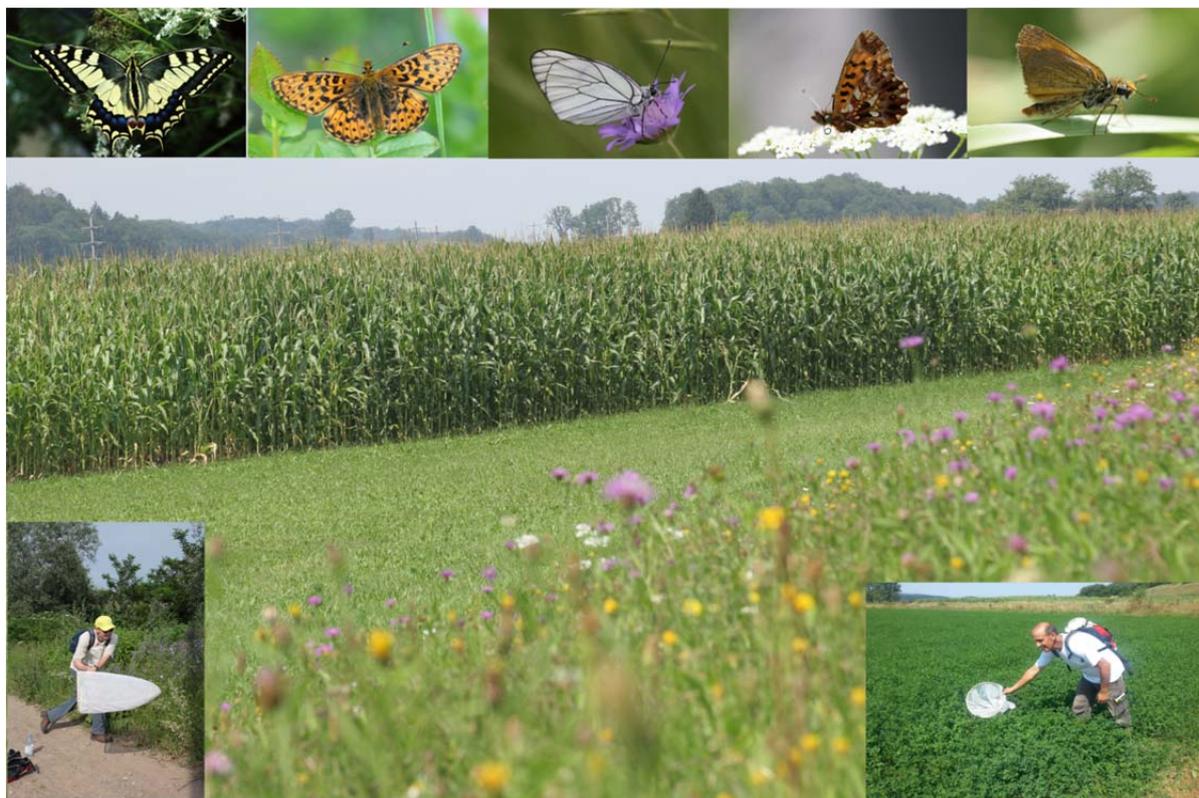


Andreas Lang, Christoph Bühler, Tobias Roth
und Matthias Dolek

Nutzungsmöglichkeiten des Tagfalter- Monitorings Deutschland (TMD) für das Monitoring der Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen

Fachliche Anforderungen an ein GVO-Monitoring von Tagfaltern



Nutzungsmöglichkeiten des Tagfalter-Monitorings Deutschland (TMD) für das Monitoring der Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen

Fachliche Anforderungen an ein GVO-Monitoring von Tagfaltern

**Andreas Lang
Christoph Bühler
Tobias Roth
Matthias Dolek**

Titelbilder: Maisfeld; Bildleiste oben: Tagfalterarten; Bilder links unten u. rechts unten: Schmetterlingserfassung im Feld (Büro Lang)

Adressen der Autoren:

Dr. Andreas Lang Büro Lang
Hörnlehof, Gresgen 108
79669 Zell im Wiesental
E-Mail: lang@biologie.de

Christoph Bühler Hintermann & Weber AG
Dr. Tobias Roth Austrasse 2a
4153 Reinach BL, Schweiz
E-Mail: buehler@hintermannweber.ch

Dr. Matthias Dolek Ökologische Forschung und Planung
Obere Dorfstr. 16
82237 Wörthsee
E-Mail: matthias.dolek@geyer-und-dolek.de

Fachbetreuung im BfN:

Dr. Wiebke Züghart Fachgebiet II 1.3 „Monitoring“

Ergebnis aus dem F+E-Vorhaben: Nutzungsmöglichkeiten des Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD) und der Boden-Dauerbeobachtung der Länder für das GVO-Monitoring
Teilvorhaben I: Schmetterlingserfassung (FKZ 3509-89-0100)

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).

BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter <http://www.bfn.de> heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

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

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des institutionellen Herausgebers unzulässig und strafbar.

Nachdruck, auch in Auszügen, nur mit Genehmigung des BfN.

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-118-4

Bonn - Bad Godesberg 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Ziele des Vorhabens	10
2	Datensätze	11
3	Allgemeines Vorgehen.....	13
4	Empfehlungen zur Transekterfassung	14
5	Technische Details.....	15
6	Analyse von Datenpools.....	29
7	Allgemeine Schlussfolgerungen	31
8	Monitoring-Design.....	33
9	Literatur	39
10	Zusammenfassung.....	42
11	Summary.....	46
12	Supplement.....	49

Inhaltsverzeichnis Supplement

	Supplement I. Habitat und Nutzungskartierung.	49
	Supplement II. Gepaarte und regionalisierte Transekte.	51
	Supplement III. Anzahl Begehungen und Zeitfenster.	54
	Supplement IV. Transektlängen.	72
	Supplement V. Poweranalysen.....	75
	Supplement VI. Erfassungseffizienz.	80
	Supplement VII. Analyse von Artenpools.....	86
	Supplement VIII. Monitoring-Design	95

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.	Schematische Darstellung eines lokalen Monitoring.	11
Abb. 2.	Beispiele für ein 250 m langes Transekt im LANAG und ein 2.5 km langes Transekt im BDM.....	12
Abb. 3.	Beispiel einer Transektstrecke zur Aufnahme von Tagfaltern	12
Abb. 4.	BDM-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung.	15
Abb. 5.	LANAG-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung.	16
Abb. 6.	LANAG-Datensatz: Pearson's Korrelationskoeffizient als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung	17
Abb. 7.	BDM-Datensatz: Pearson's Korrelationskoeffizient als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung.....	17
Abb. 8.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und Zeitfenster.....	18
Abb. 9.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Individuenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster.....	19
Abb. 10.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster. Unterteilung nach Mobilitätsklassen.	19
Abb. 11.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster. Unterteilung nach Häufigkeit der Arten.....	20
Abb. 12.	LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster.....	20
Abb. 13.	Alle Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und beobachteter Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen.....	22
Abb. 14.	Alle Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und Variationskoeffizient der Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen	22
Abb. 15.	Poweranalyse für den Vergleich unabhängiger Stichproben, bei unterschiedlichen Transektlängen (0.25 – 5.0 km)	23
Abb. 16.	Poweranalyse für den Vergleich verbundener (gepaarter) Stichproben, bei unterschiedlichen Transektlängen.	24
Abb. 17.	Zeitlicher Erhebungsaufwand pro Jahr (h) für ein Monitoring aller Arten aufgrund der Berechnung des benötigten Stichprobenumfangs.....	26
Abb. 18.	Potentielle Exposition und Vorkommen von Schmetterlingsraupen während der Saison	30
Abb. 19.	Verschiedene potentielle Analysemöglichkeiten für ein GVO-Monitoring bei mehrjährigen, hypothetischen Datenreihen.....	34
Abb. 20.	Hypothetisches Schema eines GVO-Monitoring..	37

Abbildungsverzeichnis Supplement

Abb. 2.1.	BfN-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung	51
Abb. 2.2.	BDM-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung	51
Abb. 2.3.	Köllitsch-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung.	52
Abb. 2.4.	LANAG-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung	52
Abb. 2.5.	BDM-Datensatz: Pearson's Korrelationskoeffizient als Maß der Ähnlichkeit der Gesamt-Artenzahl der BDM-Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung.....	53
Abb. 2.6.	LANAG-Datensatz: Pearson's Korrelationskoeffizient als Maß der Ähnlichkeit der Gesamt-Artenzahl der BDM-Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung.....	53
Abb. 3.1.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert	57
Abb. 3.2.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Individuenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert.	57
Abb. 3.3.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Mobilitätsklasse	58
Abb. 3.4.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Häufigkeit der Arten.....	58
Abb. 3.5.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Individuenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Häufigkeit der Arten.....	59
Abb. 3.6.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: nur „Offenlandarten“ analysiert.....	59
Abb. 3.7.	BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Häufige „Offenlandarten“.....	60
Abb. 3.8.	BDM. Variationskoeffizient (= Standardabweichung dividiert durch die mittlere Artenzahl) in Abhängigkeit von der Anzahl Begehung	60
Abb. 3.9.	LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert	65
Abb. 3.10.	LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Individuenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert.	66
Abb. 3.11.	LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Mobilitätsklassen	67
Abb. 3.12.	LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Häufigkeit der Arten.....	68

Abb. 3.13. LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Individuenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Häufigkeit der Arten.	69
Abb. 3.14. LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: nur „Offenlandarten“ analysiert.....	70
Abb. 3.15. LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Häufige „Offenlandarten“.....	71
Abb. 4.1. Feldaufnahmen zum Einfluss der Transektlänge auf die Erfassung der Artenzahl..	72
Abb. 4.2. Alle Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und beobachteter Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen.....	73
Abb. 4.3. Alle Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und Variationskoeffizient der Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen	73
Abb. 4.4. Nur stationäre Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und beobachteter Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen	74
Abb. 4.5. Nur stationäre Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und Variationskoeffizient der Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen	74
Abb. 6.1. Zeitlicher Erhebungsaufwand pro Jahr (h) für ein Monitoring aller Arten aufgrund der Berechnung des benötigten Stichprobenumfangs.....	82
Abb. 6.2. Zeitlicher Erhebungsaufwand pro Jahr (h) für ein Monitoring stationärer Arten aufgrund der Berechnung des benötigten Stichprobenumfangs.....	83
Abb. 7.1. Vorkommen von Schmetterlingsraupen während der Saison.....	91
Abb. 8.1. Schematische Darstellung eines lokalen Monitoring, Typ LANAG, und eines überregionalen Landschafts-Monitoring Typ BDM.	95
Abb. 8.2. Vorgeschlagenes Schema für ein GVO-Monitoring.....	95
Abb. 8.3. Verschiedene potentielle Analysemöglichkeiten für ein GVO-Monitoring bei mehrjährigen, hypothetischen Datenreihen.....	96

Tabellenverzeichnis

Tab. 1.	Erfassungsaufwand in Stunden(h) pro Transekt und Jahr bei vier Begehungen pro Saison in Abhängigkeit von der Transektlänge und der Reisezeit.....	25
Tab. 2.	Gesamter zeitlicher Erhebungsaufwand pro Jahr in Stunden (h) bei zeitlich gepaarten Stichproben für „alle Arten“ bei verschiedenen Transektlängen und 4 Begehungen.	28
Tab. 3:	Rahmenbedingungen für das vorgeschlagene GVO-Monitoring.	36

Tabellenverzeichnis Supplement

Tab. 3.1.	Anzahl Begehungen und Auswahl der Zeitfenster für die Simulation der BDM-Daten.....	55
Tab. 3.2.	Anzahl Begehungen und Auswahl der Zeitfenster für die Simulation der LANAG-Daten.....	62
Tab. 5.1.	Poweranalyse für den Vergleich unabhängiger Stichproben	76
Tab. 5.2.	Poweranalyse für den Vergleich gepaarter (verbundener) Stichproben	78
Tab. 6.1.	Erfassungsaufwand in Stunden (h) pro Transekt und Jahr bei vier Begehungen pro Saison in Abhängigkeit von der Transektlänge und der Reisezeit.....	81
Tab. 6.2.	Zeitlicher Erhebungsaufwand pro Jahr (h) für ein Monitoring aller Arten aufgrund der Berechnung des benötigten Stichprobenumfangs.....	84
Tab. 6.3.	Zeitlicher Erhebungsaufwand pro Jahr (h) für ein Monitoring stationärer Arten aufgrund der Berechnung des benötigten Stichprobenumfangs.....	85
Tab 7.1.	Artenliste der Tagfalter, Dickkopffalter und Widderchen im BDM und LANAG mit Einteilung in die verschiedenen Mobilitätsklassen.....	86
Tab. 7.2.	Vorkommen der nachgewiesenen "Tagfalter"-Arten als Jungraupe und Altraupe ...	92

Einleitung

Die Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EC (EC 2001) schreibt die Durchführung eines Monitoring der Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Organismen (GVO) oder deren Verwendung nach Marktzulassung verbindlich vor. Ziel dieser Beobachtung ist es, Wirkungen des GMO und seiner Verwendung auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt frühzeitig zu erkennen, um möglichst schnell darauf reagieren zu können. Das Monitoring nach Marktzulassung muss so gestaltet sein, dass es die Erfassung von direkten und indirekten, sofortigen und späteren sowie langfristig kumulativen und unerwarteten Wirkungen erlaubt. Die Richtlinie sieht zwei Bereiche der Beobachtung vor, das fallspezifische Monitoring (case specific monitoring) und das allgemeine Monitoring (general surveillance). Ersteres dient der Überprüfung der Annahmen der Risikobewertung, letzteres legt den Schwerpunkt auf die Beobachtung von Wirkungen, die in der Risikobewertung nicht prognostiziert wurden.

