

Standardisierte Erhebungsmethoden für Schmetterlinge (Lepidoptera) im Rahmen eines Monitorings für gentechnisch veränderte Organismen (GVO)

Stand und Perspektiven

A. Lang, H. Seitz, F. Berhorn, S. Brunzel, M. Dolek, S. Erlacher, M. Felke, P. Leopold, A. Schmidt, B. Theißen

Zusammenfassung Im Beitrag wird die aktuelle Richtlinienarbeit des Kompetenzfeldes Biotechnologie, Monitoring der ökologischen Wirkungen gentechnisch veränderter Organismen im VDI, dargestellt. Die Bedeutung der Entwicklung von VDI-Richtlinien für ein GVO-Monitoring wird allgemein erläutert. Im Speziellen werden Stand und Perspektiven der Richtlinienentwicklung für ein GVO-Monitoring von Schmetterlingen (Lepidoptera) beschrieben. Dies beinhaltet eine Erläuterung der indikatorischen Eignung von Schmetterlingen für eine Umweltüberwachung, eine Darstellung der Ziele und Anwendungsbereiche der Richtlinie sowie eine Beschreibung der voraussichtlichen Kernpunkte der Richtlinie.

Standardised methods for moths and butterflies (Lepidoptera) for a monitoring of genetically modified organisms (GMO) – Status quo and future prospects

Abstract The current scope and contents of the development of VDI Guidelines for the monitoring of the ecological effects of genetically modified organisms are described. The general relevance of standardised VDI Guidelines for a GMO monitoring is explained. In particular, the state of the work of monitoring guidelines for butterflies (Lepidoptera) is described with a focus on the suitability of Lepidoptera as environmental indicators, the objectives and operative range of the Guideline, and the anticipated crucial points of the Guideline.

Dr. Andreas Lang,

Umweltgeowissenschaften, Universität Basel, Schweiz.

Dr. Heike Seitz,

Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf.

Frank Berhorn,

Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn.

Dr. Stefan Brunzel,

Forschungszentrum für Gesellschaft und Ökologie e. V., Universität Marburg.

Dr. Matthias Dolek,

Ökologische Forschung und Planung, Bayreuth.

Sven Erlacher,

Zoologische Staatssammlung, München.

Dr. Martin Felke,

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Darmstadt.

Patrick Leopold,

Institut für Landschaftsökologie, Westfälische Wilhelms-Universität Münster.

Dr. Axel Schmidt,

Struktur- und Genehmigungsdirektion (SGD) Nord, Koblenz.

Bernhard Theißen,

Institut für Umweltforschung, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen.

1 Einleitung

Die europäische Richtlinie 2001/18/EG über die absichtliche Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen (GVO) in die Umwelt schreibt ein Monitoring für GVO vor, mit dem u. a. nachteilige Wirkungen von GVO auf die Umwelt erfasst werden sollen [1]. Richtungsweisende Inhalte und Zielsetzungen des GVO-Monitorings sind u. a. im Anhang VII der Richtlinie und der Ratsentscheidung 2002/811/EG [2] weiter ausgeführt und beschrieben und umfassen im Letzteren vor allem die Bereiche Überwachungsstrategie, Überwachungsmethode sowie Analyse, Berichterstattung und Überprüfung eines GVO-Monitorings. Um eine Vergleichbarkeit, Reproduzierbarkeit und Interpretation der gewonnenen Daten eines GVO-Monitorings gewährleisten zu können, ist es erforderlich, erprobte und standardisierte Prüfverfahren einzusetzen. Dieser Notwendigkeit wird in der Ratsentscheidung 2002/811/EG Rechnung getragen: „Eine wirksame Überwachung und allgemeine überwachende Beobachtung erfordern die Entwicklung angemessener Verfahren, die vor Beginn der Durchführung der Überwachungsprogramme zur Verfügung stehen sollen“. Entsprechende Monitoringverfahren müssen daher anwendbar und nachvollziehbar beschrieben werden, z. B. in Form von Richtlinien und konkreten Handlungsanweisungen [3].

