plasmid rearrangements in transgenic rice reveals a recombination hotspot in the CaMV 35S promoter and confirms the predominance of microhomology mediated recombination. Plant Journal 17: 591-601.
- KÖNIG, H. (1996): Ornithologische Erhebungen im Landschaftsmonitoring - Ein Beitrag zur Datenerhebung für die ökologische Umweltbeobachtung. LÖBF-Mitteilungen 4: 34-38.
- KÖNIG, H. (1997): Ergebnisse des ersten landesweiten Landschaftsmonitoring in 1997. LÖBF-Jahresbericht: 85-87.
- KÖNIG, H. (1999): Die Bedeutung der Vögel als Indikatoren in der Ökologischen Flächenstichprobe (ÖFS, Landschaftsmonitoring). LÖBF-Mitteilungen 4: 79-93.
- KONTKANEN, P. (1950): Quantitative and seasonal studies on the leafhopper fauna of the field stratum on open areas in North Karelia. Annales Zoologici Societatis Zoologicae-Botanicae Fennicae 'Vanamo' 13: 1-91.
- KOSKELLA, J.; STOTZKY, G. (1997): Microbial utilization of free and clay-bound insecticidal toxins from *Bacillus thuringiensis* and their retention of insecticidal activity after incubation with microbes. Applied and Environmental Microbiology 9: 3561-3568.
- KOWARIK, I.; SUKOPP, H. (1986): Unerwartete Auswirkungen neu eingeführter Pflanzenarten. Universitas 41(483): 828-845.
- KRAHMER, U. (1987): EDV- gestütztes Meß- und Auswerteverfahren zur Bestimmung der ungesättigten Wasserleitfähigkeit nach der Verdunstungsmethode. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 150: 392-394.
- KRAUSE, A. (1987): Untersuchungen zur Rolle der Spinnen in Agrarbiotopen. Dissertation. 305 S.

- KREUTZWEISER, D.P.; CAPELL, S.S.; THOMAS, D.R. (1994): Aquatic insects responses to *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* in a forest stream. Canadian Journal of Forest Research 24: 2041-2049.
- KÜBLER-THOMAS, M. (1994): Extensivierung zum Schutz von Ackerwildkräutern. Carlinea 52: 35-44.
- KUGELSCHAFER, K. (1998): Das Hessische Feldhasen-Untersuchungsprogramm 1994-1996. AK Wildbiologie an der Justus-Liebig-Universität Gießen e.V. 40 S.
- LABES, G.; DANNEBERG, G.; SIMON, R. (1999): Abschätzung der Einwirkungen gentechnisch veränderter Kulturpflanzen auf den Boden, vor allem auf die organische Bodensubstanz als Träger der Lebensraumfunktion. Umweltbundesamt. UBA-Texte 34/99. 217 S.
- LABO (AD-HOC AG BODENDAUERBEOBACHTUNG DES STÄNDIGEN AUSSCHUSSES "INFORMATIONSGRUNDLAGEN" DER LABO) (2000): Einrichtung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. In: Rosenkranz, D., Bachmann, G., Einsele, G., Harreß, M. (Hrsg.): Bodenschutz, ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. 32. Lfg. XI/00, Berlin.
- LADD, J.N.; BUTLER, J.H.A. (1972): Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates. Soil Biology and Biochemistry 4: 19-30.
- LAPPE, M.A.; BAILEY, E.B.; CHILDRESS, C.; SETCHELL, K.D.R. (1999): Alterations in clinically important phytoestrogens in genetically modified, herbicide-tolerant soybeans. Journal of Medicinal Food 1
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) (1997): Fließgewässer der Bundesrepublik Deutschland. 1. Empfehlungen für die regelmäßige Untersuchung der Beschaffenheit der Fließgewässer in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland, 2. LAWA-Untersuchungsprogramm in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland.
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) (1998a): Atmosphärische Deposition - Richtlinie für Beobachtung und Auswertung der Niederschlagsbeschaffenheit. 65 S.
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) (1998b): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland - Verfahren für kleine und mittelgroße Fließgewässer, Entwurf.
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) (1998c): Gewässerbewertung, stehende Gewässer - Vorläufige Richtlinie für eine Erstbewertung von natürlich entstandenen Seen nach trophischen Kriterien. Entwürfe vom Januar und August/September.
- LAWA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER) (1999): Gewässerstrukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland - Übersichtsverfahren, Entwurf.
- LBP (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU) (1997): Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) - Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985-1995. Teil I: Einführung, Stoffbestand des Bodens - Nährstoffe, Schadstoffe, Teil II: Stoffeinträge, Stoffausträge, Schwermetall - Bilanzierung verschiedener Betriebstypen, Teil III: Boden: Gefüge, organische Substanz, Bodenorganismen, Vegetation. Schriftenreihe der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau 4/5/6. 253 S.
- LECHNER, M.; HURLE, K.; PETERSEN, J.; KEMER, A. (1996): Untersuchungen mit Basta in Glufosinat-ammonium resistentem Mais - Vegetationsmanagement und Wirkung gegen Unkräuter. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XV: 181-191.
- LEFOL, E.; DANIELOU, V.; DARMENCY, H. (1996): Predicting hybridization between transgenic oilseed rape and wild mustard. Field Crop Research 45: 153-161.
- LFU BW (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN WÜRTTEMBERG) (1994): Signale aus der Natur. 63 S.
- LFU BW (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN WÜRTTEMBERG) & UMWELTBUNDESAMT (1997): Ermittlung atmosphärischer Stoffeinträge in den Boden - Nutzung neuer Sammel- und Nachweisverfahren. Fachgespräch am 27. November 1996.
- LFU SA (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT) (1996): Rote Listen Sachsen-Anhalt. Eine Bilanz. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt. 110 S.
- LFU SA (LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT) (2001): Die Tier- und Pflanzenarten nach Anhang II der Fauna-Flora-Habitatrichtlinie im Land Sachsen-Anhalt. Naturschutz 38: 1-152.
- LFUG (LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEWERBEAUFICHT); ALAND (1997): Planung vernetzter Biotopsysteme. Bereich Bad Dürkheim, Stadt Neustadt. Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland Pfalz; Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. Oppenheim. 297 S.
- LFW (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT) (1999): Der Gewässerkundliche Dienst Bayern. Informationsberichte 3/98. 157 S.
- LIMPENS, H.; MOSTERT, K.; BONGERS, W. (1997): Atlas van de Nederlandse Vleermuizen. 260 S.
- LINDER, C.R. (1998): Potential persistence of transgenes: seed performance of transgenic Canola and wild x Canola hybrids. Ecological Applications 8: 1180-1195.
- LOBENSTEIN, U. (1987): Zur Bedeutung von zwei Halbtrockenrasenflächen im Golmbacher Hügelland/Lkr. Holzminden für die Schmetterlingsfauna. Unveröffentlichtes Gutachten. 48 S.

- LOBENSTEIN, U. (1988): Rote Liste der in Niedersachsen gefährdeten Großschmetterlinge, Stand 1986. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 8: 106-136.
- LOBENSTEIN, U. (1999): Die Schmetterlingsfauna des mittleren Niedersachsens. Unveröffentlicht. Hannover. 35 S mit Anhang.
- LÖBF (LANDESANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, BODENORDNUNG UND FORSTEN NORDRHEIN-WESTFALEN) (1996): Methoden für naturschutzrelevante Freilanduntersuchungen in Nordrhein-Westfalen. 10 S.
- LÖBF (LANDESANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, BODENORDNUNG UND FORSTEN NORDRHEIN-WESTFALEN) (1997): Praxishandbuch Schmetterlingsschutz. LÖBF-Reihe Artenschutz 1. 170-175 S.
- LÖBF (LANDESANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, BODENORDNUNG UND FORSTEN NORDRHEIN-WESTFALEN) (1997/1998): Arbeitsanleitung - Brutvogelkartierung. Unveröffentlichtes Arbeitmaterial.
- LONDO, G. (1975): Dezimalskala für die vegetationskundliche Aufnahme von Dauerquadraten. - In: Schmidt, W. (Hrsg.): Sukzessionsforschung. Berichte des Internationalen Symposiums der IVV: 613-617.
- LORENZ, M.G.; WACKERNAGEL, W. (1994): Bacterial gene transfer by natural genetic transformation in the environment. Microbiological Reviews 58: 563-602.
- LOSEY, J.E.; RAYOR, L.S.; CARTER, M.E. (1999): Transgenic pollen harms monarch larvae. Nature 399: 214.