Schmetterlinge (Lepidoptera) werden häufig als mögliche Beobachtungsgegenstände eines Monitoring von GMO genannt, da sie zum einen als allgemeines Schutzziel anerkannt und akzeptiert sind (BRUNZEL & PLACHTER 1999, ZÜGHART & BRECKLING 2003, SANVIDO et al. 2004, GRAEF et al. 2005) und zum anderen Schmetterlinge durch den Anbau von insektenresistentem Bt-Mais und herbizidtolerantem HT-Mais potentiell gefährdet sind (HAUGHTON et al. 2003, ROY et al. 2003, MUSCHE et al. 2009, LANG & OTTO 2010, PLEASANTS & OBERHAUSER 2013). Im Allgemeinen sind Schmetterlinge (Lepidoptera) gute Umweltindikatoren (POLLARD & YATES 1993, LANG et al. 2006; doch siehe FLEISHMANN & MURPHY (2009) zu einer Kritik). Aus diesem Grund und wegen ihrer guten Erfassbarkeit im Feld werden Schmetterlinge seit langem für Umweltbeobachtungen eingesetzt (ROTH et al. 2008, PEARMAN & WEBER 2007). Hierbei können Schmetterlinge als faunistische Schlüsselgruppe auch stellvertretend für weitere Organismen(gruppen) stehen und somit die Umweltwirkungen auf weitere Tier- und Pflanzenarten anzeigen (THOMAS et al. 2004, THOMAS 2005, VAN SWAAY et al. 2010) und sind daher ein geeignetes Element innerhalb eines Indikatorensets. In einem GMO-Monitoring mit Schmetterlingen lassen sich sowohl Effekte auf die Artenvielfalt in der Normallandschaft (d.h. unabhängig von Schutzgebieten) als auch Effekte auf geschützte und/oder gefährdete Arten überwachen. Weil viele geschützte Lebensräume (insbesondere Grünland-Habitats) sich durch eine artenreiche und spezifische Schmetterlingsfauna auszeichnen, lassen sich mit Schmetterlingen dort Veränderungen anzeigen. Aufgrund der kurzen Generationszeit ist mit Schmetterlingen prinzipiell eine frühzeitige Detektion von (GMO-)Effekten auf die betreffenden Schutzgüter möglich.

Die Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EC (EC 2001) empfiehlt für das allgemeine Monitoring bereits bestehende Messnetze und Beobachtungsprogramme einzubeziehen, sofern diese dafür geeignet sind. Bisher wurde in Deutschland nur der insektenresistente Bt-Mais MON810 und die Amflora Kartoffel kommerziell angebaut. Das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) hat gemeinsam mit dem Antragsteller (Firma Monsanto) für MON810 einen speziellen Monitoringplan ausgearbeitet, der bereits in der Anbausaison 2008 zur Umsetzung kam (MONSANTO 2007). Dieser sah unter anderem die Auswertung der jährlichen Berichte von fünf ausgewählten Beobachtungsprogrammen vor, darunter das Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD), das Vogelmonitoring und die Bodendauerbeobachtung der Länder. Der von Monsanto vorgelegte Monitoringbericht (MONSANTO 2009) zeigte jedoch, dass der praktizierte Ansatz einer Einbindung bestehender Programme in das GMO-Monitoring aus fachlicher Sicht unzureichend ist und deutlicher Verbesserungs-

bedarf besteht. Dies deckt sich mit der Einschätzung, dass die bestehenden allgemeinen Programme zur Schmetterlingserfassung in der Regel nicht oder nur eingeschränkt einsetzbar erscheinen für ein spezielles Umweltmonitoring von GVO (BÜHLER 2006, UFZ 2009). Problematische Aspekte bei der Nutzung des TMD für ein GVO-Monitoring beinhalten unter anderem, dass die TMD-MitarbeiterInnen die Transekte selbst auswählen, dass kaum Transekte entlang von Ackerflächen existieren und dass die Transektlängen und vermutlich auch die Anzahl Begehungen in der Saison sehr variabel sind. Dass im TMD ehrenamtliche MitarbeiterInnen eingesetzt werden, macht es im Vergleich zum Einsatz von professionellem Personal zudem schwieriger, bestimmte methodische und qualitative Standards durchzusetzen. Mit dem Ansatz des TMD lässt sich auch nicht sicherstellen, dass ausreichend Transekte in einer bestimmten Anbauregion liegen (im MON810-Fall zum Beispiel in Teilen von Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern). Darüber hinaus sind die in den TMD-Jahresberichten publizierten Ergebnisse nicht für ein GVO-Monitoring geeignet, da hier nur Summen- und Übersichtswerte präsentiert werden. Daher müsste die Verfügbarkeit der notwendigen TMD-Originaldaten vereinbart werden, aber bisher gibt es keine Bereitschaft sie für die Zwecke eines GVO-Monitoring zur Verfügung zu stellen.

Im vorliegenden Projekt sollten daher grundlegende Analysen durchgeführt werden zu den speziellen Anforderungen an ein GVO-Monitoring von Tagfaltern. Die bestehenden Vorarbeiten und Studien zu den wissenschaftlichen Anforderungen an ein GVO-Monitoring von Schmetterlingen sind begrenzt (LANG 2004, BÜHLER 2006, 2007, VDI 2010). Insbesondere wird nach wie vor der Umfang, der Einsatzbereich und die Realisierbarkeit sowie die methodischen Rahmenbedingungen für ein derartiges GVO-Monitoring von Schmetterlingen diskutiert (LANG 2004, AVIRON et al. 2009, LANG & BÜHLER 2012). Die Leistungsfähigkeit und Umsetzbarkeit eines solchen Monitoring hängt dabei stark vom notwendigen Stichprobenaufwand und somit vom daraus resultierenden finanziellen Aufwand ab, was wiederum von der gewählten Monitoring-strategie beeinflusst wird (LANG & BÜHLER 2012).

1 Ziele des Vorhabens

Das Gesamtziel des Forschungsvorhabens, Teilvorhaben I, ist die Erstellung eines wissenschaftlichen Konzeptes für die Erfassung von Auswirkungen des Anbaus von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) auf Schmetterlinge.

Die abgeleiteten Arbeitsziele sind

(a) Prüfung und Bewertung methodischer und konzeptioneller Varianten der Schmetterlingserfassung und ihrer Leistungsfähigkeit auf der Grundlage bestehender Daten (z.B. BDM Schweiz und LANAG Kanton Aargau).

(b) Erarbeitung und Formulierung von fachlichen Anforderungen an ein aussagekräftiges und wissenschaftlich fundiertes Monitoring der Auswirkungen von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) auf Schmetterlinge sowie Abschätzung der Leistungsfähigkeit dieses Monitorings.

2 Datensätze

Es wurden zwei prinzipiell verschiedene Monitoring-Designs in Betracht gezogen. Es handelt sich um zwei exemplarische Monitoring-Varianten, welche wiederholt für ein GVO-Monitoring von Tagfaltern vorgeschlagen wurden bzw. in allgemeinen Schmetterlingserfassungen praktiziert werden (BÜHLER 2006, 2007, PEARMAN & WEBER 2007, ROTH et al. 2008, VDI 2010). Zum einen ein lokales Monitoring auf relativ kurzen Transekten (≤ 250 m) entlang von einzelnen Anbauflächen und/oder auf landwirtschaftlichen Betrieben, welches örtliche Effekte abbilden soll, und zum anderen ein landschaftsräumliches Monitoring mit langen Transekten (>2 km), welche eine größere räumliche Skala und einen Landschaftsausschnitt repräsentieren (Abb. 1). Die beiden Monitoring-Typen unterscheiden sich also vor allem hinsichtlich der räumlichen Skala, für welche Aussagen möglich sind. Sie schließen sich nicht grundsätzlich gegenseitig aus, sondern könnten auch kombiniert werden (Abb. 1). Diese beiden Monitoring-Typen wurden mit den Daten der Schweizer LANAG-Erfassung (lokales Monitoring) und der BDM-Erfassung (Landschaftsmonitoring) sowie aus Deutschland mit einem Datensatz aus Köllitsch (lokales Monitoring) und einem BfN-Datensatz analysiert (Landschaftsmonitoring). Die Hauptunterschiede zwischen diesen Datensätzen liegen im Wesentlichen in der Transektlänge und der Begehungsfrequenz.

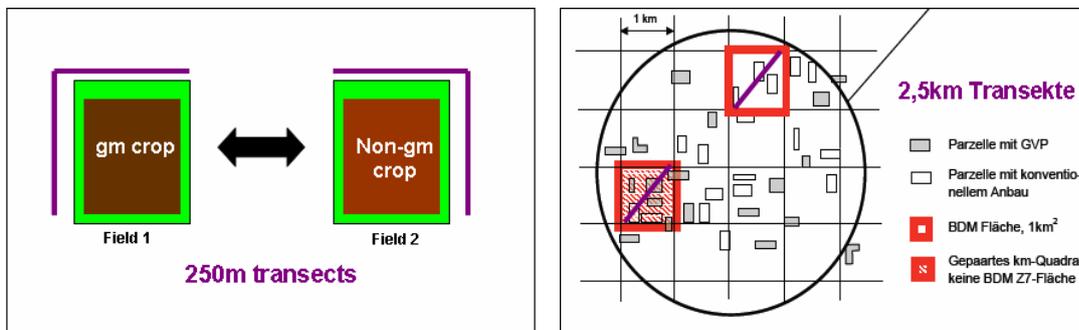


Abb. 1. Schematische Darstellung eines lokalen Monitoring (links), Typ LANAG, und eines überregionalen Landschafts-Monitoring (rechts), Typ BDM (nach VDI 2010 und BÜHLER et al. 2008).

BDM-Programm (Landschaftsmonitoring): Im Biodiversitäts-Monitoring Schweiz (BDM) werden seit 2003 schweizweit rund 500 Transekte bearbeitet (Abb. 2), wovon circa 60 überwiegend im Landwirtschaftsgebiet liegen. Die Transekte sind 2.5 km lang und werden 7-mal pro Saison begangen. Aufgenommen werden die Tagfalter (inkl. Dickkopffalter) und Widderchen. Die Aufnahmen werden von professionellen KartiererInnen durchgeführt.

LANAG-Programm (lokales Monitoring): Im Kanton Aargau (Schweiz) werden seit 1998 Erhebungen zur „Langfristbeobachtung der Artenvielfalt in der Normallandschaft des Kantons Aargau“ (LANAG) durchgeführt (Abb. 2). Der Umfang der Gesamtstichprobe beträgt rund 500 Transekte, wovon rund 220 überwiegend im Landwirtschaftsgebiet liegen. Die Länge der Transekte beträgt 250 m, und es werden bei 10 (–11) Begehungen pro Saison die Tagfalter (exklusive Dickkopffalter) und Widderchen aufgenommen. Die Aufnahmen werden von geschulten Laien durchgeführt.

Köllitsch-Datensatz (lokales Monitoring): Die Daten wurden im Rahmen eines Projektes zum „Monitoring von Vogelschutzmaßnahmen auf Ackerflächen im LVG Köllitsch“ im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie erhoben. Es handelt sich um 25 Transekte mit einer Länge von je 250 m und jeder Transekt wurde einmal

während zweier Jahre (2009, 2010) aufgenommen. Alle Transekte liegen auf einem einzigen Betrieb in Köllitsch (bei Leipzig) und wurden 4-mal pro Saison begangen. Aufgenommen wurden die Tagfalter incl. Dickkopffalter sowie Graszünsler. Für die hier durchgeführten Analysen wurden 13 Transekte ausgewählt, die an Ackerrainen, auf randlichen Brachen bzw. einer kleinen randlichen Wiese lagen. Sie wurden alle 2010 erhoben.

BfN-Datensatz (Landschaftsmonitoring): Für das BfN-Projekt „Biotische Wirkungsakkumulatoren und Erhebungsmethoden für ein GVO-Monitoring“ (FKZ 804 89 001) wurden auf Flächen der Ökologischen Flächenstichprobe die Tagfalter (inkl. Dickkopffalter) und Widderchen aufgenommen. Die Erhebungen wurden in 2005 in der Brandenburger Jungmoränenlandschaft und der Leipziger Tieflandbucht durchgeführt. Die 3km langen Transekte (N = 14) wurden 5-mal während der Saison begangen.

Die Daten aller Datensätze wurden nach der so genannten Linientransekt-Methode für tagaktive adulte Falter aufgenommen (nach POLLARD & YATES 1993; VDI 2010). Dabei wird bei geeigneten Wetterbedingungen eine vorgegebene Transektroute in der Landschaft in einem standardisierten Tempo abgeschritten und in einem bestimmten Beobachtungsraum, z.B. 5m Radius um die BearbeiterIn, alle beobachteten Tagfalter notiert (Abb. 3).

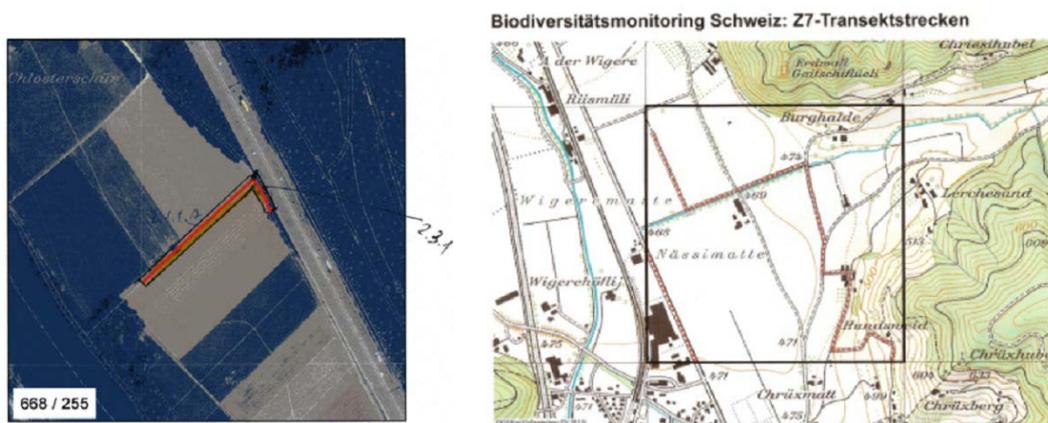


Abb. 2. Beispiele für ein 250 m langes Transekt im LANAG (links) und ein 2.5 km langes Transekt im BDM (rechts) (© Hintermann&Weber AG).