Als Grundlage für die Entwicklung eines geeigneten und spezifischen Methodenrepertoires können insbesondere Verfahren genutzt werden, die bereits aus bestehenden Umweltbeobachtungsprogrammen und -konzepten bekannt sind (z. B. [4; 5]). Ein Teil dieser Methoden kann für ein GVO-Monitoring weiterentwickelt werden, so dass sie die gesetzlichen und fachlichen Anforderungen erfüllen. Prüfverfahren sollten standardisiert sein und dem Stand der Wissenschaft (und Technik) genügen [2].

2 VDI-Richtlinien für ein GVO-Monitoring

Obwohl durch die Richtlinie 2001/18/EG [1] ein Monitoring europaweit verbindlich vorgeschrieben ist, sind in den meisten Mitgliedstaaten bislang wenige oder keine Ansätze für eine Methodenentwicklung zu beobachten, so dass zurzeit keine oder nur bedingt geeignete Verfahren für ein GVO-Monitoring zur Verfügung stehen.

In Deutschland hat das Kompetenzfeld Biotechnologie im Verein Deutscher Ingenieure (VDI) und das Bundesamt für Naturschutz (BfN) diesen Mangel im Vollzug des europäischen Rechts erkannt und durch ein Forschungs- und Entwicklungsvorhaben aufgegriffen¹⁾. In dem auf drei Jahre angelegten Projekt wird ein geeignetes Regelwerk spezieller,

¹⁾ „Standardisierung des GVP-Monitorings“, FKZ 804 67 010

auf das GVO-Monitoring abgestimmter Methoden in Form von VDI-Richtlinien entwickelt und standardisiert.

● Richtlinien, die bereits im Gründruck (Entwurf) veröffentlicht worden sind:

VDI 4330: Monitoring der Wirkungen gentechnisch veränderter Organismen (GVO) –

– Blatt 1: Beobachtung ökologischer Wirkungen gentechnisch veränderter Organismen – Grundlagen und Strategie – Gentechnisch veränderte Pflanzen,

– Blatt 5: –; Pollenmonitoring; Technische Pollensammlung mit Pollenmassenfilter (PMF) und Sigma-2-Sammler,

– Blatt 4: –; Bienenvolk als biologischer Pollensammler,

– Blatt 7: –; Qualitative Verfahren zum Nachweis gentechnisch modifizierter Nukleinsäuren in der Umwelt.

● Richtlinien, die zurzeit in Bearbeitung sind:

– Blatt 2: –; Probenahme für ein Pollenmonitoring,

– Blatt 5: –; Probenahme von Pflanzenmaterial für den Nachweis gentechnisch modifizierter Nukleinsäuren in der Umwelt,

– Blatt 6: –; Extraktionsverfahren zum Nachweis gentechnisch modifizierter Nukleinsäuren in der Umwelt,

– Blatt 8: –; Quantitative Verfahren zum Nachweis gentechnisch modifizierter Nukleinsäuren in der Umwelt,

– Blatt 9: –; Vegetationskundliche Aufnahmen,

– Blatt 10: –; Kartierung gentechnisch veränderter Pflanzen,

– Blatt 11: –; Molekulare Ökologie/Böden – ELISA,

– Blatt 12: –; Molekulare Ökologie/Böden – Mikrobielle Gemeinschaften,

– Blatt 13: –; Methodenstandards für Schmetterlinge,

– Blatt 14: –; Wirkungen von GVO auf Bodenorganismen,

– Blatt 15: –; Insektenresistenz-Monitoring für Bt-Mais,

Der aktuelle Stand der VDI-Richtlinien kann im Internet unter www.vdi.de/gvo abgerufen werden.

Die VDI-Richtlinien werden durch ehrenamtlich tätige Fachleute aus Forschung, Verwaltung, Verbänden und Industrie erarbeitet, so dass eine enge Rückkopplung zwischen Ergebnissen der freisetzungsbegleitenden Forschung und den Anforderungen, die sich aus dem Vollzug des Gentechnikrechts ergeben, sichergestellt ist. Das Verfahren der technischen Regelsetzung gewährleistet ein hohes Maß an Transparenz und eine direkte Beteiligung der Öffentlichkeit. Dadurch wird eine hohe Akzeptanz dieser Verfahren erzielt, die dann durch ihren allgemein anerkannten Stellenwert als „Stand der Technik“ angesehen werden. VDI-Richtlinien können als Entscheidungshilfen in der Exekutive dienen und bieten ein gewisses Maß an Rechtssicherheit [6].