- LOUIE, R.; REDINBAUGH, M.G.; GORDON, D.T.; ABT, J.J.; ANDERSON, R.J. (2000): Maize necrotic streak virus, a new Maize virus with similarity to species of the family Tombusviridae. Plant Disease 84: 1133-1139.
- LÖVEL, G.L.; BROODSGÅRD, H.F.; FELKL, G.; HANSEN, L.M.; NIELSEN, S.A.; PEDERSEN, B.P.; NIELSEN, I.W. (2001): The possible effect of transgenic plants on natural biological control. Workshop Vortrag: Riskassessment methods for genetically modified plants - Current trends and new developments. Czech Republic, 13-15 September 2001.
- LUA NRW (LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN) (2000): Gewässergütebericht 2000 - 30 Jahre Biologische Gewässerüberwachung in NRW. Sonderbericht. 346 S.
- LUCKWALD, G., VON (1992a): Pflege- und Entwicklungsplan Naturschutzgebiet "Holzbergwiesen" Teil I - Bestandsaufnahme, Bewertung, Zielkonzept. Hameln. 148 S.
- LUCKWALD, G., VON (1992b): NSG "Hellental" HA-149. Unveröffentlichtes Gutachten. Hameln. 8 S.
- LUCKWALD, G., VON (1998): Dauerprobeflächenkartierung im NSG "Im Heidsieke" mit Fortschreibung der Pflegehinweise. Unveröffentlichtes Gutachten. Helpensen. 14 S.
- LUNG (LANDESAMT FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND GEOLOGIE) (2001): Gewässergütebericht 1998/1999. 106 S. + CD.
- LUTMAN, P.J.W. (1993): The occurrence and persistence of volunteer oilseed rape (*Brassica napus*). Aspects of Applied Biology 35: 29-43.
- LUTZ, K. (1999): Darstellung von Monitoring-Programmen für Pflanzen, Tiere und Biotoptypen anderer Bundesländer und anderer mit Deutschland ökologisch vergleichbarer Staaten. Ministerium für Natur, Umwelt und Forsten des Landes Schleswig-Holstein. 129 S.
- LWF (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD- UND FORSTWIRTSCHAFT) (1995): Waldboden-Dauerbeobachtungsprogramm in Bayern. 80 S.
- MAHN, E.-G. (1994): Zu den Auswirkungen der Einführung herbizidresistenter Kulturpflanzen auf Ökosysteme. Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz 10. 71 S.
- MAISS, E.; KOENIG, R.; LESEMAN, D.-E. (1994): Heterologous encapsidation of viruses in transgenic plants and mixed infections. - In: Jones, D.D. (ed.): Proceedings of the 3<sup>rd</sup> international symposium on the biosafety results of field tests of genetically modified plants and microorganisms, Monterey CA. University of California: 129-139.
- MALKOMES, H.-P. (1988): Einfluß von Glufosinat-Ammonium (Basta) und Glyphosat (Roundup) auf Bodenmikroorganismen und deren Aktivität. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft 11: 277-286.
- MÄNNER, K. (2000): Haltbarkeit von pflanzlichen Verbreitungseinheiten nach Magen-Darm-Passage. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 19/00. 114 S.
- MATTHEIS, A.; OTTE, A. (1994): Ergebnisse der Erfolgskontrollen zum "Ackerrandstreifenprogramm" im Regierungsbezirk Oberbayern 1985-1991. Aus Liebe zur Natur, Schriftenr. Stiftung zum Schutz gefährdeter Pflanzen 5: 56-71.
- MAYER, M.; WURZ, A.; JÜLICH, R.; ROLLER, G.; TAPPESER, B. (1995): Anforderungen an die Überwachung von Freisetzungen gentechnisch veränderter Pflanzen und Mikroorganismen als Landesaufgabe im Rahmen des Vollzugs des Gentechnikgesetzes. Öko-Institut e.V. 125 S.
- MBLU (MINISTERIUM FÜR BAU, LANDESENTWICKLUNG UND UMWELT MECKLENBURG-VORPOMMERN) (1997): Umweltbericht 1997. 166 S.
- MEESE, E.; MENZEL, A. (1995): Genisolierung. 131 S.

- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. (1960): Iron Oxide Removal from Soils and Clays by a Dithionit- Citrat-System, buffered with Na- Bicarbonates.- Clay and Clay Minerals, 7. Washington D.C.
- MEINIG, H. (1995): Artenzusammensetzung und Aktivität von Kleinsäugergemeinschaften auf intensiv und extensiv genutzten Maisäckern sowie Maisackerbrachen des West-Münsterlandes nach Ergebnissen aus Barberfallenfängen. - In: Stubbe, M.; Stubbe, A.; Heidecke, D. (Hrsg.): Methoden feldökologischer Säugetierforschung, Bd. 1. Wissenschaftliche Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg: 303-310.
- MEINIG, H. (1996): Differenzierte Standortbewertung durch Kleinsäuger-Bestandsaufnahmen. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 46: 35-44.
- MEISSNER, A. (1997): Überwinterungsstrategien von Kurzflügel- und Laufkäfern (Coleoptera: Staphylinidae, Carabidae) in einem Niedermoor mit Überflutungen im Winter. Arbeitsberichte. Landschaftsökologie Münster 18: 115-131.
- MEIWES, K.J.; HAUHS, M.; GERKE, H.; ASCHE, N.; MATZNER, E.; LAMERSDORF, N. (1984): Die Erfassung des Stoffkreislaufs in Waldökosystemen- Konzept und Methodik. Berichte des Forschungszentrum Waldökosysteme, Göttingen 7: 70-142.
- MELBER, A. (1999): Rote Liste der in Niedersachsen und Bremen gefährdeten Wanzen mit Gesamtartenverzeichnis. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 19-5.
- MELF (MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN) (1995): Abschlussbericht zum Wildmonitoring gem. Erl. des ML vom 27.7.1993 (MBI.LSA Nr.4/1994, S. 149). Unveröffentlicht. 10 S.
- MELFF (MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT FORSTEN UND FISCHEREI) (2000a): Jagdbericht für Mecklenburg-Vorpommern, Jagdjahr 1999/2000. 52 S.
- MELFF (MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT FORSTEN UND FISCHEREI) (2000b): Kontrolle der Populationsentwicklung des Rotfuchses auf der Insel Rügen. Unveröffentlicht. 9 S.
- MENZEL, G.; MATHES, K. (1999): Risikobewertung und Monitoring der Umwelteffekte gentechnisch veränderter Nutzpflanzen - Untersuchungen zum vertikalen Gentransfer bei *Brassica napus* L. (Raps). Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 8: 157-162.
- MERTES, G.; SCHÄFER, T.; SCHILD, T.A.; SCHMIDT, G.; SCHUSTER, D.; VON STEIN, J. (1997): Automatische genetische Analyse. 234 S.
- METZ, P.L.J. (1997): To be or not to be biosafe - An evaluation of transgenic phosphinothricin-tolerant oilseed rape (*Brassica napus* L.). Dissertation. 107 S.
- METZ, P.L.J.; STIEKEMA, W.J. (1998): A transgene-centered approach to the biosafety of transgenic phosphinothricin-tolerant plants. Molecular Breeding 4: 335-341.
- MEYER, H.; WOLTERS, V. (1998): Ökologische Auswirkungen des Einsatzes von Totalherbiziden in herbizidresistenten transgenen Kulturen. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie 28: 337-344.
- MEYER, P.; LINN, F.; HEIDMANN, I.; MEYER Z.A.H.; NIEDENHOF, I.; SAEDLER, H. (1992): Endogenous and environmental factors influence 35S promoter methylation of a maize A1 gene construct in transgenic petunia and its colour phenotype. Molecular & General Genetics 231: 345-352.
- MEYER, R.; REVERMANN, C.; SAUTER, A. (1998): Biologische Vielfalt in Gefahr? - Gentechnik in der Pflanzenzüchtung. Studien des Büros für Technikfolgenabschätzungen beim Deutschen Bundestag 6. 308 S.
- MEYNEN, E.; SCHMITTHÜSEN, J.; GELLERT, J.; NEEF, E.; MÜLLER-MINY, H.; SCHULTZE, J.H. (1953-1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung.
- MIKKELSEN, T.R.; ANDERSEN, B.; JØRGENSEN, R.B. (1996): The risk of crop transgene spread. Nature 380: 31.
- MILFN (HESSISCHES MINISTERIUM DES INNEREN UND FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN UND NATURSCHUTZ) (1994): Hessische Artenkartierung. 74 S.
- MILFN (HESSISCHES MINISTERIUM DES INNEREN UND FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN UND NATURSCHUTZ) (1996): Lebensraum Grünland. Wiesbaden. 96 S.