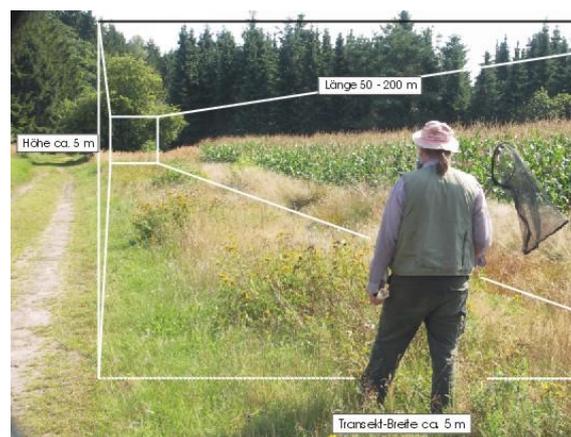


Abb. 3. Beispiel einer Transektstrecke zur Aufnahme von Tagfaltern. Entlang einer vorgegebenen Route werden alle beobachteten Falter innerhalb eines vorgegebenen Beobachtungsraumes notiert (© leguan).

3 Allgemeines Vorgehen

Die oben aufgeführten Datensätze wurden benutzt, um in Simulationen und Berechnungen grundsätzliche methodische Einflussfaktoren auf die Ergebnisse eines Tagfalter-Monitoring zu untersuchen. Dabei gehen wir prinzipiell von einem methodischen Ansatz aus, bei dem die Wirkung von GVO-Anbau mit einem Kontroll-Zustand ohne GVO-Einwirkung verglichen wird. Dieses Prinzip soll sowohl bei zeitlichen Vergleichen (Kontrolle = Zustand der Messflächen vor dem Einsetzen des GVO-Anbaus) als auch bei räumlichen Vergleichen (Kontrolle = Zustand benachbarter Messflächen zum gleichen Zeitpunkt, aber ohne GVO-Anbau) angewendet werden.

Als maßgebende Einflussfaktoren wurden die **Transektlänge**, die **Anzahl der Begehungen** und die gewählten **Zeitfenster** der Falter-Aufnahmen getestet. Geprüft wurde auch, inwiefern nahe benachbarte Transekte sich in ihrer **Artenzusammensetzung** ähneln, um abschätzen zu können, ob sich räumlich gepaarte Transekte für ein GVO-Monitoring eignen würden. Aufgrund dieser Berechnungen wurden verschiedene methodische Varianten für ein GVO-Monitoring von Tagfaltern ausgewählt und für diese mittels einer **Poweranalyse** der benötigte Stichprobenumfang abgeschätzt. Das heißt, es wurde berechnet, wie viele Transekte bearbeitet werden müssen, um einen potentiellen GVO-Effekt einer bestimmten Größe entdecken zu können. Letztendlich wurden aufgrund der Poweranalysen bestimmte, geeignete methodische Varianten bestimmt, für welche im Anschluss die **Erfassungseffizienz** berechnet wurde. Das heißt, für diese verschiedenen Varianten wurde das Verhältnis zwischen Erfassungsaufwand und Ertrag berechnet, und eine endgültige Variante mit einer günstigen Erfassungseffizienz bestimmt.

Die Empfehlungen des Projektes werden im folgenden Kapitel „Empfehlungen zur Transekterfassung“ zusammengefasst. Die prinzipiellen Grundlagen für diese Empfehlungen werden im Kapitel „Technische Details“ exemplarisch dargestellt. Alle detaillierten Einzelberechnungen, Methodenbeschreibungen sowie Tabellen und Diagramme werden gesondert im Supplement gebündelt. Somit ermöglichen die Kapitel „Empfehlungen zur Transekterfassung“ und „Technische Details“ einen komprimierten Überblick über die Projektergebnisse, während zum detaillierten Studium der umfangreichen Berechnungen und ihrer Methodik das Supplement konsultiert werden kann.

4 Empfehlungen zur Transekterfassung

Für ein (GVO-)Monitoring in landwirtschaftlichem Gebiet kann prinzipiell die Anzahl der Begehungen ohne gravierenden Informationsverlust auf vier bis fünf Begehungen pro Saison reduziert werden¹. Dies gilt jedoch nur für längere Transekte (z.B. 2.5 km), denn aufgrund der höheren Datenvarianz auf kurzen Transekten (250 m) sind auf kurzen Transekten circa sieben bis neun Begehungen pro Saison notwendig. Für ein optimiertes Ergebnis sollten die Begehungen sowohl im Frühjahr als auch im (Hoch-)Sommer stattfinden. Die höchste Effizienz zum Nachweis eines bestimmten GVO-Effektes wiesen Transekte mit einer Länge zwischen 1.5 km und 2 km sowie vier Begehungen auf. Es wird die Bearbeitung von verbundenen Stichproben² empfohlen, da die statistische Auswertung dadurch eine höhere Power bekommt und somit der Stichprobenumfang reduziert werden kann. Eine Stichprobe ist z.B. verbunden oder abhängig, wenn die jeweiligen Transekte zeitlich gepaart sind, d.h. dieselben Transekte im Laufe der Zeit wiederholt beprobt werden. Eine Stichprobe wäre auch verbunden, wenn die Transekte räumlich gepaart sind, d.h. nahe benachbarte Transektpaare, die sich ähnlich sind, bearbeitet werden (siehe „Allgemeines Vorgehen“). Wir empfehlen eine Kombination räumlich und zeitlicher gepaarter Transekte/Probeflächen (s. Kapitel „Monitoring-Design“). Im Falle einer räumlichen Paarung sollten die Transektpaare nicht weiter als 10 km voneinander entfernt sein, aber auch nicht so nahe zusammen liegen, dass die GVO-Effekte auf beide Flächen wirken. Aufgrund der Ähnlichkeit räumlich gepaarter Transekte wird eine regionalisierte Auswertung der Daten empfohlen. Als zusätzliche Aufnahmen zum Tagfalter-Monitoring sind Habitat- und Nutzungskartierungen notwendig, um eine verfeinerte Analyse zu ermöglichen³. Eine genauere Analyse und Zuordnung eines GVO-Effektes erlaubt auch die Auswertung ausgewählter Artengruppen, z.B. eine separate Betrachtung exponierter Falterarten oder von stationären Arten (siehe Kapitel „Analyse von Artenpools“), dabei kann jedoch auch ein höherer Aufwand erforderlich werden.

¹ Soweit nicht anders vermerkt, beziehen sich die Ergebnisse und Empfehlungen im gesamten Text immer auf die Analyse von Artenzahlen und Gesamtabundanz eines Tagfalter-Monitoring.

² Synonyme für „verbundene Stichprobe“ sind „gepaarte Stichprobe“ und „abhängige Stichprobe“. Im Gegensatz zur verbundenen Stichprobe besteht bei unabhängigen Stichproben kein Zusammenhang zwischen den einzelnen Fällen der Stichprobe.

³ Zusätzlich wird eine Raupenerfassung auf Brennesseln vorgeschlagen (vgl. VDI 2010 und LANG et al. 2011).

5 Technische Details

Habitat- und Nutzungskartierung

In allen analysierten Datensätzen zeigte sich ein Einfluss der Landschaftsausstattung und der angrenzenden Habitate und Nutzung auf die Ergebnisse der Transektzählungen (siehe auch Supplement I). Insbesondere das Vorhandensein von Waldflächen hatte einen substantiellen Einfluss auf die beobachtete Artenzahl. Auch Grünland, Brachen und die betreffende Region beeinflussten die Artenzahlen. Es ist allgemein bekannt, dass spezifische Arten des Waldrandes und des (extensiven) Grünlandes zum Arteninventar im landwirtschaftlichen Raum positiv beitragen (z.B. RUNDLÖFF & SMITH 2006, AVIRON et al. 2009), daher ist dies kein grundsätzlich neues und überraschendes Ergebnis. Bei einem Monitoring muss diesem Umstand jedoch Rechnung getragen und eine zusätzliche Habitat- und Nutzungskartierung durchgeführt werden. Ebenso beeinflusst das auf dem Transekt vorhandene Blütenangebot die Ergebnisse (LANG et al. 2011) und muss daher mit aufgenommen werden (VDI 2010). Wird der Einfluss von Habitat und Nutzung bei der statistischen Analyse aus den Daten eliminiert, werden andere Einflussgrößen – z.B. Effekte durch GVO-Anbau – womöglich erst erkennbar. Zu bedenken wäre auch eine abschnittsweise Aufnahme der Tagfalter getrennt und separat nach den angrenzenden Lebensräumen (Amt für Raumplanung Thurgau 2010).

Gepaarte und regionalisierte Transekte

Näher benachbarte Transekte sind sich in ihrer Artenzusammensetzung ähnlicher (siehe auch Supplement II). Ab einem Abstand von circa 10 bis 15 km zwischen den Transekten geht die Ähnlichkeit jedoch zurück (Abb. 4, 5).

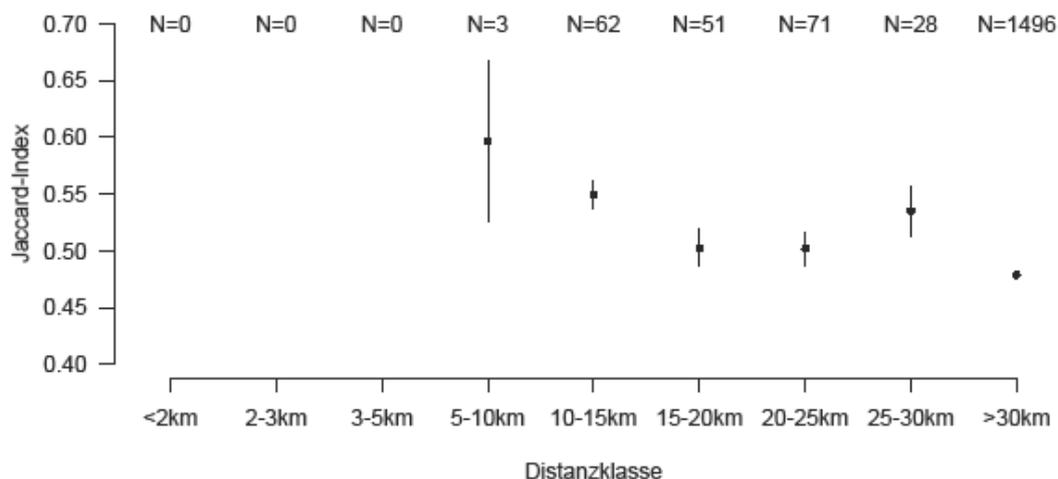


Abb. 4. BDM-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung. Je höher der Index desto ähnlicher sind sich zwei Transekte in ihrer Artenzusammensetzung. Die einzelnen Transektentfernungen wurden zu Distanzklassen zusammengefasst (N = Stichprobenumfang). Mittelwerte \pm Standardfehler.

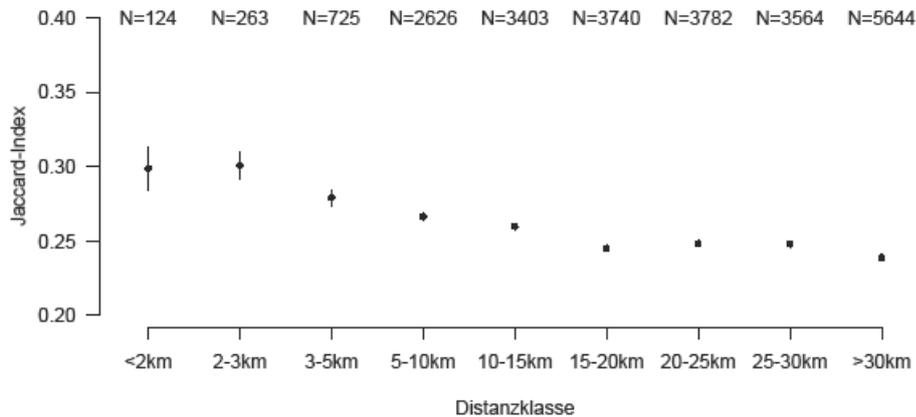


Abb. 5. LANAG-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung. Je höher der Index desto ähnlicher sind sich zwei Transekte in ihrer Artenzusammensetzung. Die einzelnen Transektentfernungen wurden zu Distanzklassen zusammengefasst (N = Stichprobenumfang). Mittelwerte \pm Standardfehler.

Sich ähnliche, miteinander gepaarte Stichproben erhöhen mit einem Test für verbundene Stichproben die statistische Power (siehe unten Kapitel „Poweranalysen“). Werden Daten immer auf denselben Transekten erhoben, ergeben sich zeitlich gepaarte Stichprobenziehungen, ein Vorgehen, welches sowohl im LANAG als auch im BDM angewendet wird. Die Korrelation zwischen zwei Erhebungszeitpunkten liegt für die Artenzahl von Tagfaltern auf dem Transekt zwischen $r = 0.35$ (BDM) und $r = 0.52$ (LANAG) (LANG & BÜHLER 2011). Stichprobenpaare können jedoch auch räumlich verbunden sein, wobei sich die Ähnlichkeit der Transekte aus der räumlichen Nähe und/oder einer ähnlichen Habitatausstattung ableiten kann (siehe oben). Für die (spätere) Berechnung einer prospektiven Poweranalyse zur Abschätzung des benötigten Stichprobenumfanges wäre die Kenntnis des Ausmaßes dieser räumlichen Paarung notwendig, also der Korrelationskoeffizient. Im LANAG sind nahe benachbarte Transekte positiv in der Artenzahl korreliert, jedoch mit einem relativ niedrigen Korrelationskoeffizienten (Abb. 6). Entsprechend der Artenähnlichkeit der Transekte (vgl. Abb. 5) fällt der Korrelationskoeffizient ab einem Abstand ≥ 10 km ab. Im BDM ist keinerlei Korrelation in der Artenzahl zwischen den Transekten erkennbar, was vermutlich daran liegt, dass die BDM-Transekte alle weiter als 10 km voneinander entfernt liegen (Abb. 7).