Die ökologischen Wirkungen von GVO können grundsätzlich alle Ökosysteme betreffen. Aus diesem Grund ist es wichtig, ein umfangreiches Methodenrepertoire zur Verfügung zu stellen, aus dem je nach ausgebrachtem GVO die geeigneten Methoden für ein Monitoring ausgewählt werden können. Wie schon erwähnt, befinden sich derzeit 15 VDI-Richtlinien in Arbeit, die z. T. bereits als Entwurf (Gründruck) veröffentlicht wurden. Diese Richtlinien decken bislang die Bereiche Expositionserfassung, Probenahmedesign, Analytik (Extraktion und Nachweis transgener DNA, Nachweis von Bt-Proteinen im Boden) sowie floristische und faunistische Methoden zur Erfassung der ökologischen Wirkungen von GVO ab. Dazu zählen die Erfassung der Biodiversität und Kartierungen der Fauna sowie Erhebungen von Bodenorganismen, Schmetterlingen und mikrobiellen Gemeinschaften im Boden. Als erste Arbeitsgruppe für ein faunistisches Monitoring im VDI-Kompetenz-

feld Biotechnologie hat sich der „Fachausschuss Schmetterlinge“ gegründet und mit der Entwicklung einer Richtlinie für standardisierte Erfassungsmethoden für Schmetterlinge begonnen. Der Ausschuss setzt sich zurzeit aus elf Fachleuten aus Universitäten, Forschungsinstituten, Behörden, zoologischen Museen und der Wirtschaft zusammen.

3 Schmetterlinge in der Umweltüberwachung

Mögliche Umweltwirkungen von GVO sind hinsichtlich des Wirkortes im Ökosystem nicht vorhersehbar. Die Vielfalt bereits entwickelter Produkte verdeutlicht, dass sowohl Flora als auch Fauna, epi- und endogäische, terrestrische sowie aquatische Biozönosen einem bestimmten Expositionsrisiko unterliegen können. Ebenso sind die Art und das Ausmaß einer potenziellen Wirkung nicht abzusehen. Direkte Wirkungen über gentechnisch eingebrachte, aktive Substanzen (z. B. Bt-Toxin) sowie indirekte Effekte (Resistenzentwicklung) sind denkbar und in Einzelfällen nachgewiesen. Deshalb ist es u. a. erforderlich, mögliche Veränderungen der Biodiversität von Flora und Fauna anbaubegleitend zu beobachten. Gerade im faunistischen Bereich ist das Artenspektrum, das einem Einfluss von GVO unterliegen kann, sehr umfangreich und könnte nur mit großem Aufwand – wenn überhaupt – insgesamt erfasst werden. Insofern ist es erforderlich, den Fokus zunächst auf besonders geeignete Tiergruppen auszurichten.

Eine Tiergruppe, die für ein Umweltmonitoring von GVO besonders geeignet ist, sind Schmetterlinge, da bereits gezeigt werden konnte, dass verschiedene Schmetterlingsarten durch den Anbau bestimmter gentechnisch veränderter Pflanzen (z. B. herbizidresistenter Raps) oder deren Produkte (z. B. Bt-Mais) direkt oder indirekt negativ beeinflusst werden können (z. B. [7 bis 10]). Schmetterlinge sind in Europa mit vielen Arten vertreten, gut zu bestimmen und nachzuweisen. Die verschiedenen Arten haben unterschiedliche ökologische Ansprüche, weshalb sie vielfältige Änderungen im Ökosystem anzeigen können. Schmetterlinge sind bereits seit längerer Zeit Gegenstand der Umweltbeobachtung, daher ist das Wissen über Faunistik, Ökologie und Gefährdungssituation der einzelnen Arten relativ umfangreich. Durch die hohe Mobilität der adulten Falter (Imagines), die vergleichsweise immobilen Eier, Raupen und Puppen (Praeimaginalstadien) und die oft komplexen Habitatansprüche bilden sie räumlich-funktionale Eigenschaften der Umwelt auf unterschiedlichen Maßstabsebenen ab und sind daher sowohl für eine Bewertung auf Landschaftsebene als auch auf lokaler Ebene gut geeignet. Schließlich genießen Schmetterlinge (und der Schmetterlingsschutz) in der Öffentlichkeit eine hohe Akzeptanz [11].