- MILFN (HESSISCHES MINISTERIUM DES INNEREN UND FÜR DIE LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN UND NATURSCHUTZ) (1998): Biomonitoring in der Region Biebesheim. Teil B. 55 S.
- MILLER, P.D. (1985): Maize pollen: collection and enzymology. - In: Sheridan, W.F. (ed.): Maize for biological research. A special publication of the plant molecular biology association. 279-282.
- MINISTERIE VAN VOLKSHUISVESTING RUIMTELIJKE ORDERING MILIEUBEHEER (2001): [www2.minvrom.nl/ggo/im\\_markt\\_ljst.html](http://www2.minvrom.nl/ggo/im_markt_ljst.html) (Januar 2001)
- MITTEN, D.; REDINBAUGH, K.; LINDEMANN, J. (1996): Evaluation of gene transfer from transgenic plants. - In: Schmidt, E.R.; Hankeln, T. (eds.): Transgenic organisms and biosafety, horizontal gene transfer, stability of DNA and expression of transgenes. 95-100.
- MLF (MINISTER FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN) (1986): Belastungen beim Rehwild. Die kleine Hessen-Biothek. 21 S.



- MLWLFN (HESSISCHES MINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG, WOHNEN, LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN UND NATURSCHUTZ) (1992): Ackerrand als Lebensraum. Wiesbaden. 54 S.
- MOYES, C.L.; LILLEY, J.; CASAIS, C.; DALE, P.J. (1999): Gene flow from oilseed rape to *Sinapis arvensis*: variation at the population level. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. Symposium Proceedings 72: 143-148.
- MRLU (MINISTERIUM FÜR RAUMORDNUNG, LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT DES LANDES SACHSEN-ANHALT) (2000): Bericht zur Lage der Land-, Ernährungs- und Forstwirtschaft des Landes Sachsen-Anhalt 2000. 167 S.
- MÜHLE, E.; WETZEL, T.; FRAUENSTEIN, K.; FUCHS, E. (1983): Praktikum zur Biologie und Diagnostik der Krankheitserreger und Schädlinge unserer Kulturpflanzen. 3. Aufl. 223 S.
- MÜHLHOFER, G. (1999): Tagfalter. - In: Vereinigung Umweltwissenschaftlicher Berufsverbände (VUBD) (Hrsg.): Handbuch landschaftsökologischer Leistungen - Empfehlungen zur aufwandsbezogenen Honorarermittlung. 248-255.
- MÜLLER C. (1998): 10 Jahre Boden-Dauerbeobachtungsflächen – Zwischenbilanz und Ausblick. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 87: 303-306.
- MÜLLER, W. (2001): Handbuch zu Monitoring und Resistenzmanagement für Bt-Mais. Umweltbundesamt. Monographien 144. 64 S.
- MÜLLER, H.J.; BÄHRMANN, R.; HEINRICH, W.; MARSTALLER, R.; SCHÄLLER, G.; WITSACK, W. (1978): Zur Strukturanalyse der epigäischen Arthropodenfauna einer Rasenkatena durch Käscherfänge. Zoologisches Jahrbuch der Systematik 105: 131-184.
- MUNR (MINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND RAUMORDNUNG DES LANDES BRANDENBURG) (1997): "Herpetofauna 2000" - Artenschutzprojekt. 19 S.
- MURMANN-KRISTEN, L. (1991): Vitalitätsuntersuchungen in der Krautschicht von Wäldern. Beihefte zu den Veröffentlichungen der Landesstelle für Naturschutz und Landschaftspflege Baden-Württemberg. 64: 87-96.
- MUV BW (MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG) (2000): Umweltdaten 2000. 256 S.
- NABU RHEINLAND-PFALZ (2000): Pflanzen und Tiere in Rheinland-Pfalz. Berichtsjahr 1999. 260 S.
- NEEMANN, W. (1991): Bestimmung des Bodenerodierbarkeitsfaktors für winderosionsgefährdete Böden Norddeutschlands. Geologisches Jahrbuch 25. 131 S.
- NEEMANN, G.; SCHERWAB, R. (1999): Materialien für ein Konzept zum Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 52/99. 245 S.
- NEEMANN, W.; SCHÄFER, W.; KUNTZE, H. (1991): Bodenverluste durch Winderosion in Norddeutschland - Erste Qualifizierungen. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung 32: 180-190.
- NEUROTH, B. (1997): Kompendium der für Freisetzungen relevanten Pflanzen - Solanaceae, Poaceae, Leguminosae. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 62/97. 341 S.
- NEWTON, C.R.; GRAHAM, A. (1994): PCR. 206 S.
- NEZADAL, W. (1975): Ackerunkrautgesellschaften Ostbayerns. Hoppea. Denkschrift der Regensburger Botanischen Gesellschaft 34: 17-149.
- NICHOLL, D.S.T. (1994): Gentechnische Arbeitsmethoden. 170 S.
- NIELSEN, K.M.; GEBHARD, F.; SMALLA, K.; BONES, A.M.; VAN ELSAS, J.D. (1997): Evaluation of possible horizontal gene transfer from transgenic plants to the soil bacterium *Acinetobacter calcoaceticus* BD413. Theoretical and Applied Genetics 95: 815-821.
- NIELSEN, K.M.; BONES, A.M.; SMALLA, K.; VAN ELSAS, J.D. (1998): Horizontal gene transfer from transgenic plants to terrestrial bacteria - A rare event? FEMS Microbiology reviews 22: 79-103.
- NLFb (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG) (1997): Das Bodendauerbeobachtungsprogramm in Niedersachsen - Methodik und Ergebnisse 2. 122 S.
- NORRIS, C.E.; SIMPSON, E.C.; SWEET, J.B.; THOMAS, J.E. (1999) Monitoring weediness and persistence of genetically modified oilseed rape (*Brassica napus*) in the UK. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. Symposium Proceedings 72: 255-260.
- NYFFELER, M.; BENZ, G. (1979): Zur ökologischen Bedeutung der Spinnen in der Vegetationsschicht von Getreide- und Rapsfeldern bei Zürich (Schweiz). Zeitschrift für angewandte Entomologie 87: 348-376.
- OBERDORFER, E. (1990): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. 6. Aufl. 1050 S.
- OBRYCKI, J.J.; LOSEY, J.E.; TAYLOR, O.R.; JESSE, L.C.H. (2001): Transgenic insecticidal corn: beyond insecticidal toxicity to ecological complexity. BioScience 51: 353-361.
- Oeko-INSTITUT (1999): Protokoll der 3. Akteurskonferenz zum Thema "Vegetationskontrolle im Gleisbereich". [www.oeko-institut.org/indexb.html](http://www.oeko-institut.org/indexb.html)
- OELZE, M.; SCHULZ-STERMBERG, R. (1998): Der Aufbau der Integrierenden Ökologischen Dauerbeobachtung in Brandenburg (IÖDB) - Ein Konzept für eine ökosystemare Umweltbeobachtung. Landesumweltamt (LUA)-Bericht: 122-125.

- OESAU, A. (1998): Ackerwildkräuter in Rheinland-Pfalz erhalten und fördern. Pollichia-Buch 36. 139 S.
- OHNESORGE, B. (1991): Tiere als Pflanzenschädlinge: Ökologische Grundlagen des Schädlingsbefalls an Kulturpflanzen. 2. Aufl. 336 S.
- OHNESORGE, F.K. (1994): Nutzpflanzen mit künstlicher Herbizidresistenz: Verbessert sich die Rückstandssituation? Toxikologische Aspekte. Gutachten erstellt im Auftrag der Abteilung "Normenbildung und Umwelt", des Wissenschaftszentrums Berlin für Sozialforschung 1993. Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz 6. Berlin.
- ORR, D.B.; LANDIS, D.A. (1997): Oviposition of European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) and impact of natural enemy populations in transgenic versus isogenic corn. *Journal of Economic Entomology* 90: 905-909.
- ORSON, J. (2002): Gene stacking in herbicide tolerant oilseed rape: lessons from North American experience. *English Nature Research Reports* 443. 17 S.
- PAGET, E.; SIMONET, P. (1994): On the track of natural transformation in soil. *FEMS Microbiology Ecology* 15: 109-118.
- PAOLETTI, M.G. (2001): Invertebrate bioindicators of the detritus foodweb as potential indicators of interaction in soils under engineered crops. Vortrag auf dem Workshop: Riskassessment methods for genetically modified plants - Current trends and new developments. Czech Republic, 13-15 September 2001.