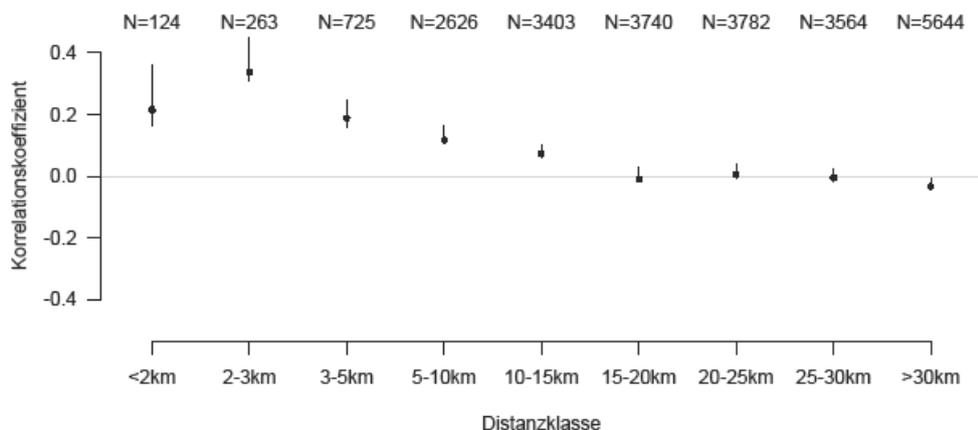


Abb. 6. LANAG-Datensatz: Pearson's Korrelationskoeffizient als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle); die einzelnen Transektentfernungen wurden zu Distanzklassen zusammengefasst (N = Stichprobenumfang). Die Korrelation wurde auf der Basis der Gesamtartenzahl pro Transekt berechnet.

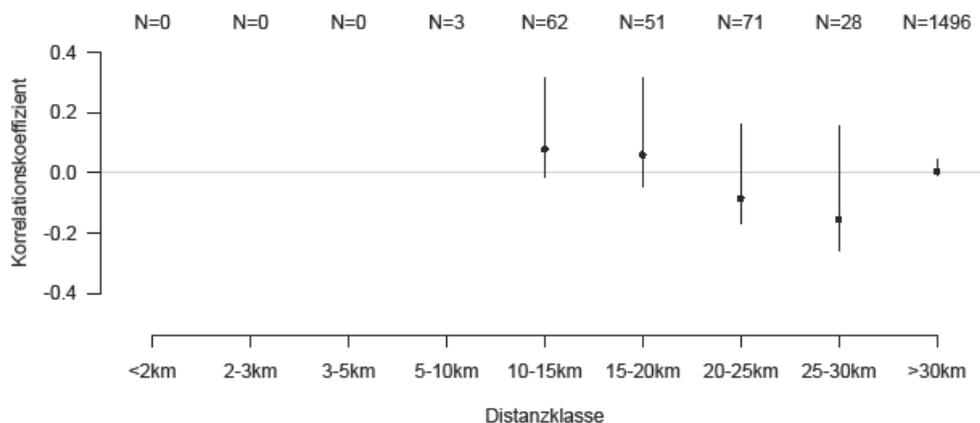


Abb. 7. BDM-Datensatz: Pearson's Korrelationskoeffizient als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle); die einzelnen Transektentfernungen wurden zu Distanzklassen zusammengefasst (N = Stichprobenumfang). Die Korrelation wurde auf der Basis der Gesamtartenzahl pro Transekt berechnet.

Bei der Analyse der Monitoringdaten ist daher eine Regionalisierung der erhobenen Daten sinnvoll und anzuraten, d.h. die separate Auswertung von räumlich nahen Transekten in Regionen mit ähnlicher Habitatausstattung (vgl. LANG & BÜHLER 2011). Auch bei einem Paarvergleich z.B. zwischen GVO- und Nicht-GVO-Flächen muss auf eine ähnliche Habitatausstattung der Stichprobenpaare geachtet werden (vgl. RICHTLINIE DES VDI 2010). Bei Anwendung eines statistischen Tests für verbundene Stichproben sollten die Transekte einer räum-

lich gepaarten Stichprobe nicht weiter voneinander entfernt liegen als maximal 10 km. Zu beachten ist hierbei aber, dass sehr mobile Tagfalterarten sich dann aufgrund ihrer hohen Aktivitätsdistanz zwischen den Stichprobenflächen vermischen können. Zusätzlich muss im Rahmen eines GVO-Monitoring beachtet werden, dass gleichzeitig eine ausreichende Entfernung eingehalten wird, damit die „Nicht-GVO“-Probefläche auch tatsächlich unbeeinflusst von GVO ist. Auch müssen bei so nah benachbarten Transekten mögliche Autokorrelationen beachtet und überprüft werden.

Anzahl Begehungen und Zeitfenste

Auf den 2,5 km langen Transekten des BDM führt eine Reduzierung der Begehungen zur Erfassung einer geringeren Artenzahl (siehe auch Supplement III): bei fünf statt sieben Begehungen werden nur noch circa 90% der Arten erfasst, bei vier Begehungen nur noch zwischen 80% und 90% der Arten, und bei drei Begehungen nur noch zwischen 70% und 80% der Arten (Abb. 8). Die Reduzierung der absoluten Individuenzahlen ist bei einer Reduzierung der Begehungen stärker als die der Artenzahl (Abb. 9). Der Nachweis stationärer Arten leidet unter einer Reduktion der Begehungen weniger im Vergleich zu mobilen oder inter-diären Arten (in jedem Fall mind. 70% der Arten nachgewiesen, Abb. 10), während der Nachweis seltener Arten am stärksten unter einer Reduktion der Begehungen leidet (bis auf 30% reduziert, Abb. 11). Die Transekte des LANAG-Programms sind kürzer (250m) und es werden dort insgesamt weniger Arten nachgewiesen im Vergleich zum BDM, deshalb werden auf kürzeren Transekten mindestens sieben bis neun Begehungen benötigt, um circa 80% bis 90% der vorkommenden Arten nachzuweisen (Abb. 12). In allen Fällen (Abb. 8 – 12) tragen die (Hoch-)Sommerbegehungen den Hauptteil der Arten- und Individuennachweise bei und ein Auslassen der Frühjahrsbegehung hat einen stärkeren negativen Effekt als ein Verzicht auf eine Herbstbegehung.

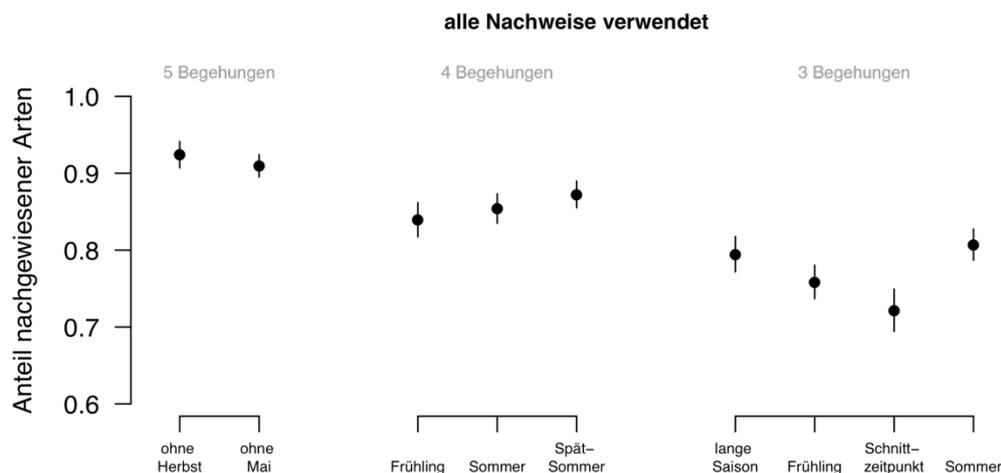


Abb. 8. BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster (siehe Supplement III): alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert.

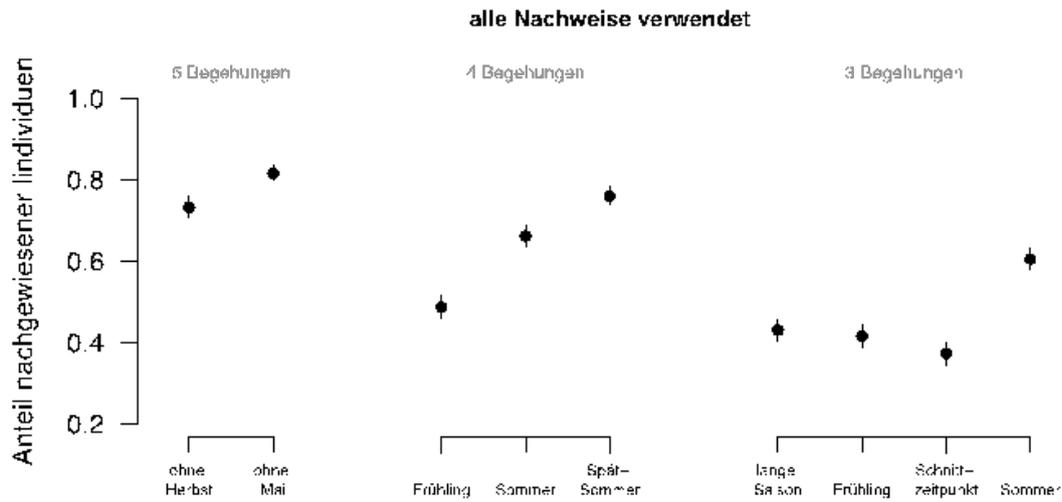


Abb. 9. BDM. Abhängigkeit der beobachteten Individuenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster (siehe Supplement III): alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert.

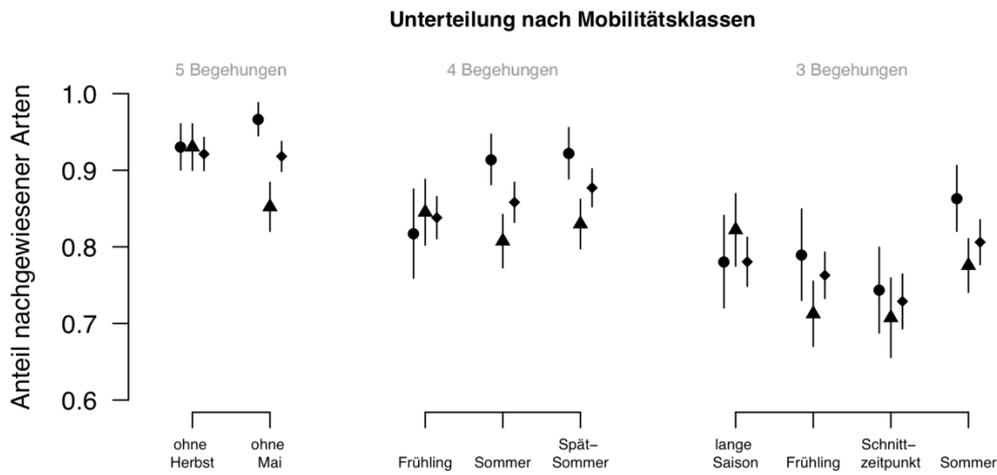


Abb. 10. BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster (siehe Supplement III): Unterteilung nach Mobilitätsklassen. Stationäre Arten (●), Intermediäre Arten (▲), Mobile Arten (◆).

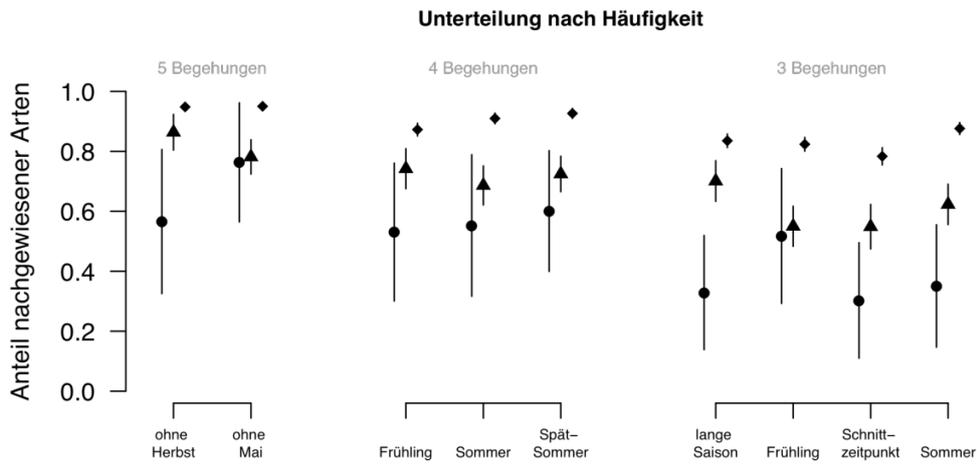
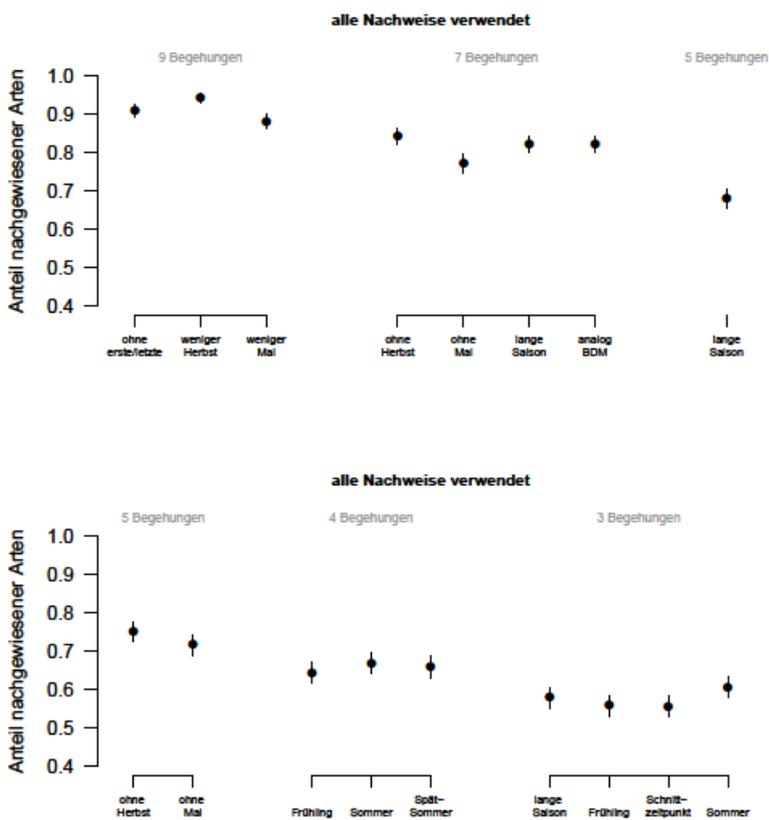


Abb. 11. BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster (siehe Supplement III): Unterteilung nach Häufigkeit der Arten. Seltene Arten (●), Mittelhäufige Arten (▲), Häufige Arten (◆).