Aufgrund ihrer besonderen Eignung werden Schmetterlinge seit langem für Umweltbeobachtungen eingesetzt. Ein Schmetterlingsmonitoring kann z. B. langjährige Populationstrends aufdecken [12], aber auch negative Bestandsentwicklungen einzelner Fokusarten erfassen und nachweisen. Insbesondere Änderungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen werden oft (auch) durch Auswirkungen auf die Schmetterlingsfauna indiziert, so z. B. der Einsatz von Bacillus-thuringiensis-Spritzpräparaten oder anderer Insektizide (z.B. [13 bis 15]) oder eine intensiviertere landwirtschaftliche Bearbeitungspraxis. Hierbei stehen Schmetterlinge als faunistische Schlüsselgruppe meist auch stellvertretend für weitere Organismengruppen und zeigen somit die Umwelt-

wirkungen auf weitere Tier- und Pflanzenarten an [16]. In Deutschland werden momentan ehrenamtliche Bestandsaufnahmen von Schmetterlingen unter Beteiligung des Umweltforschungszentrums Leipzig (UFZ), des Naturschutzbunds (NABU) und des Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) organisiert und durchgeführt (z. B. [17]). In anderen europäischen Ländern, z. B. in Großbritannien, den Niederlanden und Ungarn, werden solche Monitoringprogramme der Schmetterlingsfauna bereits seit Jahren betrieben.

4 Ziele und Anwendungsbereich

Die Richtlinie VDI 4330, Blatt 13 wird methodische Standards zur Erhebung des Arteninventars sowie der Individuenabundanzen von Schmetterlings-Imagines und Raupen festlegen, die zur Erfüllung der Maßgaben der EU-Richtlinie 2001/18/EG erforderlich sind. Ob ein anbaubegleitendes Monitoring der Schmetterlingsfauna notwendig ist, sollte fallspezifisch in Abhängigkeit vom betroffenen GVO entschieden werden. Hauptziel ist die Beobachtung bedeutsamer Veränderungen im Arteninventar sowie von Abundanzverschiebungen lokaler Schmetterlingsgesellschaften über einen längeren Zeitraum. Die Standardisierung der Erfassungsmethoden gewährleistet ein hohes Maß an Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der aufgenommenen Daten. Die Methoden sollen dabei praktikabel, effizient sowie mit vertretbarem Aufwand durchführbar sein und geeignete Daten für eine statistische Analyse generieren. Ein direkter Beleg von Kausalbeziehungen zwischen GVO-Anbau und Effekten auf die Schmetterlingsgesellschaften wird bei einem allgemeinen Monitoring nicht immer möglich sein. Soweit möglich, sollen Probenahmedesign und Flächenauswahl jedoch die Ableitung von Hypothesen zu Einflüssen der GVO auf die Lepidopterenfauna erlauben, die im Folgenden speziell geprüft werden können. Die Richtlinie soll Lepidopteren in ihrer Gesamtheit behandeln, d. h. Tagfalter, Nachtfalter und Kleinschmetterlinge. Sie beschreibt die erforderlichen Erfassungszeiträume, die im Gelände anzuwendenden Erfassungsmethoden, benennt Fokusarten für eine Raupenerfassung und gibt Empfehlungen zu Flächenauswahl und Design sowie zur Ermittlung des Stichprobenumfangs. Die Anwendung der Richtlinie soll sicherstellen, dass über eine repräsentative Beprobung regionale und überregionale Effekte in verschiedenen relevanten Lebensräumen erfasst werden. Schmetterlinge können im landwirtschaftlichen Bereich sowohl Ziel- als auch Nichtzielorganismen sein. Die Richtlinie stellt zwar Nichtzielorganismen in den Mittelpunkt, die beschriebenen Methoden weisen jedoch ein breites Anwendungsfeld auf und können auch für „Zielorganismen“, d. h. eventuelle „Kulturschädlinge“, eingesetzt werden.