- PARMELEE, R.W.; BOHLEN, P.J.; BLAIR, J.M. (1998): Earthworms and nutrient cycle processes integrating across the ecological hierarchy. - In: Edwards, C.A. (ed.): *Earthworm Ecology*. 123-143.
- PASCHER, K.; MACALKA-KAMPFER, S.; REINER, H. (2000): Vegetationsökologische und genetische Grundlagen für die Risiko-Beurteilung von Freisetzungen von transgenem Raps und Vorschläge für ein Monitoring. Bundesministerium für soziale Sicherheit und Generationen, Sektion IX. Forschungsberichte. 153 S.
- PEGEL, M. (1986): Der Feldhase (*Lepus europaeus* PALLAS) im Beziehungsgefüge seiner Um- und Mitweltfaktoren. Schriftenreihe des Arbeitskreises Wildbiologie und Jagdwissenschaften an der Justus-Liebig-Universität Gießen 16. 224 S.
- PEGEL, M. (1987): Das Rebhuhn (*Perdix perdix* L.) im Beziehungsgefüge seiner Um- und Mitweltfaktoren. Schriftenreihe des Arbeitskreises Wildbiologie und Jagdwissenschaften an der Justus-Liebig-Universität Gießen 18. 198 S.
- PEKRUN, C.; HEWITT, J.D.J.; LUTMAN, P.J.W. (1998a): Cultural control of volunteer oil seed rape (*Brassica napus*). *Journal of Agricultural Science* 130: 155-163.
- PEKRUN, C.; LUTMAN, P.J.W.; BAEUMER, K. (1998b): Research on volunteer rape: a review. *Pflanzenbauwissenschaften* 2: 84-90.
- PEKRUN, C.; RIFFEL, H.; ALBERTINI, A.; LUTMAN, P.J.W.; CLAUPEIN, W. (1998c): Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Ausbildung einer Samenbank bei Raps - Ergebnisse von sechs Standorten in England und einem in Österreich im Jahre 1997. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 11: 51-52.
- PELLMANN, H.; REIBER, W.; THEOPHILOU, S.; SCHLEGEL, M. (1998): Begleitforschung zu Freisetzungen gentechnisch veränderter Pflanzen in Sachsen. *Bundesgesundheitsblatt* 12: 552-559.
- PESEL, F.D.; LECOMTE, J.; EMERIAU, V.; KROUTI, M.; MESSEAN, A.; GOUYON, P.H. (2001): Persistence of oilseed rape (*Brassica napus* L.) outside of cultivated fields. *Theoretical and Applied Genetics* 102: 841-846.
- PETERSEN, J.; HURLE, K. (1998): Einführung von herbizidresistenten Sorten: Konsequenzen für die Unkrautbekämpfung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Sonderheft XVI*: 365-372.
- PEUSER, S. (1987): Zur Situation der Tagfalter (Papilionidea und Hesperidea) auf Wacholderheiden in der nördlichen Frankenalb. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz 77: 171-176.
- PFADENHAUER, J.; POSCHLOD, P.; BUCHWALD, R. (1986): Überlegungen zu einem Konzept geobotanischer Dauerbeobachtungsflächen für Bayern. Teil I. Methodik der Anlage und Aufnahme. *Berichte der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege* 10: 41-60.
- PFEILSTETTER, E.; MATZK, A.; SCHIEMANN, J.; FELDMANN, S.D. (2000): Untersuchungen zum Auskreuzungsverhalten von Liberty-tolerantem Winterraps auf nicht-transgenen Raps. - In: Schiemann, J. (Hrsg.): *Biologische Sicherheit*. 175-183 S.
- PILCHER, C.D. (1999): Phenological, physiological, and ecological influences of transgenic Bt corn on European corn borer management. Dissertation. Iowa State University, USA.
- PILOTEK, D. (1987): Veränderung der Segetalgesellschaften im mittleren und südlichen Einzugsgebiet der Regnitz. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Universität Erlangen. 141 S.
- PILOTEK, D. (1990): Veränderungen der Ackerwildkrautvegetation (Klasse Stellarietea mediae) in Nordbayern. Dissertation Erlangen. 184 S.
- PILOTEK, D. (1994): Ergebnisse des Ackerwildkrautschutzes in Nordbayern. Schriftenreihe zum Schutz gefährdeter Pflanzen 5: 47-55.

- PLAGGE, R. (1991): Bestimmung der ungesättigten hydraulischen Leitfähigkeit im Boden. *Bodenökologie und Bodengenese* 3.
- PODLOUCKY, R.; FISCHER, C. (1994): Rote Listen der gefährdeten Amphibien und Reptilien in Niedersachsen und Bremen. 3. Fassung, Stand 1994. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen. 14: 109-120.
- POHL-ORF, M.; BRAND, U.; SCHUPHAN, I.; BARTSCH, D. (1998): Untersuchungen zur Verbreitung von Fremdgenen in gentechnisch veränderten Pflanzen der Art *Beta vulgaris* L. - Monitoring in Agrar- und Küstenökosystemen. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 28: 327-336.
- POHL-ORF, M.; BRAND, U.; SCHUPHAN, I.; BARTSCH, D. (1999a): Monitoring the environmental impact of transgenic sugar beet *Beta vulgaris* subsp. *vulgaris altissima* Döll - Are we able to ask the right questions? - In: Ammann, K.; Jacot, Y.; Simonsen, V.; Kjellson, G. (eds.) *Methods for risk assessment of transgenic plants III: Ecological risks and prospects of transgenic plants. Where do we go from here?* 21-26.
- POHL-ORF, M.; BRAND, U.; DRIEBEN, S.; HESSE, P.; LEHNEN, M.; MORAK, C.; MÜCHER, T.; SAEGLITZ, C.; VON SOOSTEN, C.; BARTSCH, D. (1999b): Overwintering of genetically modified sugar beet, *Beta vulgaris* var. *altissima* Döll, as a source for dispersal of transgenic pollen. *Euphytica* 108: 181-186.
- PRESCHER, S.; BÜCHS, W. (1996): Auswirkungen abgestufter Extensivierungsmaßnahmen und selbstbegrünender Dauerbrache im Ackerbau bei Fliegen (Dipteren, Brachycera) als Schaderreger, Prädatoren und Zersetzer. *Mitteilungen an die Biologische Bundesanstalt* 321. 165 S.
- PRETSCHER, P.; KLEIFGES, P. (2000): Die Schmetterlingsdatenbank LEPIDAT des Bundesamtes für Naturschutz (BfN): Grundlage für die Erstellung der Roten Liste gefährdeter Großschmetterlinge Deutschlands. *Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz* 65: 51-70.
- PRÖSE, H. (1987): Kleinschmetterlinge: Wissensstand, Erhebungen und Artenschutzproblematik. Anhang: Artenliste der in Bayern und den angrenzenden Gebieten nachgewiesenen Microlepidoptera (Kleinschmetterlinge). *Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz* 77: 37-102.
- RAMSAY, G.; THOMPSON, C.E.; NELSON, S.; MACKAY, G.R. (1999): Honey bees as vectors of GM oilseed rape pollen. - In: British Crop Protection Council (ed.): *Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. Symposium Proceedings* 72: 209-214.
- RASKIN, R. (1994a): Das Ackerrandstreifenprogramm: tierökologische und agrarökonomische Aspekte. *Aus Liebe zur Natur, Schriftenreihe* 5: 150-158.
- RASKIN, R. (1994b): Die Wirkung pflanzenschutzmittelfreier Ackerrandstreifen auf die Entomofauna von Wintergetreidefeldern und angrenzenden Saumbiotopen. *Berichte aus der Agrarwissenschaft*. 142 S.
- RAYBOULD, A.F. (1995): Wild crops. *Encyclopedia of Environmental Biology* 3: 551-565.
- RAYBOULD, A.F.; GRAY, A.J. (1993): Genetically modified crops and hybridization with wild relatives: a UK perspective. *Journal of Applied Ecology* 30: 199-219.
- READ, M.A.; BALL, J.G. (1999): Control of weeds in genetically modified crops of winter and spring oilseed rape with glufosinate-ammonium in the UK. *Aspects of Applied Biology* 55: 27-33.
- REBHAHN, H. (2000): Das Bayerische Ökoflächenkataster - Stand und Perspektiven. *Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz* 155: 137-140.
- RECK, H.; WALTER, R.; OSINSKI, E.; HEINL, T.; KAULE, G. (1996): Räumlich differenzierte Schutzprioritäten für den Arten- und Biotopschutz in Baden-Württemberg (Zielartenkonzept). Gutachten im Auftrag des Landes Baden-Württemberg, gefördert durch die Stiftung Naturschutzfonds. Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart. 1730 S.