Ref: 942_LANAG_Ant_Arten_alle_Nachweise_v1.pdf | Autor: Rn | Datum: 03.11.2011

Abb. 12. LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster (siehe Supplement III): alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert

Auf den Transekten des BDM-Typus, welche aufgrund einer Transektlänge von 2.5 km relativ artenreich sind (s.a. Abb. 13), kann also die Anzahl Begehungen ohne größeren Informationsverlust reduziert werden, während dies auf kurzen Transekten des LANAG-Typus nicht möglich ist, da kurze Transekte im Durchschnitt bereits deutlich artenärmer sind. Bei einer Reduktion der Begehungen wäre der damit erfasste Anteil des eigentlichen Artenpools schnell zu gering. Sommerbegehungen müssen auf jeden Fall durchgeführt werden, da in diesem Zeitraum die meisten Arten und Individuen nachgewiesen werden. Frühjahrserfassungen sind zu empfehlen, da sie 1.) mehr Arten beitragen als Herbstbegehungen und manche Arten exklusiv im Frühjahr fliegen, 2.) bei bi-voltinen Arten oft die erste Generation mächtiger ist (VAN STRIEN et al. 1997), und 3.) in den Frühjahrgenerationen ein vorjähriger GVO-Effekt am frühesten entdeckt werden kann. Für ein GVO-Monitoring vorteilhaft ist, dass der Nachweis stationärer Arten unter einer geringeren Begehungsfrequenz vergleichsweise weniger leidet, und diese Arten wichtig sind für die lokale Zuordnung eines Effektes. Andererseits leidet die Beobachtung seltener Arten⁴ am stärksten unter einer Reduktion der Begehungsfrequenz. Diese Arten können jedoch aus naturschutzfachlichen Gründen von Bedeutung sein, wenn es sich um geschützte Arten oder Rote Liste-Arten handelt. Ein Verzicht auf die Erfassung und Analyse typischer „Waldarten“ beeinflusst die gefundenen Muster nur unwesentlich (siehe Supplement III). Für den Nachweis von lokal wirkenden GVO-Effekten am besten geeignet erachten wir stationäre Arten (die der GVO-Wirkung mit höherer Wahrscheinlichkeit ausgesetzt sind), die in genügender Häufigkeit vorkommen, so dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit beobachtet werden. Zu beachten ist aber, dass bei kürzeren Transekten, welche auf Grund der Kürze im Durchschnitt artenärmer sind (s.a. Abb. 13), eine Gruppierung bzw. Beschränkung des Artenpools nicht mehr sinnvoll sein mag, da dadurch die mittlere Artenzahl weiter reduziert wird, je nachdem in einen Bereich, der für eine statistische Analyse ungenügend ist.

Transektlängen

Mit steigender Transektlänge und Begehungsfrequenz werden mehr Arten beobachtet (Abb. 13): Bei voller Transektlänge durchschnittlich 22.5 Arten bei sieben Begehungen, 19.9 Arten bei fünf Begehungen, 18.1 Arten bei vier Begehungen und 16.6 Arten bei drei Begehungen. Aber selbst bei 5000 m Transektlänge ist noch kein endgültiges Plateau der Artenzahl erreicht. Der Variationskoeffizient der Artenzahl (= Standardabweichung dividiert durch den Mittelwert) sinkt mit zunehmender Transektlänge und schwenkt ab 1000 m bis 2000 m auf einen relativ konstanten Wert ein (Abb. 14). Interessanterweise unterscheiden sich hier die verschiedenen Begehungsvarianten nicht, d.h. die Nachweisbarkeit eines Effekts von GVO auf die mittlere Artenzahl wird nicht wesentlich von der Anzahl Begehungen abhängen (die statistische Power würde mit zunehmender Varianz sinken). Aber mit mehr Begehungen können natürlich mehr Arten nachgewiesen werden (siehe Abb. 13). Für stationäre Arten ist die Beziehung zwischen Transektlänge und Artenzahl sowie Variationskoeffizient vom Muster her grundsätzlich gleich, die absoluten Werte sind jedoch unterschiedlich (siehe Supplement IV).

⁴ „Selten“ ist hier auf die Häufigkeit in Bezug auf den Datensatz bezogen: es handelt sich um die 33% des jeweiligen Artenpools mit der geringsten Anzahl nachgewiesener Individuen über alle Begehungen.

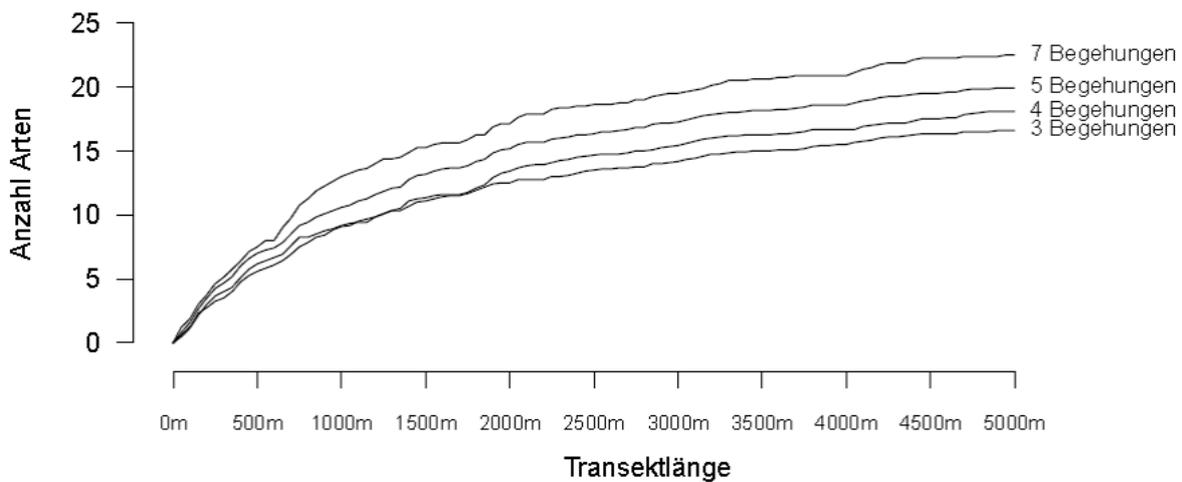


Abb. 13. Alle Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und beobachteter Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen (berechnet aus 12 speziell erfassten BDM-Transekten). Die festgestellte Artenzahl bei 7 Begehungen beträgt 22,5 Arten.

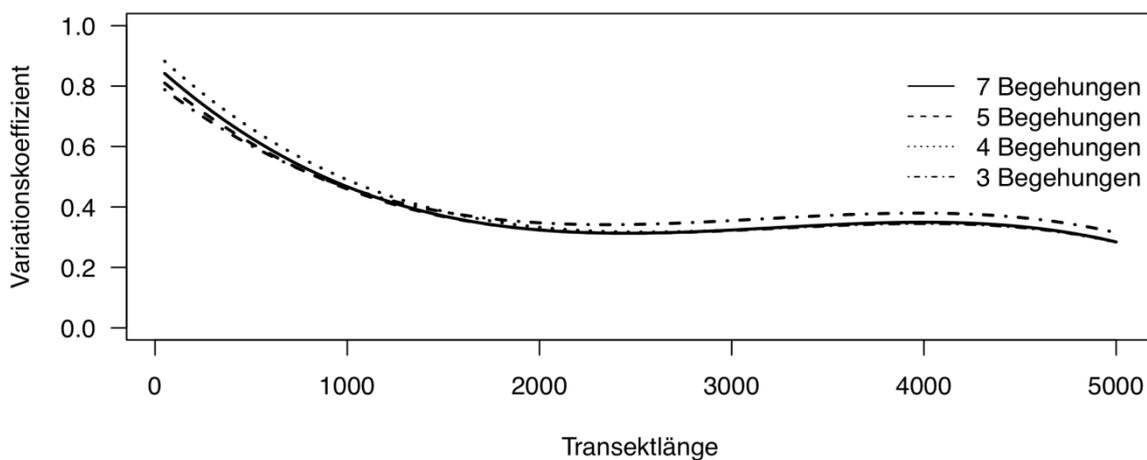


Abb. 14. Alle Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und Variationskoeffizient der Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen (berechnet aus 12 speziell erfassten BDM-Transekten).

Poweranalysen

In diesem Abschnitt werden exemplarisch nur die Poweranalysen für vier Begehungen dargestellt, für die weiteren Berechnungen wird auf Supplement V verwiesen. Da aber die Anzahl der Begehungen kaum einen Einfluss auf die Varianz der Artenzahl hat (vgl. Abb. 14), unterscheiden sich die Ergebnisse für eine höhere Anzahl von Begehungen auch nicht grundsätzlich davon (Supplement V). Das heißt, rein von der statistischen Power eines Effektnachweises her schneiden vier Begehungen ähnlich gut ab wie sieben Begehungen. Bei

kürzeren Transekten wird aber eine höhere Anzahl an Transekten benötigt, um einen bestimmten Effekt auf die mittlere Artenzahl nachzuweisen (Abb. 15), da mit sinkender Transektlänge unter 1000 m ja die Varianz der Artenzahl steigt (vgl. Abb. 14). Die Analyse der Abundanzen erfordert einen teils beträchtlich höheren Stichprobenumfang, ebenso wie die Analyse stationärer und seltener Arten auf den Transekten des BDM (siehe Supplement V). Das heißt, will man den Artenpool „stationäre Arten“ oder „seltene Arten“ bei einem Monitoring analysieren, muss bei Verwendung kurzer Transekte die Begehungsfrequenz gesteigert oder alternativ bei niedriger Begehungsfrequenz die Transektlänge erhöht werden.

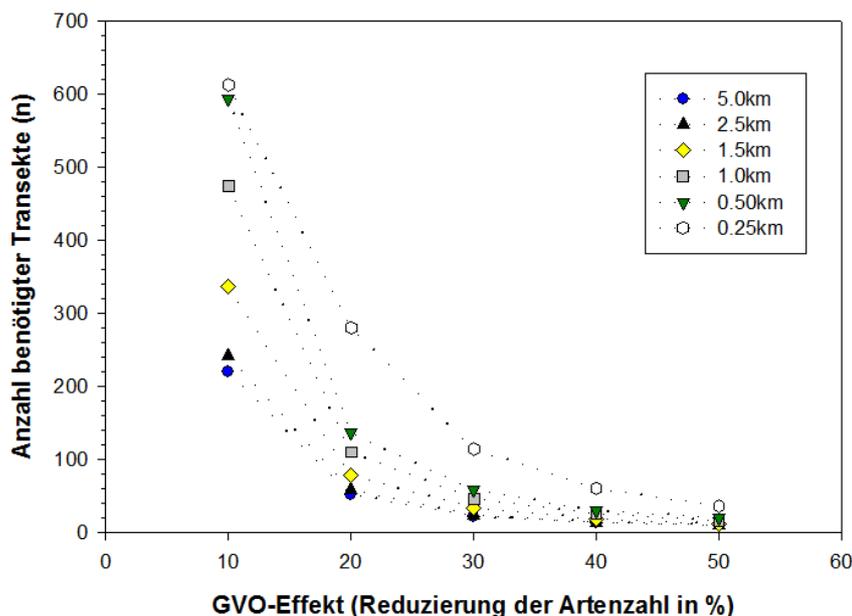


Abb. 15. Poweranalyse für den Vergleich unabhängiger **Stichproben**, bei unterschiedlichen Transektlängen (0.25 – 5.0 km). Angegeben ist die Gesamtzahl der benötigten Transekte zum Nachweis eines bestimmten Effektes auf die Gesamtartenzahl (10% – 50% weniger Arten; vergleiche Tabelle 5.1 in Supplement V). Grundlage der Berechnungen waren der Datensatz des BDM sowie Berechnungen für 4 Begehungen und unterschiedliche Transektlängen. Das getestete Szenario geht von einem Vergleich zwischen GVO-Transekten und Kontrolltransekten zu einem bestimmten Jahr aus; das heißt, die angegebene Zahl der Transekte muss zu gleichen Teilen auf GVO und Kontrolle verteilt werden.

Werden dieselben Transekte wiederholt beprobt, so liegt eine verbundene Stichprobe vor, in diesem Fall zeitlich gepaarte Transekte. Die statistische Analyse verbundener Stichproben hat eine stärkere Power (ZÖFEL 1992). Konkret würde die Verwendung eines Tests für solche gepaarte Transekte im BDM eine Reduzierung des Stichprobenumfangs um circa 1/3 (bis 1/4) im Vergleich zu unabhängigen Stichproben bedeuten (bzgl. des Parameters „mittlere Artenzahl“) (vgl. Abb. 16). Verbundene Stichproben für die Gesamtabundanz würden ebenfalls circa 1/3 weniger Transekte im BDM erfordern (siehe Supplement V). Bei einer stärkeren Korrelation zwischen den gepaarten Transekten, wie z.B. im LANAG, ist die Ersparnis im benötigten Stichprobenaufwand noch größer (Supplement V). Zu beachten ist auch, dass bei zeitlich gepaarten Stichproben der Stichprobenaufwand auf zwei Erfassungs-

jahre verteilt wird, d.h. in einem bestimmten Jahr fällt nur die Hälfte der in Abb. 16 angegebenen Transekte an.