5 Standardisierte Erhebungsmethoden für Schmetterlinge

Die Indikation zur o. g. Zielstellung muss auf mehreren Ebenen erfolgen: für einzelne Arten, einzelne Artengruppen sowie die gesamte Schmetterlingsgesellschaft. Für Einzelarten können Individuenabundanzen, Verbreitung und Fitness – bezüglich Artengruppen –, Arteninventar, Gesamtanzahl der Individuen und deren Häufigkeitsverteilung auf die einzelnen Arten beurteilt werden. Bestimmte Schmetterlingsarten

können im Imaginalstadium sehr mobil sein, wodurch die Aussageschärfe hinsichtlich der Habitatnutzung und des Reproduktionserfolges bei geringer Raumskala sinkt. Daher müssen auch Larvenstadien (Raupen) berücksichtigt werden. Effekte von GVO können anhand von Raupen besser erfasst werden, da diese i. d. R. direkt vom GVO-Anbau betroffen sein werden und eine genauere Lokalisation eines Effektes ermöglichen. Dies wird am Beispiel von transgenen Bt-Maispflanzen deutlich, deren Pollen auf Raupen, nicht aber auf Imagines direkte negative Auswirkungen haben können. Aus Kosten-Nutzen-Erwägungen wird eine auf „Fokusarten“ beschränkte Präimaginalerfassung in Kombination mit einer Imaginalerhebung vorgeschlagen. Bei den Imagines sollen alle Arten aufgenommen werden, bei den Präimaginalerhebungen nur die Raupen der „Fokusarten“. Bei den Imagines sind Aktivitäts-, bei den Präimaginalstadien Individuendichten zu ermitteln. Das Monitoring setzt sich damit aus zwei Säulen zusammen: der Imaginalerhebung (gesamtes Arteninventar) und der Präimaginalerhebung (Fokusarten). Bei der Auswahl der „Fokusarten“ spielt deren Repräsentativität für den Lebensraum, ihre Sensitivität gegenüber GVO-Pflanzen bzw. veränderter Wirtschaftsweise, ihre Nachweisbarkeit sowie ihr Vorkommen in relevanten Teilhabitaten eine vorrangige Rolle.

Es existieren jahrzehntelange wissenschaftliche Erfahrungen, die zur Entwicklung von allgemein anerkannten Erfassungsmethoden geführt haben, welche zur Ermittlung möglicher GVO-bedingter Effekte herangezogen werden können. Die praxiserprobten Methoden für die Erfassung adulter Schmetterlinge basieren auf Abundanzwerten und beinhalten z. B. die Transektmethode, Punkt-Stopp-Zählung oder Fang-Wiederfang-Methode bei Tagfaltern bzw. Lichtfang und Lichtfallen bei Nachfaltern [18 bis 22]. Diese Erfassungsmethoden werden bereits in einigen europäischen Ländern zu einem langjährigen Monitoring von Lepidopteren erfolgreich eingesetzt, z. B. seit 40 Jahren in Ungarn Lichtfang zur Erfassung der Nachtfalterfauna, die Transektmethode im seit 2002 laufenden Biodiversitätsprogramm der Schweiz (www.biodiversitymonitoring.ch) und im seit 1976 bestehenden britischen „UK butterfly monitoring scheme“ (www.bms.ceh.ac.uk), oder Lichtfallen zur Erfassung von Nachfaltern in der britischen „Rothamsted light trap database“ (www.rothamsted.bbsrc.ac.uk/resources/LongTermExperiments.html). Die für die Erfassung der Präimaginalstadien ausgewählten „Fokusarten“ eignen sich für eine halbquantitative Raupenerfassung auf Dauerquadraten bzw. mittels Kescher/Klopfproben.

Die VDI-Richtlinie wird neben der Beschreibung der allfälligen Erfassungsmethoden des Weiteren standardisierte Vorgaben zu folgenden Parametern entwickeln und beschreiben: Erfassungszeitraum, Flächenauswahl (inklusive Referenzflächen), Stichprobendesign, (Anzahl, Frequenz), Datenauswertung, Datenverwaltung und -dokumentation sowie Qualitätssicherung des Monitorings.