- REICHEL, G.; WILMANN, O. (1973): *Vegetationsgeographie - Praktische Arbeitsweisen*. 210 S.
- REITER, A.S. (1996): *Artenschutzprogramme für Deutschland und die Schweiz*. Umweltbundesamt Wien. UBA 96/130. 74 S.
- RENKEN, W. (1956): Untersuchungen über Winterlager von Insekten. *Schrift für Morphologie und Ökologie der Tiere* 45: 34-106.
- RICHARZ, K. (1999): Mitteilungen der Staatlichen Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland. *Zeitschrift für Vogelkunde und Naturschutz in Hessen - Vogel und Umwelt* 10: 61-78.
- RICHARDS, K.E.; TAMADA, T. (1992): Mapping functions on the multipartite genome of beet necrotic yellow vein virus. *Annual Review of Phytopathology* 30: 291-313.
- RICHARZ, K.; HARBRODT, A.; HORMANN, M.; WERNER, M. (2000): Mitteilungen der Staatlichen Vogelschutzwarte für Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland. *Zeitschrift für Vogelkunde und Naturschutz in Hessen - Vogel und Umwelt* 11: 85-103.
- RÖDEL, W.; FISCHER, R.; HÄNEL, R.; SIEBERS, J. (1999): Analytik von Pflanzenschutzmitteln im Boden. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*. 364 S.
- ROLOFF, A. & BÄRTELS, A. (1996): *Gehölze. Bestimmung, Herkunft und Lebensbereiche*. Stuttgart, Ulmer.
- RÖMBKE, J.; DREHER, P.; BECK, L.; HAMMEL, W.; HUND, K.; KNOCH, H.; KÖRDEL, W.; KRATZ, W.; MOSER, T.; PIEPER, S.; RUF, A.; SPELDA, J.; WOAS, S. (2000): *Bodenbiologische Bodengüte-Klassen*. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 6/00. 276 S.

- ROSENKRANZ, D.; BACHMANN, G.; KÖNIG, W.; EINSELE, G. (Hrsg.) (1988): Bodenschutz. Bd. 1-3.
- RÖVER, M.; ARNDT, N.; POHL-ORF, M. (2000): Analyse der bei Freisetzung von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) durchgeführten Sicherheitsmaßnahmen in Hinblick auf deren Effektivität und Ableitung von Empfehlungen für die künftige Vollzugsarbeit. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 3/00. 258 S.
- RÜCKRIEHM, C.; ROSCHER, S. (1999): Empfehlungen zur Umsetzung der Berichtspflicht gemäß Artikel 17 der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie. Angewandte Landschaftsökologie 22: 1-456.
- RUNZE, K. (2000): Life-Projekt: "Erhaltung und Wiederherstellung des Trebetalmoores in Mecklenburg-Vorpommern, einschließlich vorbereitender Untersuchungen für das Recknitztalmoor". Naturschutzarbeit in Mecklenburg-Vorpommern 43: 23-31.
- RUPPERT, H. (1987): Bestimmung von Schwermetallen im Boden sowie ihr Verhalten beeinflussenden Bodeneigenschaften. Beilagen GLA- Fachbericht 2, München. 11 S.
- SACHS, E.; HEROLD, H.; PLESCHER, A. (Hrsg.) (1991): Wichtige Krankheiten und Schädlinge an Kulturpflanzen in der ehemaligen DDR im Jahre 1990. Mitteilungen an die Biologische Bundesanstalt 268.
- SANDERMANN, H. (1994): Nutzpflanzen mit künstlicher Herbizidresistenz: Verbessert sich die Rückstandssituation? Biochemische Aspekte. Gutachten erstellt im Auftrag der Abteilung "Normenbildung und Umwelt", des Wissenschaftszentrums Berlin für Sozialforschung 1993. Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz 6.
- SANDERMANN, H.; OHNESORGE, F.K. (1994): Nutzpflanzen mit künstlicher Herbizidresistenz: Verbessert sich die Rückstandssituation? - In: van den Daele, W.; Pühler, A.; Sukopp, H. (Hrsg.): Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz. Bd. 6. 152 S.
- SAUTER, A.; MEYER, R. (2000): Risikoabschätzung und Nachzulassungs-Monitoring transgener Pflanzen. Sachstandsbericht. Büro für Technikfolgen-Abschätzungen beim Deutschen Bundestag. TAB-Arbeitsbericht 68. 254 S.
- SAXENA, D.; STOTZKY, G. (2000): Insecticidal toxin from *Bacillus thuringiensis* is released from roots of transgenic Bt corn in vitro and in situ. FEMS Microbiology Ecology 33: 35-39.
- SAXENA, D.; STOTZKY, G. (2001a): *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin released from root exudates and biomass of Bt corn has no apparent effect on earthworms, nematodes, protozoa, bacteria, and fungi in soil. Soil Biology & Biochemistry 33: 1225-1230.
- SAXENA, D.; STOTZKY, G. (2001b): Fate and effects of the insecticidal toxins from *Bacillus thuringiensis*. [www.biotech-info.net/fate\\_effects.htm](http://www.biotech-info.net/fate_effects.htm) 4.
- SAXENA, D.; FLORES, S.; STOTZKY, G. (1999): Insecticidal toxin in root exudates from Bt corn. Nature 402: 480.
- SCHACHERER, A. (1994): Das Ackerwildkrautprogramm - Ergebnisse des Pilotprojektes. Schriftenreihe zum Schutz gefährdeter Pflanzen 5: 72-77.
- SCHÄFERS, C. (1999): Darstellung und vergleichende Bewertung nationaler und internationaler Ansätze zur Klassifizierung der Beschaffenheit von Fließgewässern. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 21/99. 202 S.
- SCHEFFLER, J.A.; DALE, P.J. (1994): Opportunities for gene transfer from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*) to related species. Transgenic Research 3: 263-278.
- SCHEFFLER, J.A.; PARKINSON, R.; DALE, P.J. (1993): Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (*Brassica napus*). Transgenic Research 2: 356-364.
- SCHEURIG, M.; MITTMANN, H.-W.; HAVELKA, P. (1998): Brutvogel-Monitoring Baden-Württemberg 1992-1998. Carlinea, Beiheft 12. 203 S.
- SCHIMMELPFENNIG, R. (1995): Zur Kleinsäugerfauna des Truppenübungsplatzes Döberitz - Ermittlung typischer Theriozönosen - In: Stubbe, M.; Stubbe, A.; Heidecke, D. (Hrsg.): Methoden feldökologischer Säugetierforschung, Bd. 1. Wissenschaftliche Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. 295-302.
- SCHINDLER, U. (1980): Ein Schnellverfahren zur Messung der Wasserleitfähigkeit im teilgesättigten Boden an Stechzylindern. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 24: 1-7.
- SCHINNER, F.; ÖHLINGER, R.; KANDELER, E.; MARGESIN, R. (1993): Bodenbiologische Arbeitsmethoden, 2. Aufl., Berlin, Springer. 389 S.
- SCHITTENHELM, S.; HOEKSTRA, R. (1995): Recommended isolation distances for the field multiplication of diploid tuber-bearing *Solanum* species. Plant Breeding 114: 369-371.
- SCHLICHTING, E.; BLUME, H.-P.; STAHR, K. (1995): Bodenkundliches Praktikum. 2. Aufl.
- SCHLINK, S. (1994): Ökologie der Keimung und Dormanz von Körnerapps (*Brassica napus* L.) und ihre Bedeutung für eine Überdauerung der Samen im Boden. Dissertationes Botanicae 222.
- SCHLÖSSER, E. (1997): Allgemeine Phytopathologie. 2. Aufl. 356 S.

- SCHLÜTER, K.; FÜTTERER, J.; POTRYKUS, I. (1995): "Horizontal" gene transfer from a transgenic potato line to a bacterial pathogen (*Erwinia chrysanthemi*) occurs - if at all - at an extremely low frequency. *Bio/Technology* 13: 1094-1098.
- SCHMIDT, H.; FÖCKLER, F.; HERRMANN, T. (1996): Entwicklung eines Konzepts zur Erfassung, Bewertung und Darstellung der Qualität von Ökosystemen auf der Basis der Ausstattung von Biotopen mit Pflanzen und Tieren - Fortschreibung des Pilotprojekts "Ökologische Flächenstichprobe" (ÖFS). Endbericht. Statistisches Bundesamt Wiesbaden.