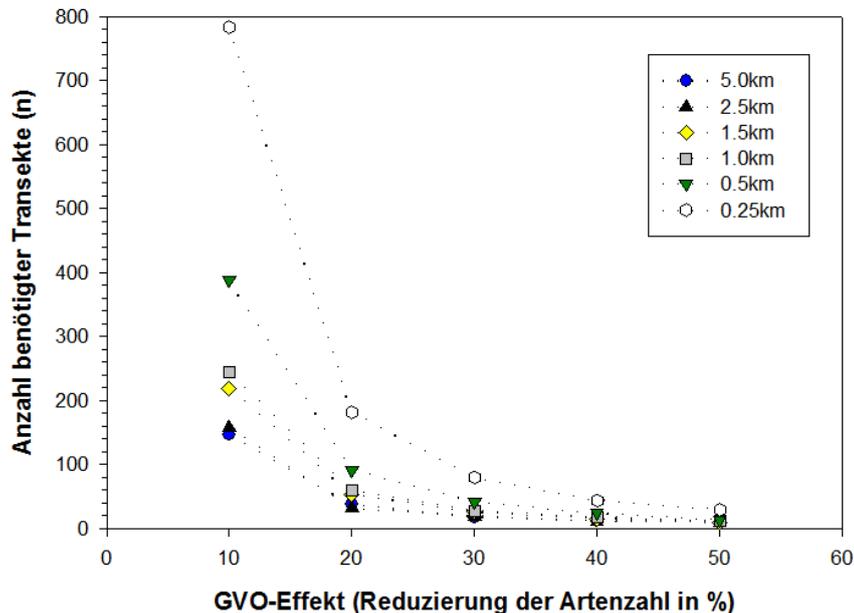


Abb. 16. Poweranalyse für den Vergleich **verbundener (gepaarter) Stichproben**, bei unterschiedlichen Transektlängen (0.25 – 5.0 km). Angegeben ist die Gesamtzahl der benötigten Transekte zum Nachweis eines bestimmten Effektes auf die Gesamtartenzahl (10% – 50% weniger Arten; vergleiche Tabelle 5.2 in Supplement V). Grundlage der Berechnungen war der Datensatz des BDM sowie Berechnungen für 4 Begehungen und verschiedene Transektlängen. Das getestete Szenario geht von einem Vorher-Nachher-Vergleich auf denselben Transekten zwischen zwei Erhebungszeitpunkten aus; das heißt, die angegebene Zahl der Transekte muss zu gleichen Teilen auf Erhebung 1 und Erhebung 2 verteilt werden. Bei den Berechnungen (4 Begehungen, verschiedene Transektlängen) ist die Korrelation in der Artenzahl zwischen zwei Erhebungen unbekannt, deshalb wurden für die Poweranalysen die bekannte Korrelationen aus dem BDM ($r = 0.35$) angenommen (nach LANG & BÜHLER 2012).

Erfassungseffizienz

Auf der Grundlage der vorherigen Ergebnisse der Poweranalysen wird die Erfassungseffizienz, d.h. das Verhältnis von Aufwand zu Ertrag, für verschiedene Kombinationen von Transektlänge und nachzuweisender Effektgröße bestimmt. Dafür wurde der benötigte Zeitaufwand für die Erfassung der Tagfalter pro Transekt abgeschätzt (siehe Supplement VI). Zusätzlich wurde der Zeitaufwand weiterer Arbeitsschritte berücksichtigt, wie z.B. Reiseaufwand oder Orientierung im Gelände, und daraus der Zeitaufwand für die gesamte Datenerhebung pro Transekt über sämtliche Begehungen berechnet. Wir berechnen dabei, für welche Kombination von Transektlänge und Anzahl Begehungen der Aufwand (Kosten) minimiert wird, um eine gewünschte Effektgröße (z.B. Veränderung der Artenzahl um 10 Prozent) nachweisen zu können. Dies wird für zwei Artenpools durchgeführt: „alle Arten“ und „stationäre Arten“ für eine Begehungsfrequenz von vier Begehungen. Dieser Gesamtaufwand pro Transekt (alle vier Begehungen) wurde dann mit dem notwendigen Stichproben-

aufwand gemäß Poweranalyse multipliziert, d.h. mit der Anzahl benötigter Transekte. Dies ergibt den Gesamt-Arbeitsaufwand einer Variante für eine Power von 80%. Anhand des Gesamt-Arbeitsaufwandes lässt sich nun ableiten, mit welcher Transektlänge man die wenigsten Feldstunden leisten muss, um eine Power von 80% zu erreichen.

In Tabelle 1 ist der Erfassungsaufwand pro Transekt und Jahr bei vier Begehungen dargestellt. Für die verschiedenen Transektlängen wurden zwei Varianten geprüft, eine Reisezeit von zwei Stunden und eine Reisezeit von einer halben Stunde zwischen den Transekten. Allgemein sinkt natürlich der Zeitbedarf für die Feldarbeit auf kürzeren Transekten aufgrund der geringeren Wegstrecke, wodurch pro Arbeitstag mehr Transekte bearbeitet werden können. Der Zeitbedarf pro Transekt sinkt bei einer Reduzierung der Transektlänge von 5km auf 250m und einer Reisezeit von zwei Stunden z.B. um die Hälfte (Tabelle 1). Liegen die Transekte näher beieinander, z.B. 0.5 Stunden Reisezeit zwischen den Transekten, so ist die Zeitersparnis bei kürzeren Transekten noch ausgeprägter (Tabelle 1). Der Zeitbedarf unterscheidet sich nicht zwischen verschiedenen Artenpools, z.B. „alle Arten“ und „stationäre Arten“, da zur Erfassung der Schmetterlinge immer der ganze Transekt abgelaufen werden muss.

Tab. 1. Erfassungsaufwand in Stunden⁵ (h) pro Transekt und Jahr bei vier Begehungen pro Saison in Abhängigkeit von der Transektlänge und der Reisezeit. Als Reisezeit ist der mittlere Zeitbedarf definiert, um zwischen den Transekten zu wechseln. Der Erfassungsaufwand für „alle Arten“ und „stationäre Arten“ ist hier der gleiche, da für beide Artenpools immer der komplette Transekt abgelaufen werden muss.

Transektlänge	alle Arten, 2h Reisezeit	alle Arten, 0.5h Reisezeit	stationäre Arten, 2h Reisezeit	stationäre Arten, 0.5h Reisezeit
5.0 km	30,8	27,2	30,8	27,2
2.5 km	23,4	16,8	23,4	16,8
1.5 km	18,7	12,4	18,7	12,4
1.0 km	17,1	10,0	17,1	10,0
0.5 km	15,7	7,5	15,7	7,5
0.25 km	15,0	6,5	15,0	6,5

Unabhängige Stichproben. Bei einem Vergleich zwischen GVO- und Kontrollflächen zu einem bestimmten Erfassungszeitpunkt (Jahr) liegt ein unabhängiger Vergleich vor, wenn die Transekte zufällig gewählt sind und kein Zusammenhang zwischen den einzelnen Transekten besteht. Legt man nun den in der Poweranalyse berechneten, benötigten Stichprobenumfang für unabhängige Stichproben zugrunde (s.o. Abb. 15), so ergeben sich aus dem Erfassungsaufwand pro Transekt (Tabelle 1) die in Abb. 17 dargestellten Zeitaufwände für ein Monitoring verschieden großer GVO-Effekte (bei vier Begehungen). Die höchste Erfassungseffizienz ergibt sich für Transektlängen zwischen 1.5 km und 2.5 km (Abb. 17). Lediglich bei einer kürzeren Reisezeit von 0.5 Stunden ist die Erfassung „aller Arten“ auch bei 1

⁵ N.B.: Fahrtkosten und Spesen wurden mit einbezogen und ebenso veranschlagt, wobei die Kosten in Zeitaufwand umgerechnet wurden (siehe Supplement VI).

km- und 500 m-Transekten relativ effizient (Abb. 17). In Abhängigkeit von der Effektgröße, kann der Erfassungsaufwand bis um die Hälfte sinken bei einer Reduzierung der Reisezeit zwischen den Transekten von 2 Stunden auf eine halbe Stunde (Abb. 17). Das Muster ist prinzipiell gleiche für die „stationären Arten“ (Supplement VI). Da zum Nachweis eines Effektes auf „stationäre Arten“ aber ein höherer Stichprobenumfang notwendig ist (vgl. Supplement V), ist hier der Erhebungsaufwand insgesamt deutlich höher, und zwar circa 4- bis 15-mal so hoch im Vergleich zum Aufwand der Erfassung „aller Arten“ (Supplement VI).

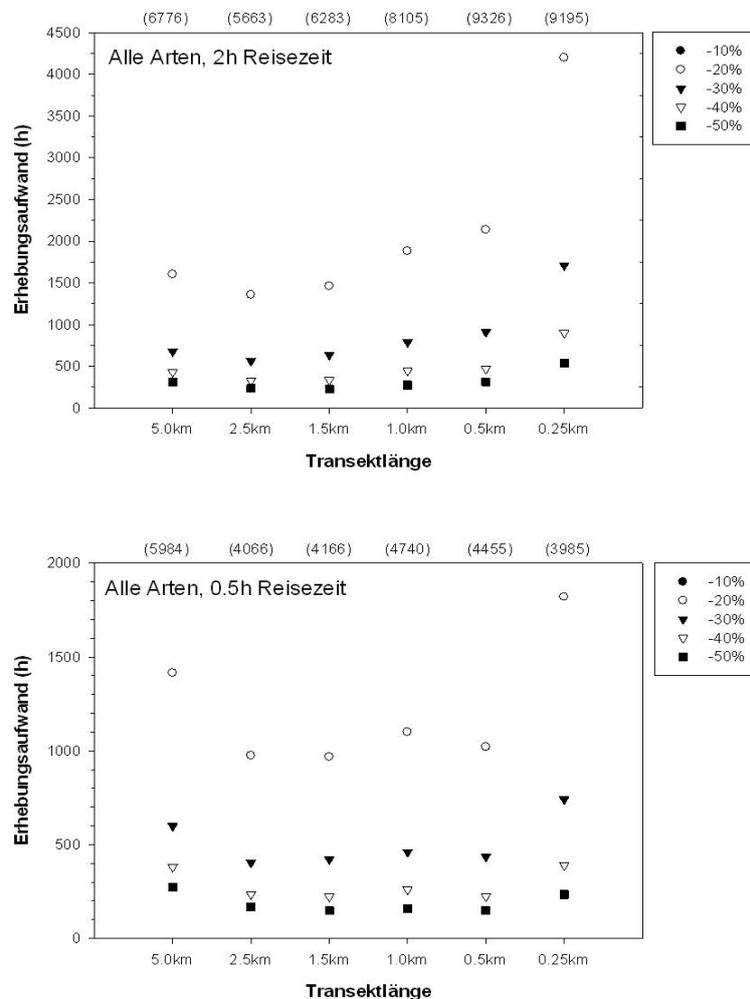


Abb. 17. Zeitlicher Erhebungsaufwand pro Jahr (h) für ein Monitoring aller Arten aufgrund der Berechnung des benötigten Stichprobenumfanges (vgl. Tabelle 1). Das angenommene Design ist ein Vergleich zwischen GVO- und Kontrollflächen in einem bestimmten Jahr, d.h. ein zweiseitiger Mittelwerttest (t-test) für **unabhängige Stichproben** (80% Power, $\alpha = 0.05$). Es wird von vier Begehungen pro Jahr ausgegangen und zwei Varianten berücksichtigt, eine Reisezeit von 2 h und 0.5 h zwischen den Transekten. Der Erhebungsaufwand wird für verschiedene Transektlängen und für den Nachweis verschieden großer Effekte (10% - 50%) dargestellt. Die Werte für einen 10%igen Effekt liegen außerhalb der Graphik und sind oberhalb der Graphik in Klammern angegeben.

Verbundene Stichproben. Werden dieselben Transekte wiederholt zu verschiedenen Erfassungszeitpunkten beprobt, so liegen zeitlich verbundene (gepaarte) Stichproben vor. Legt

man nun den in der Poweranalyse berechneten, benötigten Stichprobenumfang für verbundene Stichproben zugrunde (s.o. Abb. 16), so ergeben sich aus dem Erfassungsaufwand pro Transekt (Tabelle 1) die in Tabelle 2 dargestellten Zeitaufwände für ein Monitoring verschieden großer GVO-Effekte (bei vier Begehungen). Im Vergleich zu unabhängigen Stichproben ist der Erfassungsaufwand insgesamt deutlich erniedrigt. Insbesondere beim Nachweis von kleineren Effekten (10% Effekt) ist der Erfassungsaufwand bei verbundenen Stichproben (pro Jahr!) im Vergleich bis um den Faktor 4 niedriger. Zu beachten ist allerdings, dass bei verbundenen Stichproben der dargestellte Erfassungsaufwand mindestens noch bei einer weiteren, zweiten Erhebung anfällt. Eine geringere Reisezeit hat bei den verbundenen Stichproben keinen so großen Effekt wie bei den unabhängigen Stichproben (mit Ausnahme der kurzen Transekte <1 km), weil grundsätzlich weniger Transekte bearbeitet werden müssen. Ansonsten ist das prinzipielle Muster bei den verbundenen Stichproben ähnlich dem bei den unabhängigen: Bei der Erfassung „aller Arten“ ergibt sich die höchste Erfassungseffizienz für Transektlängen zwischen 1.0 km und 2.5 km. Berücksichtigt man zusätzlich die „stationären Arten“ (siehe Supplement VI) sind etwas höhere Transektlängen zwischen 1.5 km und 2.5 km am effizientesten. Da aber zum Nachweis eines Effektes auf „stationäre Arten“ ein höherer Stichprobenumfang notwendig ist, ist auch hier der Erhebungsaufwand deutlich höher als zur Analyse „aller Arten“ (siehe Supplement VI).