6 Ausblick

Mit Beendigung des GVO-Moratoriums in der EU im Jahr 2004 wird mit einem steigenden Anbau von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen zu rechnen sein. Bei transgenem Bt-Mais liegen für das Gebiet der EU bereits Zulassungen für zwei Genkonstrukte vor (Bt176, MON810), und

für eine ganze Reihe von weiteren GVO wurden und werden momentan Anträge auf Zulassungen gestellt (www.transgen.de/zulassung/gvo/). Ein unmittelbarer Handlungsbedarf für die Einrichtung eines Monitorings und die Erstellung standardisierter Erfassungsmethoden liegt daher auf der Hand. Zum jetzigen Zeitpunkt ist bereits die dritte Fassung des Vorentwurfs zur „GVO-Richtlinie Schmetterlinge“ erstellt. Die Planung innerhalb des VDI-Fachausschusses sieht eine Fertigstellung des Gründrucks (Entwurf) für das Jahr 2007 vor. Diskussionsbedarf besteht derzeit noch für die Standardisierung der Flächenauswahl und des Stichprobendesigns. Diese Parameter sind für ein Monitoring äußerst wichtig, da sie die Ergebnisse und Interpretationen einer Umweltbeobachtung maßgeblich beeinflussen.

Sie betreffen nicht nur die Erfassung von Schmetterlingen, sondern die Erhebung jeder weiteren Organismengruppe. Da das GVO-Monitoring europaweiten gesetzlichen Vorgaben unterliegt, sollte angestrebt werden, eine Harmonisierung innerhalb der Mitgliedstaaten zu erzielen. Nur auf diese Weise können die gewonnenen Daten zwischen verschiedenen Ländern und Standorten verglichen und eine europaweite nachvollziehbare Analyse und Dokumentation gewährleistet werden. Daher bemüht sich das VDI-Kompetenzfeld Biotechnologie intensiv darum, die Normung beim europäischen Normungskomitee CEN anzuregen. Ein erstes richtungsweisendes Gespräch mit Vertretern deutschsprachiger Mitgliedstaaten und den Niederlanden hat bereits stattgefunden.