- SCHMITZ, G.; BARTSCH, D.; MÜCHER, T. (2000): Ökologische Begleitforschung und Monitoring zum Anbau von transgenem Mais mit Bt-Toxinen: Ermittlung relevanter Nicht-Zielorganismen. Vortrag bei der 30. Jahrestagung der GfÖ, September 2000.
- SCHMÜSER, H. (2002): Wildtierkataster Schleswig-Holstein - Aufbau und Ergebnisse eines Monitoring-Projektes. Artenschutzreport 11. Eingereicht.
- SCHOLTEN, O.E.; LANGE, W. (2000): Breeding for resistance to rhizomania in sugar beet: a review. *Euphytica* 112: 219-231.
- SCHÖNBRODT, R.; SPRETKE, T. (1989): Brutvogelatlas von Halle und Umgebung. Rat der Stadt Halle, Abt. Umweltschutz und Wasserwirtschaft. Gesellschaft für Natur und Umwelt im Kulturbund der DDR, Kreisvorstand Halle. 136 S.
- SCHÖNTHALER, K.; MEYER, U.; POKORNY, D.; REICHENBACH, M.; SCHULLER, D.; WINDHORST, W. (2001): Modellhafte Umsetzung und Konkretisierung der Konzeption für eine ökosystemare Umweltbeobachtung am Beispiel des länderübergreifenden Biosphärenreservates Rhön. F+E-Vorhaben 109 02 076/012. Schlussbericht. 256 S.
- SCHOPPENHORST, A. (1996): Methodik zur Erfassung der Bruterfolge ausgewählter Wiesenbrüter im Bremer Raum im Rahmen eines integrierten Populationsmonitoring. Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz 1: 19-26.
- SCHREY, H.P. (1991): Die Interpretation des Eindringwiderstandes zur flächenhaften Darstellung physikalischer Unterschiede in Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 154: 33-39.
- SCHRÖDER, W.; SCHMIDT, G. (2000): Raumgliederung für die Ökologische Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. *Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie* 12: 236-243.
- SCHRÖDER, W.; SCHMIDT, G. (2001): Defining ecoregions as framework for the assessment of ecological monitoring networks in Germany by means of GIS and classification and regression trees (CART). - In: Gate to environmental and health sciences. [www.ecomed.de/journals/ehs](http://www.ecomed.de/journals/ehs)
- SCHRÖDER, W.; FRÄNZLE, O.; DASCHKEIT, A.; BARTELS, F.; KASKE, A.; KERRINES, A.; SCHMIDT, G.; STECH, C. (1998): Organisation und Methodik eines Bodenmonitorings. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 21/98. 35 S.
- SCHRÖDER, W.; AHRENS, E.; BARTELS, F.; SCHMIDT, B.; SCHMIDT, G. (1999): Entwicklung eines Modells zur Zusammenführung vorhandener Daten von Bund und Ländern zu einem Umweltbeobachtungsprogramm. Bd. 1: Instrumentarium für die Zusammenführung umweltrelevanter Daten verschiedener Meßnetze. Projektbericht, unveröffentlicht. Umweltbundesamt Berlin. 41 S.
- SCHUBOTH, J.; MAHN, E.-G. (1994): Wie veränderlich ist die Diversität von Ackerunkrautzönosen - Ergebnisse 10-jähriger Untersuchungen auf einem Schwarzerdestandort. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Sonderheft XIV*: 25-36.
- SCHULTE, E.; KÄPPEL, O. (Hrsg.) (2000): Nachhaltige Landwirtschaft und grüne Gentechnik - Ergebnisse zum Forschungsprojekt. 145 S.
- SCHUMACHER, W. (1980): Schutz und Erhaltung gefährdeter Ackerwildkräuter durch Integration von landwirtschaftlicher Nutzung und Naturschutz. *Natur und Landschaft* 55: 447-453.
- SCHUMACHER, W. (1994): Zur Effizienz der Schutzmaßnahmen für Ackerbiozönosen - Mit Empfehlungen zur Vereinheitlichung der bisherigen Schutzprogramme. *Aus Liebe zur Natur, Schriftenreihe zum Schutz gefährdeter Pflanzen* 5: 201-217.
- SCHUSTER, C.; DIEPENBROCK, W. (1997): To promote familiarization with and acceptance of crop incorporating transgenic technology in modern agriculture.
- SCHÜTTE, G.; HEIDENREICH, B.; BEUSMANN, V. (1998): Nutzung der Gentechnik im Agrarsektor der USA - Die Diskussion von Versuchsergebnissen und Szenarien zur Biosicherheit. Bd. 1 und 2. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 47/98. 701 S.
- SCHÜTTE, G.; STIRN, S.; BEUSMANN, V. (Hrsg.) (2001): Transgene Nutzpflanzen - Sicherheitsforschung, Risikoabschätzung und Nachgenehmigungs-Monitoring. 247 S.
- SCHWOERBEL, J. (1994): Methoden der Hydrobiologie, Süßwasserbiologie. UTB für Wissenschaft 979. 4. Aufl. 368 S.
- SEBALD, O.; SEYBOLD, S. (1982): Beiträge zur Floristik von Südwestdeutschland VII. Jahreshefte der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg 137: 99-116.
- SETTELE, J.; FELDMANN, R.; REINHARDT, R. (Hrsg.) (1999): Die Tagfalter Deutschlands. 452 S.

- SIMON, H. (1998a): Vergleichende Untersuchungen zur Wanzenfauna (Hemiptera) von Ackerrandstreifen im südlichen Rheinland-Pfalz. Schriftenreihe der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz 6: 237-242.
- SIMON, L. (1998b): Konzeption der wissenschaftlichen Begleituntersuchungen zum Biotopsicherungsprogramm "Ackerrandstreifen" in Rheinland-Pfalz. Schriftenreihe der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz 6: 231-235.
- SIMPSON, E.C.; NORRIS, C.E.; LAW, J.R.; THOMAS, J.E.; SWEET, J.B. (1999): Gene flow in genetically modified herbicide tolerant oilseed rape (*Brassica napus*) in the UK. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. Symposium Proceedings 72: 75-81.
- SKOGSMYR, I. (1994): Gene dispersal from transgenic potatoes to conspecifics: a field trial. Theoretical and Applied Genetics 88: 770-774.
- SMALLA, K. (1995): Horizontal gene transfer from transgenic plants into plant associated microorganisms and soil microorganisms. BATS, Agency of Technology Impacts of the Swiss Priority Programme Biotechnology. Proceedings of the Basel Forum of Biosafety; Safety of transgenic crops - environmental and agricultural considerations. 29-34.
- 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.
- SMITH, G.A. (1980): Sugarbeet. - In: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America. (ed.): Hybridization of crop plants. 601-616.
- SMOLKA, S., WEBER, C. (2000): Pestizide gegen Missmanagement der Deutschen Bahn AG? Pestizid-Brief (September/Oktobre 2000), 2-4. Stace, C.A. (1992): New Flora of the British Isles. Cambridge University Press, Cambridge.
- SNOW, A.A.; JØRGENSEN, R.B. (1999): Fitness costs associated with transgenic glufosinate tolerance introgressed from *Brassica napus ssp oleifera* (oilseed rape) into weedy *Brassica napa*. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. Symposium Proceedings 72: 137-142.
- SOUTHEY, J.F. (1986) Laboratory methods for work with plant and soil nematodes. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Reference Book 402. 202 S.
- SOUTHWOOD, T.R.E. (1978): Ecological methods with particular reference to the study of insect population. 2nd ed. Chapman and Hall, London.
- SOUTHWOOD, T.R.E.; HENDERSON, P.A. (2000): Ecological methods. 3. Aufl. 575 S.
- SPIEB, H.-J.; ULBRICHT, J. (1999): Artenmonitoring als Element der naturschutzorientierten Umweltbeobachtung im Land Mecklenburg-Vorpommern. Naturschutzarbeit in Mecklenburg-Vorpommern 42: 3-11
- SPILLING, E. (1998): Raumnutzung überwinternder Gänse und Schwäne an der Unteren Mittelelbe: Raumbedarf und anthropogene Raumbegrenzung. Dissertation. 135 S.
- SQUIRE, G.; CRAWFORD, J.; RAMSAY, G.; THOMPSON, C.E. (1999): Gene flow at the landscape level. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. Symposium Proceedings 72: 57-64.
- SRU (SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN) (1998): Umweltgutachten 1998 - Erreichtes sichern - Neue Wege gehen. 267-318.
- SSYMANCK, A.; DOCZKAL, D. (1998): Rote Liste der Schwebfliegen (Diptera: Syrphidae). - In: Binot, M.; Bless, R.; Boye, P.; Grutke, H.; Pretscher, P. (Bearb.): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 55: 65-72.