Für ein Monitoring ist also eine wiederholte Beprobung derselben Transekte sowohl von der Power als auch vom zeitlichen Erfassungsaufwand her gesehen effizienter bzw. kostengünstiger. Idealerweise kann man dieses Design mit einem Vergleich zwischen GVO-Transekten und Kontrolltransekten verbinden. Das heißt, (dieselben) GVO-Transekte werden über mehrere Jahre beprobt, ebenso wird mit Kontrolltransekten vorgegangen, und letztendlich werden zeitliche Trends zwischen diesen beiden Gruppen getestet (siehe auch Abb. 19C weiter unten). Ein derartiges Monitoring kann prinzipiell mit einer ANOVA für Messwiederholungen und/oder einer Trendanalyse analysiert werden. Die exakte Power einer ANOVA für Messwiederholungen hängt jedoch von verschiedenen Ausgangsfaktoren ab, wie z.B. ob GVO- und Kontrollgruppe mit demselben Ausgangswert starten, oder ob der eine oder der andere Ausgangswert höher ist, wie groß der Unterschied in den Ausgangswerten ist, ob die Daten alle eine ähnliche Varianz bzw. einen ähnlichen Varianzverlauf vom ersten zum zweiten Erhebungszeitpunkt aufweisen, ob die Korrelation der Daten vom ersten zum zweiten Aufnahmezeitpunkt ähnlich ist oder nicht, und wie stark diese Korrelation ist. Bei mehrjährigen Erhebungen, wie bei einem Monitoring üblich, ergeben sich hier mannigfaltige Kombinationsmöglichkeiten, zusätzlich sind dann Interaktionen zwischen dem Zeitverlauf und den Effektgrößen zu berücksichtigen. Zu all diesen erwähnten Rahmenbedingungen fehlen konkrete Daten. Prinzipiell könnte die Power für eine ANOVA für Messwiederholungen mit der verwendeten Software G*Power zwar berechnet werden, es müssten zum jetzigen Zeitpunkt jedoch so viele unsichere Annahmen und Schätzungen einfließen, dass das Ergebnis nicht mehr stark belastbar wäre. Aus diesen Gründen haben wir hier darauf verzichtet, die Power für eine ANOVA für Messwiederholungen zu berechnen, da dies mit zu vielen Unsicherheitsfaktoren behaftet ist. Als Daumenregel kann gelten, dass der benötigte Stichprobenumfang für eine ANOVA für Messwiederholungen zwischen dem für unabhängige und verbundenen Stichproben liegen sollte (s.o.).

Tab. 2. Gesamter zeitlicher Erhebungsaufwand⁶ pro Jahr in Stunden (h) bei zeitlich gepaarten Stichproben für „alle Arten“ bei verschiedenen Transektlängen und 4 Begehungen. Es sind zwei Varianten dargestellt: (i) eine Reisezeit von 2 Stunden zwischen den Transekten, und (ii) eine Reisezeit von 0,5 Stunden zwischen den Transekten. Da die Korrelation in der Artenzahl zwischen zwei Erhebungen für die berechneten Transektlängen unbekannt ist, wurde eine Spanne angegeben (Min – Max), welche auf den bekannten Korrelationen aus dem BDM ($r = 0.35$) und dem LANAG ($r = 0.52$) beruht. Der gesamte Erhebungsaufwand für ein Monitoring muss mit der Anzahl der Jahre, in denen das Monitoring stattfindet, multipliziert werden (mindestens mal zwei für zwei Erhebungszeitpunkte). Annahmen: 80% Power, $\alpha = 0.05$, 2-seitiger t-test.

Alle Arten	10% Effekt	20% Effekt	30% Effekt	40% Effekt	50% Effekt
2h Reisezeit					
5.0 km Transekt	1694 – 2248	462 – 585	246 – 277	154 – 184	154
2.5 km Transekt	1404 – 1848	374 – 468	187 – 234	140 – 163	117
1.5 km Transekt	1533 – 2057	392 – 504	187 – 243	130 – 149	93 – 112
1.0 km Transekt	1556 – 2086	393 – 513	188 – 239	119 – 153	102
0.5 km Transekt	2260 – 3045	549 – 722	251 – 329	157 – 188	109 – 125
0.25 km Transekt	3630 – 5880	1020 – 1365	465 – 600	270 – 330	180 – 225
0.5h Reisezeit					
5.0 km Transekt	1496 – 1985	408 – 516	217 – 244	136 – 163	136
2.5 km Transekt	1008 – 1327	268 – 336	134 – 168	100 – 117	84
1.5 km Transekt	1016 – 1364	260 – 334	124 – 161	86 – 99	62 – 74
1.0 km Transekt	910 – 1220	230 – 300	110 – 140	70 – 90	60
0.5 km Transekt	1080 – 1455	262 – 345	120 – 157	75 – 90	52 – 60
0.25 km Transekt	1573 – 2548	442 – 591	201 – 260	117 – 143	78 – 97

⁶ N.B.: Fahrtkosten und Spesen wurden mit einbezogen und ebenso veranschlagt, wobei die Kosten in Zeitaufwand umgerechnet wurden (siehe Supplement VI).

6 Analyse von Datenpools

Die Trennschärfe und Aussagekraft eines GVO-Monitoring von Schmetterlingen kann im Prinzip durch die Fokussierung auf bestimmte, ausgewählte Artenpools erhöht werden. Die Begrenzung auf bestimmte Gruppen von Schmetterlingsarten kann dazu dienen, einen GVO-Effekt besser zu lokalisieren und/oder besser dem Anbau einer bestimmten GV-Feldfrucht zuzuordnen. Eine weitere Vorgehensweise kann sein, bevorzugt diejenigen Arten auszuwerten, die eine höhere Expositions-Wahrscheinlichkeit gegenüber der in Frage stehenden GV-Pflanze aufweisen, da hier etwaige GVO-Effekte am ehesten zu erwarten sind.

Stationäre Arten. Ein Beispiel zur besseren Lokalisierung eines GVO-Effektes ist die bereits erwähnte Analyse allein der „stationären Arten“ (siehe Supplement VII zu den einzelnen Arten). Da stationäre Arten geringere Aktivitätsradien und Migrationsdistanzen aufweisen, wäre ein Effekt auf diese Arten besser einer engeren Lokalität zuzuordnen und würde somit eine bessere Kausalitätsbestimmung zu GVO-Flächen bieten. Die Expositions-wahrscheinlichkeit von Tieren, die in einem Gebiet mit GVP-Anbau erfasst werden, darf bei stationären Arten demnach als höher angenommen werden als etwa bei mobilen Arten. Zusätzlich zeigt sich ein GVO-Effekt vermutlich bei den stationären Arten früher, da die stationären Arten zum einen einer räumlich begrenzten GVO-Wirkung nicht so gut ausweichen können und zum anderen Populationsverluste nicht so gut durch frische, einwandernde Individuen ausgeglichen werden können wie bei den mobileren Arten.

Raupen. Eine weitere Selektion und Bildung eines bestimmten Artenpools wäre über eine spezielle Analyse derjenigen Arten möglich, welche im Adult- oder aber im Larvalstadium eine höhere Expositionswahrscheinlichkeit gegenüber der GV-Pflanze aufweisen. Die Abschätzung dieser Expositionswahrscheinlichkeit wird in den meisten denkbaren Fällen über die zeitliche und räumliche Überlappung des Auftretens der Schmetterlingsarten mit dem Auftreten der GV-Pflanzen bzw. ihrer Wirkungen stattfinden. Das Vorkommen der Imagines und ihre potentielle Exposition werden durch die Transektzählungen erfasst. Zur direkten Erfassung der Präimaginalstadien im Agrarraum existieren erste methodische Konzeptentwicklungen (VDI 2010; LANG et al. 2011). Raupenerfassungen sind jedoch sehr zeitintensiv, und will man deshalb Raupen nicht direkt erfassen, so wäre eine weitere Analysemöglichkeit die Klassifizierung der einzelnen Schmetterlingsarten nach der Expositionszeit ihrer jeweiligen Raupenstadien gegenüber einem potentiellen GVO-Einfluss (z.B. durch Nahrungsaufnahme; diese findet hauptsächlich im Raupenstadium statt). Das heißt, man würde die Auswertung auf einen bestimmten Artenpool der mittels Transektkartierung erfassten adulten Falter beschränken, für die eine höhere Wahrscheinlichkeit eines Effektes aufgrund ihrer Raupenexposition gegenüber der GVO-Wirkung besteht. Als Beispiel, wollte man Bt-Mais prüfen, welcher hauptsächlich im Juli blüht, könnte man die Auswertung der Ergebnisse der Imaginalerhebung auf diejenigen Arten beschränken, welche als Raupen im Juli bevorzugt auch vorkommen, und die gegenüber der Maisblüte nicht exponierten Arten so ausschließen.

Erste Ansätze zu einer solchen Klassifizierung nach der Expositionszeit der Raupen wurden hier erarbeitet (siehe Supplement VII). Sie können nun als Grundlage zur Bildung von Artenpools mit erhöhter Expositionswahrscheinlichkeit der Raupenstadien herangezogen werden. Für insgesamt 76 Arten wurden die Zeiträume bestimmt, in denen sie als Jungraupen (L1 – L3) oder Altraupen (L3 – L5) auftreten. Diese Auftrennung nach Alter der Raupen erfolgte, da sich die verschiedenen Altersstadien in ihrer Ernährungsökologie unterscheiden: Jungraupen nehmen geringere Mengen an Nahrung zu sich, fressen dabei aber selektiver, während Alt-

raupen große Menge fressen und weniger wählerisch sind. Des Weiteren reagieren Jungraupen oft sensibler auf toxische Stressoren als ältere Raupen.

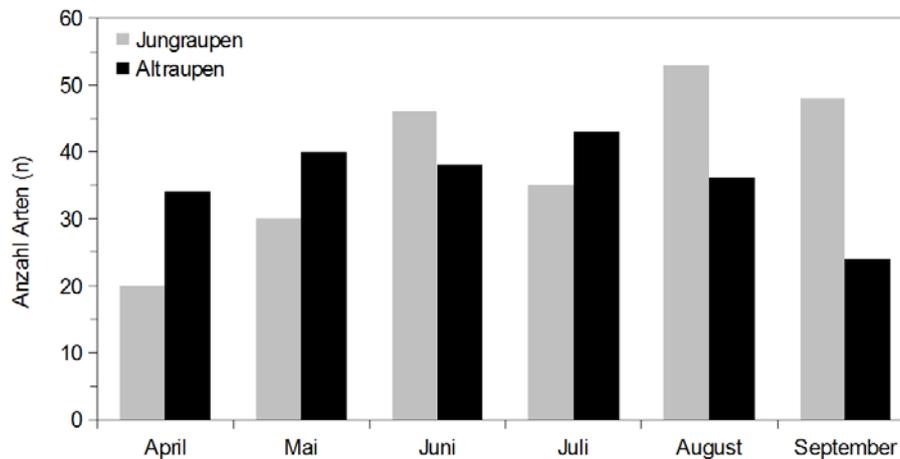


Abb. 18. Potentielle Exposition und Vorkommen von Schmetterlingsraupen während der Saison. Anzahl Arten, nach Jung- und Altraupen getrennt.

Als Jungraupen sind zwischen April und September pro Monat 20 – 53 Arten potentiell exponiert und als Altraupen 24 – 43 Arten pro Monat (Abb. 18; siehe Supplement VII zu den einzelnen Arten). Mit dieser Klassifizierung ist es nun erstmals möglich, den Einfluss auf Artenzahl und Abundanz von Tagfalterarten entsprechend der Expositionszeit ihrer Larvalstadien auf der Basis von Transektzählungen der Imagines zu testen.

Idealerweise würde man sich für eine derartige Artenauswahl nach den Raupenzeiten zusätzlich an den stationären Arten orientieren, da bei mobilen Arten ein eventuell nicht stattfindender Schlupf der Raupen bzw. der Puppen durch Zuflüge adulter Tiere maskiert werden kann. Weiterhin muss beachtet werden, dass für viele Arten, deren Raupen in einem Jahr mit GVO-Anbau eventuell exponiert waren, die Falter erst im Folgejahr schlüpfen, und so ein eventueller Effekt des GVO-Anbaus auch erst im Folgejahr erkannt werden kann.

7 Allgemeine Schlussfolgerungen

Je länger das Transekt ist, desto mehr Arten werden nachgewiesen, aber selbst bei 5 km Transektlänge ist noch kein Plateau der Artenzahl erreicht. Mit Reduzierung der Anzahl an Begehungen sinkt die nachgewiesene Artenzahl. Die Streuung der Artenzahl ist bei Transektlängen unter 1 km besonders hoch, bei Transektlängen über 1 km niedriger und relativ konstant. Bei Berücksichtigung aller Arten hat eine Reduzierung der Anzahl der Begehungen keinen signifikanten Einfluss auf die Streuung der Artenzahl, während bei stationären Arten die Varianz bei vier Begehungen und kurzen Transekten (<1.5 km) stark anzusteigen scheint.