Literatur

- [1] Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. März 2001 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates. ABl. EG Nr. L 106 vom 17. April 2001, S. 1-39.
- [2] Entscheidung des Rates vom 3. Oktober 2002 über Leitlinien zur Ergänzung des Anhangs VII der Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates. ABl. EG Nr. L 280/27 vom 3. Oktober 2002, S. 27-36.
- [3] Nobel, W.; Beismann, H.; Franzaring, J.; Kostka-Rick, R.; Wagner, G.; Erhardt, W.: Standardisierte biologische Messverfahren zur Ermittlung und Bewertung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation) in Deutschland. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 65 (2005) Nr. 11/12, S. 478-484.
- [4] Schönthaler, K.; Meyer, U.; Pokorny, D.; Reichenbach, M.; Schuller, D.; Windhorst, W.: Ökosystemare Umweltbeobachtung. Vom Konzept zur Umsetzung. Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen und Umweltbundesamt. Berlin: Erich Schmidt 2003.
- [5] Umweltprobenbank des Bundes: Verfahrensrichtlinien für Probenahme, Transport, Lagerung und chemische Charakterisierung von Umwelt- und Human-Organproben. Umweltprobenbank des Bundes, Jahresbericht 1992/93. UBA-Texte 8/96. Berlin 1996.
- [6] Berhorn, F.; Seitz, H.; Finck, M.: Methodenstandards für ein Monitoring gentechnisch veränderter Organismen. Natur und Landschaft 80 (2005) Nr. 7, S. 324-327.
- [7] Losey, J. E.; Rayor, L. S.; Carter, M. E.: Transgenic pollen harms monarch larvae. Nature 399 (1999), S. 214.
- [8] Houghton, A. J. et al.: Invertebrate responses to the management of genetically modified herbicide-tolerant and conventional spring crops. II. Within-field epigeal and aerial arthropods. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 358 (2003), S. 1863-1877.
- [9] Roy, D. B. et al.: Invertebrates and vegetation of field margins adjacent to crops to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 358 (2003), S. 1879-1898.
- [10] Dively, G. P.; Rose, R.; Sears, M. K.; Hellmich, R. L.; Stanley-Horn, D. E.; Calvin, D. D.; Russo, J. M.; Anderson, P. L.: Effects on monarch butterfly larvae (Lepidoptera: Danaidae) after continuous exposure to Cry1Ab-expressing corn during anthesis. Environm. Entomol. 33 (2004), S. 1116-1125.
- [11] Brunzel, S.; Plachter, H.: Bewerten mit Tagfaltern im Naturschutz. In: Settele, J.; Feldmann, R.; Reinhardt, R. (Hrsg.): Die Tagfalter Deutschlands, S. 186-213. Stuttgart: Ulmer 1999.
- [12] Pollard, E.; Moss, D.; Yates, T. J.: Population trends of common British butterflies at monitored sites. J. Appl. Ecol. 32 (1995), S. 9-16.
- [13] Miller, J. C.: Field assessment of the effects of microbial pest control agent on non-target Lepidoptera. Amer. Ent. 36 (1990), S. 135-139.
- [14] Johnson, K. S.; Scriber, J. M.; Nitao, J. K.; Smitley, D. R.: Toxicity of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* to three nontarget Lepidoptera in field studies. Environm. Entomol. 24 (1995), S. 288-297.
- [15] Wagner, D. L.; Peacock, J. W.; Carter, J. L.; Talley, S. E.: Field assessment of *Bacillus thuringiensis* on nontarget Lepidoptera. Environm. Entomol. 25 (1996), S. 1444-1454.
- [16] Thomas, J. A.; Telfer, M. G.; Roy, D. B.; Preston, C. D.; Greenwood, J. J. D.; Asher, J.; Fox, R.; Clarke, R. T.; Lawton, J. H.: Comparative losses of British butterflies, birds, and plants and the global extinction crisis. Science 303 (2004), S. 1879-1881.
- [17] Leopold, P.; Vischer-Leopold, M.: Monitoring tagaktiver Schmetterlinge in Nordrhein-Westfalen. LÖBF-Mitt. (2005) Nr. 2, S. 2-7. <http://nrw.nabu.de/downloads/KartieranleitungNRW.pdf>, S. 1-6.
- [18] Hermann, G.: Tagfalter und Widderchen – Methodisches Vorgehen bei Bestandsaufnahmen zu Naturschutz- und Eingriffsplanungen. In: Trautner, J. (Hrsg.): Arten- und Biotopschutz in der Planung: Methodische Standards zur Erfassung von Tierartengruppen, S. 219-238. Weikersheim: Margraf 1992.
- [19] Meier, M.: Nachtfalter – Methoden, Ergebnisse und Problematik des Lichtfanges im Rahmen landschaftsökologischer Untersuchungen. In: Trautner, J. (Hrsg.): Arten- und Biotopschutz in der Planung: Methodische Standards zur Erfassung von Tierartengruppen, S. 203-218. Weikersheim: Margraf 1992.
- [20] Hermann, G.: Methoden der qualitativen Erfassung von Tagfaltern. In: Settele, J.; Feldmann, R.; Reinhardt, R. (Hrsg.): Die Tagfalter Deutschlands, S. 124-143. Stuttgart: Ulmer 1999.
- [21] Mühlhofer, G.: Tagfalter. In: Schlumprecht, H. (Hrsg.): Handbuch landschaftsökologischer Leistungen – Empfehlungen zur aufwandsbezogenen Honorarermittlung, S. 248-257. Veröffentlichungen der Vereinigung umweltwissenschaftlicher Berufsverbände Deutschlands e. V. (VUBD), Bd. 1. Nürnberg: Selbstverlag der VUBD 1999.
- [22] Settele, J.; Feldmann, R.; Henle, K.; Kockelke, K.; Poethke, H.-J.: Methoden der quantitativen Erfassung von Tagfaltern. In: Settele, J.; Feldmann, R.; Reinhardt, R. (Hrsg.): Die Tagfalter Deutschlands, S. 144-185. Stuttgart: Ulmer 1999.