- SSYMANCK, A.; HAUKE, U.; RÜCKRIEHM, C.; SCHRÖDER, E. (1998): Das europäische Schutzgebietssystem Natura 2000. BfN Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG) und der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG). Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 53. 560 S.
- STADT HEILBRONN (1997): Das Ackerrandstreifenprogramm der Stadt Heilbronn. 14 S.
- STATISTISCHES BUNDESAMT; BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2000): Konzepte und Methoden zur Ökologischen Flächenstichprobe - Ebene II: Monitoring von Pflanzen und Tieren. Angewandte Landschaftsökologie 33. 262 S.
- STEINHÄUSER, K.-G.; MIEHE, A. (2001): Monitoring of genetically modified plants (GMPs) - Definition. - In: Miklau, M.; Gaugitsch, H.; Heissenberger, A. (eds.): EU-Workshop: Monitoring of environmental impacts of genetically modified plants. Umweltbundesamt. UBA-Texte 45/01. 62-70 S.
- STEUP, M.; KOCH, A.; LORBERTH, R.; RITTE, G. (1997): Mögliche Veränderungen ökologischer Parameter in transgenen Kartoffelpflanzen mit Veränderungen im Phosphat- und Kohlehydratmetabolismus. Landesumweltamt Brandenburg. Studie, Universität Potsdam. 29 S.
- SUKOPP, U.; SUKOPP, H. (1993): Das Modell der Einführung und Einbürgerung nicht einheimischer Arten. GAIA 2: 267-288.

- SUKOPP, U.; SUKOPP, H. (1997): Ökologische Dauerbeobachtung gentechnisch veränderter Kulturpflanzen. Berichtes des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt.-Halle 3: 53-70.
- SWEET, J.B.; NORRIS, C.E.; SIMPSON, E.; THOMAS, J.E. (1999): Assessing the impact and consequences of the release and commercialisation of genetically modified crops. National Institute of Agricultural Botany, Cambridge, UK. BCPC Symposium Proceedings No. 72: Gene Flow and Agriculture: Relevance for Transgenic Crops.
- SYKORA, W. (1978): Methodische Hinweise zur Kleinsäugerforschung. Abhandlungen und Berichte des Naturkundlichen Museums 'Mauritianum' Altenburg 10: 1-33.
- TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. (1970a): Arylsulphatase activity of soils. Proceedings of the Soil Science Society of America. 34: 225-229.
- TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. (1970b): Factors affecting soil arylsulphatase activity. Proceedings of the Soil Science Society of America 34: 427-429.
- TAMADA, T.; KUSUME, T. (1991): Evidence that the 75K readthrough protein of beet necrotic yellow vein virus RNA-2 is essential for transmission by the fungus *Polymyxa betae*. Journal of General Virology 72: 1497-1504.
- TAPPESE, R.; ECKELKAMP, W.; WEBER, B. (2000): Untersuchungen zu tatsächlich beobachteten Effekten von Freisetzungen gentechnisch veränderter Organismen. Umweltbundesamt Wien.
- TEPFER, M. (2000): Potential risk associated with virus-resistant transgenic plants - setting the stage. - In: Fairbairn, C.; Scoles, G.; McHughen, A. (eds.): The biosafety of genetically modified organisms. 89-90.
- TERRY, C.F.; HARRIS, N. (2001): Event-specific detection of Roundup Ready Soya using two different real time PCR detection chemistries. European Food Research and Technology 213: 425-431.
- TEYCHENEY, P.Y.; TEPFER, M. (1999): Gene flow from virus-resistant transgenic crops to wild relatives. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene Flow and Agriculture: Relevance for transgenic crops. Symposium Proceedings 72: 191-196.
- TEYCHENEY, P.-Y.; AAZIZ, R.; SALÁNKI, K.; BLÁZS, E.; JACQUEMOND, M.; TEPFER, M. (2000): Potential risk associated with recombination in transgenic plants expressing cucumber mosaic virus sequences. - In: Fairbairn, C.; Scoles, G.; McHughen, A. (eds.): The biosafety of genetically modified organisms. 97-104.
- THIELE, H.-U. (1977): Carabid beetles in their environment: a study on habitat selection by adaptations in physiology and behaviour. 369 S.
- THOMPSON, K.; BAKKER, J.P.; BECKER, R.D. (1997): The soil bank of North West Europe: methodology, density and longevity. 276 S.
- THOMPSON, C.E.; SQUIRE, G.; MACKAY, G.R.; BRADSHAW, J.E.; CRAWFORD, J.; RAMSAY, G. (1999): Regional patterns of gene flow and its consequence for GM oilseed rape. - In: British Crop Protection Council (ed.): Gene flow and agriculture - relevance for transgenic crops. Symposium Proceedings 72: 95-100.
- THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT (1999): Bericht zur Entwicklung der Umwelt in Thüringen 1999. Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt. 145 S.
- TIMMONS, A.M.; O'BRIEN, E.T.; CHARTERS, Y.M.; DUBBELS, S.J.; WILKINSON, M.J. (1995): Assessing the risk of wind pollination from fields of genetically modified *Brassica napus* ssp. *oleifera*. Euphytica 85: 417-423.
- TISCHLER, W. (1990): Ökologie der Lebensräume: Meer, Binnengewässer, Naturlandschaft, Kulturlandschaft. 356 S.
- TØMMERÅS, B.A. (2001): Ecological food-web impacts using B.t. plants. Vortrag auf dem Workshop: Riskassessment methods for genetically modified plants - Current trends and new developments. Czech Republic, 13-15 September 2001.
- TRAUTNER, J. (1992): Laufkäfer - Methoden der Bestandsaufnahme und Hinweise für die Auswertung bei Naturschutz- und Eingriffsplanung. - In: Trautner, J. (Hrsg.) Arten- und Biotopschutz in der Planung: Methodische Standards zur Erfassung von Tierartengruppen. 145-162 S.
- TRAXLER, A. (1997): Handbuch des vegetationsökologischen Monitorings - Methoden, Praxis, angewandte Projekte. Teil A: Methoden. Umweltbundesamt Wien. Monographien 89A. 397 S.
- TREU, R.; EMBERLIN, J. (2000): Pollen dispersal in the crops Maize (*Zea mays*), Oil seed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*), Potatoes (*Solanum tuberosum*), Sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*) and Wheat (*Triticum aestivum*). Soil Association from the National Pollen Research Unit. 54 S.
- TREVORS, J.T.; KUIKMAN, P.; WATSON, B. (1994): Transgenic plants and biogeochemical cycles. Molecular Ecology 3: 57-64.
- TURNER, M.G.; GARDNER, R.H. (eds.) (1991): Quantitative methods in landscape ecology. Ecological Studies 82.
- TYNAN, J.L.; WILLIAMS, M.K.; CONER, A.J. (1990): Low frequency of pollen dispersal from a field trial of transgenic potatoes. Journal of Genetics and Breeding 44: 303-306.

- ULRICH, A.; BECKER, R.; HEDTKE, C.; AUGUSTIN, C.; GOTTWALD, R.; HONERMEIER, B.; LENTZCH, 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. Landesumweltamt Brandenburg.
- UMEG (GESELLSCHAFT FÜR UMWELTMESSUNGEN UND UMWELTERHEBUNGEN MBH) (1999): Jahresbericht 1998.
- UMWELTBUNDESAMT (1996a): Langzeitmonitoring von Umwelteffekten transgener Organismen. Arbeitstagung vom 5./6. Oktober 1995. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 58/96. 204 S.
- UMWELTBUNDESAMT (1996b): Umweltprobenbank des Bundes, Jahresbericht 1992/93. UBA-Texte 8/96.
- UMWELTBUNDESAMT (1996c): Umweltprobenbank des Bundes - Verfahrensrichtlinien für Probennahme, Transport, Lagerung und chemische Charakterisierung von Umwelt- und Human-Organproben.
- UMWELTBUNDESAMT (1997): Risikoüberlegungen zu transgenen virusresistenten Pflanzen. UBA-Texte 59/97.
- UMWELTBUNDESAMT (1998a): Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen (GVP). Dokumentation eines Fachgespräches des Umweltbundesamtes am 4./5.6.1999. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 77/98. 179 S.
- UMWELTBUNDESAMT (1998b): Umweltprobenbank des Bundes, Ausgabe 1997. Ergebnisse aus den Jahren 1994 und 1995. Bericht und Anhang. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 14/98.
- UMWELTBUNDESAMT (1999a): Freisetzung transgener Gehölze - Stand, Probleme, Perspektiven. Fachgespräch am 20./21.9.1999, Humboldt-Universität zu Berlin, Tagungsband.. Umweltbundesamt Berlin. UBA-Texte 99/99. 125 S.
- UMWELTBUNDESAMT (1999b): Umweltprobenbank des Bundes. Ausgabe 1999. Ergebnisse aus den Jahren 1996 und 1997. Bericht. UBA-Texte 61/99. 546 S.
- UMWELTBUNDESAMT (2001a): Stand und Entwicklung des Monitoring von genetisch veränderten Organismen. UBA-Texte 60/01.
- UMWELTBUNDESAMT (2001b): Möglichkeiten der länderübergreifenden Auswertung an Standorten der Bodendauerbeobachtung - ausgehend von der Zusammenstellung der Metadaten aus den Ländern. UBA-Texte 22/01. 93 S.
- UMWELTBUNDESAMT (2001c): Monitoring der Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen. Ergebnisse des EU-Workshops am 9./10. November 2000. Umwelt 3: 149-151.
- VAN DEN DAELE, W.; PÜHLER, A.; SUKOPP, H. (1996): Grüne Gentechnik im Widerstreit - Modell einer partizipativen Technikfolgenabschätzung zum Einsatz transgener herbizidresistenter Pflanzen. 321 S.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. (1987): An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*. 19: 703-707.
- VDLUFA (HRSG.) (1991): Methodenbuch I. Die Untersuchung von Böden.
- VEILE, D. (1995): Entwicklung der Flora und Fauna auf mehrjährigen Gras-Kraut-Säumen des Ackerandstreifenprogramms der Stadt Heilbronn. Unveröffentlichtes Gutachten. 23 S.
- VENCILL, W.K. (1999): Increased susceptibility of glyphosate-resistant soybean to stress (abstract). British Crop Protection Council. The 1999 Brighton Conference – Weeds.
- VENETTE, R.C.; LUHMAN, L.C.; HUTCHISON, W.D. (2000): Survivorship of field-collected european corn borer (*Lepidoptera: Crambidae*) larvae and its impact on estimates of resistance to *Bacillus thuringiensis* Berliner. *Journal of Entomological Science* 35: 208-212.
- VIGOUROUX, Y.; DARMENCY, H. (1999): Gene flow and agriculture - Relevance for transgenic crops. British Crop Protection Council. Symposium Proceedings 72: 83-100.
- VILLIGER, M. (1999): Effekte transgener insektenresistenter Bt-Kulturpflanzen auf Nichtzielorganismen am Beispiel der Schmetterlinge. WWF Schweiz. 51 S.
- VOIGT, U. (2002): Verifizierung von Populationsdaten aus dem niedersächsischen Wildtiererfassungsprogramm am Beispiel von Hase und Rebhuhn. Artenschutzreport 11. Eingereicht.
- WACKERNAGEL, W.; LORENZ, M. (1994): DNA-Entlassung aus Bakterien, DNA-Überdauerung und genetische Transformation im natürlichen Lebensraum. Forschungszentrum Jülich GmbH. Biologische Sicherheit, Bd. 3: 9-34.
- WACKERNAGEL, W.; ROMANOWSKI, G.; LORENZ, M.G. (1992): Studies on gene flux by free bacterial DNA in soil, sediment and groundwater aquifer. - In: Stewart-Tull, D.E.S.; Sussmann, M. (eds.): The release of genetically modified microorganisms. 171-173.
- WARWICK, S.I.; WALL, D.A. (1998): The biology of Canadian weeds. *Canadian Journal of Plant Science* 78: 155-165.
- WATKINSON, A.R.; FRECKLETON, R.P.; ROBINSON, R.A.; SUTHERLAND, W.J. (2000): Predictions of biodiversity response to genetically modified herbicide-tolerant crops. *Science* 289: 1554-1557.
- WEISS, J. (1996): Landesweite Effizienzkontrollen in Naturschutz und Landespflge. *LÖBF-Mitteilungen* 2: 11-16.



- WEISS, J.; KETTRUP, M.; KÖLLER, A.; MICHELS, K.; RAABE, M.; SCHEIBLE, A.; WEBER, I.; WOIKE, M. (1998): Evaluierung des Kulturlandschaftsprogrammes in Nordrhein-Westfalen. LÖBF-Jahresbericht 8.
- WELLING, M. (1988): Auswirkungen von Ackerschonstreifen. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt.
- WENDT, W. (1997): Arten- und Biotopschutzprogramm Sachsen-Anhalt Landschaftsraum Harz. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen Anhalt, Sonderheft 4: 364.
- WESTRICH, P. (1997): Zur Bedeutung des Ackersenfs (*Sinapis arvensis* L.) als Nahrungsquelle von Wildbienen (Hymenoptera, Apidae). Schriftenreihe der Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz 142: 43-58.
- WICKE, G. (1997): Stand des Ackerwildkrautschutzes in Niedersachsen. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 6: 241-244.
- WICKE, G. (1998): Stand der Ackerstreifenprogramme in Deutschland. Schriftenreihe der Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz 6: 55-84.
- WICKE, G. (2000): Effizienzkontrollen auf Ackerrandstreifen in Deutschland - Eine Voraussetzung für die Förderung durch die EU. Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseum Görlitz
- WILKE, B.-M. (1994): Verhalten der Komplementärherbizide im Boden. Gutachten erstellt im Auftrag der Abteilung "Normenbildung und Umwelt, des Wissenschaftszentrums Berlin Sozialforschung 1993. Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz 7.
- WILLMANN, O. (1984): Ökologische Pflanzensoziologie. 3. Aufl. 372 S.
- WITSACK, W. (1975): Eine quantitative Käschermethode zur Erfassung der epigäischen Arthropoden. Entomologische Nachrichten 19: 123-128.
- WITT, K.; BAUER, H.-G.; BERTHOLD, P.; HÜPPOP, O.; KNIEF, W. (1998): Rote Liste der Brutvögel (Aves). - In: Binot, M.; Bless, R.; Boye, P.; Grutke, H.; Pretscher, P. (Bearb.): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 55: 40-47.
- WITTLAND, W.; VORBRÜGGEN, W. (1997): Großflächiges Agrarland. - In: LÖBF (Hrsg.): Praxishandbuch Schmetterlingschutz. LÖBF-Reihe Artenschutz 1: 170-175.
- WOLF, H. (2000): Vögel im Rapsfeld - Müssen die Naturschützer umdenken?  
<http://nature2000.tripod.com/Umwelt/rapsfeld.htm>.
- WOLFF-STRAUB, R.; VERBÜCHLEIN, G.; GENBLER, L.; KÖNIG, H. (1996): Biomonitoring - Ein neu zu gestaltendes Aufgabengebiet der LÖBF. LÖBF-Mitteilungen 4: 12-18.
- WRAIGHT, C.L.; ZANGERL, A.R.; CARROLL, M.J.; BERENBAUM, M.R. (2000): Absence of toxicity of *Bacillus thuringiensis* pollen to black swallowtails under field conditions. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.130202097](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.130202097). PNAS 97(14): 7700-7703.
- ZACHARIAS, D. (1997): Vegetation monitoring: concepts and examples of the practical work of nature conservation in Lower Saxony, a state of the Federal Republic of Germany. Umweltbundesamt. Conference papers/Tagungsberichte. 47-55.
- ZIMMERMANN, P. (1996): Effizienzkontrollen von Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen in Naturschutzgebieten des Landkreises Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg 88: 613-616.
- ZIMMERMANN, P. (1997): Die Naturschutzgebiete im Landkreis Calw (Nordschwarzwald) - Beitrag zur Herpeto-, Heuschrecken- und Libellenfauna. Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg 71/72: 327-377.
- ZIMMERMANN, P.; ROHDE, U. (1989): Auswirkungen von Extensivierungsmaßnahmen auf Ackerwildkrautgesellschaften. Carolea 47: 153-156.
- ZÜGHART, W.; BRECKLING, B.; MIBKAMPF, R.; SCHÖNTHALER, K.; BALLA, S.; WICKE, G.; BRAUNER, R.; TAPPESER, B. (2001): Konzeptionelle Entwicklung eines Langzeitmonitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen. Zwischenbericht des F & E Vorhabens, FKZ 299 89 406, im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, unveröffentlicht. 412 S.
- ZWAHLEN, C.; NENTWIG, W.; HILBECK, A. (2001): Field degradation of transgenic Bt corn in soil. Workshop Vortrag: Riskassessment methods for genetically modified plants - Current trends and new developments. Czech Republic, 13-15 September 2001.