- Entsprechend der Muster der Varianzen fallen die Ergebnisse der Poweranalyse aus. Kurze Transekte (< 1 km) haben eine geringere Power zum Nachweis eines Effektes auf die Gesamt-Artenzahl, während eine Reduzierung auf vier Begehungen keinen substantiellen Einfluss bei längeren Transekten (≥ 1.5 km) hat. Zur Reduzierung des benötigten Stichprobenumfangs sollten daher längere Transekte beprobt werden, oder bei kurzen Transekten diese häufiger begangen werden.
- Bei wiederholter Beprobung derselben Transekte liegt eine verbundene, zeitlich gepaarte Stichprobe vor, die eine höhere Power aufweist und den benötigten Stichprobenumfang um circa ein Drittel bis zur Hälfte reduzieren kann. Außerdem müssen bei kontinuierlicher Bearbeitung derselben Transekte Nutzungs- und Habitatkartierungen nur einmal durchgeführt und dann ggf. aktualisiert werden.
- Der Anteil der Reisezeit am gesamten Erhebungsaufwand spielt für die Effizienz eines Monitoring eine wichtige Rolle. Kürzere Transekte benötigen weniger Erfassungsaufwand, es muss aber eine höhere Anzahl zum Nachweis eines bestimmten Effektes beprobt werden. Der Wechsel von einem Transekt zum nächsten erfordert Zeit, die nicht für die eigentliche Erhebung zur Verfügung steht. Die effizienteste Kombination aus Erfassungsaufwand und Transektlänge ergibt sich für vier Begehungen und Transektlängen zwischen 1.5 km und 2.5 km.
- Die wiederholte Beprobung derselben Transekte reduziert den Aufwand beträchtlich, denn zum einen erhöht sich die statistische Power bei verbundenen Stichproben und zum anderen wird die Beprobung der Transekte auf verschiedene Jahre aufgeteilt (siehe auch Kapitel „Monitoring-Design“).
- Aus rein ökonomischer Sicht (maximale Effizienz) müsste ein Tagfalter-Monitoring daher folgende Eigenschaften haben: Transektlänge von 1.5 km Länge, vier bis fünf Begehungen des Transekts mit Schwerpunkt auf die Sommerzeit Ende Juni bis Ende August und wiederholtes Erheben derselben Transekte in verschiedenen Jahren (verbundene Stichprobe). Abweichungen von dieser ökonomischen Optimalvariante sind dann sinnvoll oder notwendig, wenn mehr als ca. 2/3 der vorhandenen Arten erfasst werden müssen oder wenn Aussagen zu Trends einzelner ausgewählter, eher seltenen oder speziell exponierten Tagfalterarten gewünscht sind. Die Gruppe der stationären Arten, mit der ein lokal wirkender GVO-Effekt am besten nachzuweisen sein dürfte, wird auch mit einer auf Effizienz getrimmten Methodik als Ganzes noch gut erfasst. Ein Monitoring der stationären Arten erfordert gegenüber dem Monitoring aller Arten allerdings eine erhöhte Anzahl an Transekten (Stichprobengröße insgesamt), das heißt einen höheren Gesamtaufwand.

- In Supplement VI finden sich die Ergebnisse zur Ableitung der benötigten Arbeitsstunden für das GVO-Monitoring für verschiedene Transektlängen und Reisezeiten. Der minimale Gesamtaufwand für die Rohdatenproduktion in einem Tagfalter-Monitoring (eine Erhebungsrunde für den Vergleich GVO- vs. nicht-GVO-Transekte) wird sicher nicht unter 1000 Arbeitsstunden liegen (Annahme dabei: ein Effekt von 20% soll mit 80% Sicherheit nachgewiesen werden). Der Gesamtaufwand kann um ein Mehrfaches ansteigen je nach den speziellen Anforderungen (kleinere Effektgröße nachzuweisen, Trends ausgewählter Artengruppen zu bestimmen, umfassenderer Artenpool zu erfassen).

8 Monitoring-Design

Vorüberlegungen: Es gibt verschiedene Möglichkeiten ein GVO-Monitoring zu planen und auszuwerten. Eine Variante wäre, immer dieselben, stationären Transekte zu beproben, also eine verbundene, zeitlich gepaarte Stichprobe zu bearbeiten, und dann die Entwicklung der Schmetterlingsfauna über die Zeitachse in Bezug zum GVO-Anbau zu setzen (Abb. 19 A). Das kann ein simpler Vergleich der Situation vor GVO-Anbau mit der Situation danach sein. Auch wäre es möglich, die Resultate der Schmetterlingserhebungen in Bezug zu setzen mit verschiedenen Flächenteilen von GVO in den betreffenden Regionen (analog zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen) und über die Zeit zu analysieren.

Eine weitere Möglichkeit ist ein direkter, zeitlich simultaner Vergleich von GVO-Transekten mit Nicht-GVO-Transekten (Abb. 19 B). Als GVO-Transekte können Transekte neben GVO-Feldern fungieren oder aber auch Transekte in Regionen mit hohem GVO-Anteil (und entsprechend die Nicht-GVO-Transekte). Zu einem expliziten Zeitpunkt, z.B. in einem bestimmten Jahr, wird dann GVO mit Nicht-GVO verglichen. Wird dieser Vergleich mit zufällig ausgewählten Transekten vorgenommen, dann handelt es sich um eine unabhängige Stichprobe. Bildet man räumlich benachbarte GVO-Nicht-GVO Paare – die rein aufgrund der Nähe zueinander eine ähnliche Schmetterlingsfauna haben werden – so handelt es sich um eine verbundene, **räumlich gepaarte** Stichprobe (im Gegensatz zur zeitlich gepaarten Stichprobe, vgl. Abb. 19 A).

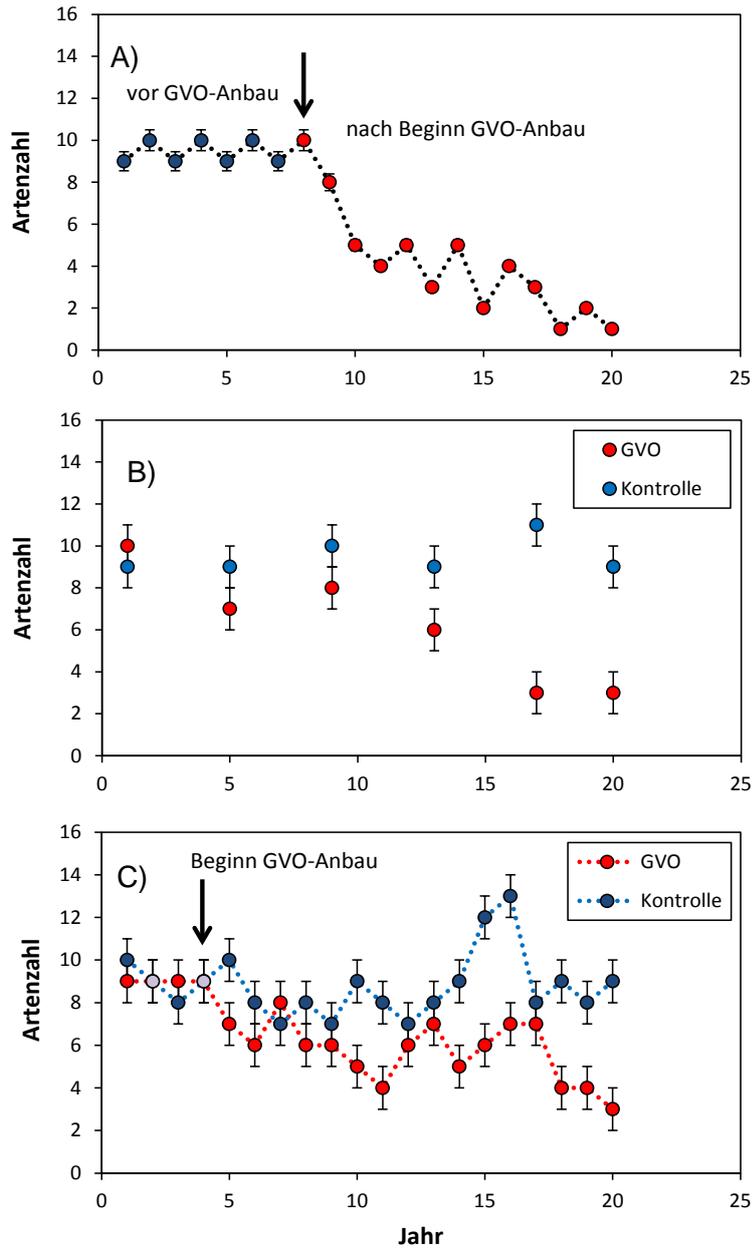


Abb. 19. Verschiedene potentielle Analysemöglichkeiten für ein GVO-Monitoring bei mehrjährigen, hypothetischen Datenreihen. (A) Vergleich der Situation vor und nach GVO-Anbau: dieselben Transekte werden wiederholt beprobt (= verbundene, zeitlich gepaarte Stichproben) und die Datenreihe über die Zeitachse in Bezug zum GVO-Anbau gesetzt; (B) Vergleich GVO mit Nicht-GVO (unabhängige Stichproben): zu einem bestimmten Zeitpunkt (Jahr) werden GVO-Transekte mit Kontrolltransekten verglichen. In dieser Abbildung wird der Vergleich in verschiedenen Jahren wiederholt. Dabei handelt es sich aber jeweils um zwei neu gezogene Stichproben an Messflächen; (C) Zeitlich gepaarter Vergleich von GVO mit Nicht-GVO (= Kombination aus A und B): dieselben GVO-Transekte und Kontrolltransekten werden wiederholt beprobt und miteinander verglichen.

Die ideale Vorgehensweise ist unserer Ansicht nach eine Kombination der beiden Varianten, d.h. eine Kombination aus verbundenen und unabhängigen Stichproben: stationäre GVO-Transekte werden mit stationären Nicht-GVO-Transekten über die Zeitachse verglichen (Abb. 19 C). Auch bei diesem Design kann man die Transekte entweder unabhängig voneinander auswählen oder räumlich gepaarte GVO-Nicht-GVO Paare bilden. Dieses „Kombinationsdesign“ (Abb. 19 C) ist aber unter Umständen in der Landschaft nicht einfach zu realisieren und ist unter anderem abhängig von den gegebenen Rahmenbedingungen wie z.B. der Anbaurrate von GVO, der Lage der Felder zueinander oder der Fruchtfolge. Ein Monitoring-Design sollte also ausreichend flexibel formuliert sein, um an die jeweilige Situation ggf. angepasst werden zu können. Prinzipiell kann natürlich auch jederzeit vom „Kombinationsdesign“ (Abb. 19 C) auf eine der beiden einfacheren Varianten (Abb. 19 A, B) zurückgefahren werden, falls notwendig. Zum Beispiel könnten bei einer sehr hohen Anwendungsrate von GVO die Kontrolltransekte knapp werden: in diesem Fall würde man auf den zeitlich gepaarten Vergleich ausweichen (Abb. 19 A). Oder aber die Anbausituation gestaltet sich von Jahr zu Jahr so dynamisch, dass ein zeitlich gepaarter Vergleich von stationären Transekten keinen Sinn mehr macht: in diesem Fall würde man auf den simultanen Vergleich von flexiblen GVO-Transekten mit Nicht-GVO-Transekten ausweichen (Abb. 19 B).

Ausgehend von den obigen Vorüberlegungen und dargestellten Resultaten wird ein konkretes Monitoring-Design vorgeschlagen, das einen Kompromiss zwischen Erfassungs-effizienz und ökologischer Aussagekraft darstellt und unter GVO-Anbaubedingungen praktikabel ist, d.h. ausreichend flexibel an die jeweilige Anbausituation angepasst werden kann. In Tabelle 3 sind die erarbeiteten, allgemein gültigen Rahmenbedingungen nochmals zusammengefasst (auf der Grundlage von Summenparametern wie Artenzahl und Gesamtabundanz).

Tab. 3: Rahmenbedingungen für das vorgeschlagene GVO-Monitoring.

Faktor	Details	Kommentar
Anzahl Begehungen	Vier bis fünf Begehungen von Mai bis August	(Hoch-)Sommer-Begehungen ergeben die höchste Arten- und Individuenzahl.
Erfassungsfrequenz	Jährlich	Frühere Erfassung eines Effektes → Frühwarnsystem
Transekt	1.5 km – 2.0 km lang	Transekt in einem Stück oder in verschiedene Teilstücke aufgeteilt.
Transekt	Unterteilt in 50m-Abschnitte (oder GPS-Lokalisation der Beobachtungen)	Eine abschnittsweise Erfassung ermöglicht eine räumliche Zuordnung der Daten.
Stichprobenumfang	Prospektive Poweranalyse	Festlegung des zu entdeckenden Effekts und der Zielparameter → Schätzung der Anzahl benötigter Transekte
Einflussfaktoren	Habitat- und Nutzungskartierung bezogen auf 50m-Abschnitte	GVO-Effekt besser erkennbar durch Eliminierung „störender“ Variablen.
Einflussfaktoren	Vegetationskartierung, Blühaspekt bezogen auf 50m-Abschnitte	GVO-Effekt besser erkennbar durch Eliminierung „störender“ Variablen.
Stichproben	Gepaarte Stichproben, d.h. verbundene Transekte	Zeitliche Paarungen (= wiederholte Aufnahmen auf denselben Transekten); falls möglich kombiniert mit räumlichen Paarungen. Im Falle räumlicher Paarung Maximalabstand = 10 km.
Analyse	Regionalisierte Auswertung.	Reduzierung der Varianz → bessere Power.
Analyse	Ausgewählte Gruppen	z.B. stationäre Arten, seltene Arten, besonders betroffene Arten.
Zusatzkartierung	Monitoring von Schmetterlingsraupen an Brennesseln.	Vgl. VDI (2010) und Lang et al. (2011).
...		

Ein GVO-Monitoring könnte als Kulisse fest installierte Landschaftsausschnitte (Quadrate) gewisser Größe als Grundlage benutzen (Abb. 20). Diese Landschaftsausschnitte werden in GVO-Quadrate mit GVO-Anbau und Kontroll-Quadrate ohne GVO-Anbau unterschieden (oder wahlweise in Quadrate mit unterschiedlichem Flächenanteil an GVO-Anbaufläche, d.h. Anbauintensität von GVO). Innerhalb dieser Quadrate werden Transektstrecken eingerichtet. Prinzipiell gibt es mehrere Möglichkeiten der Transekteinrichtung, die sich nicht unbedingt gegenseitig ausschließen: fixe oder mobile Transekte sowie eine zusammenhängende Transektstrecke oder mehrere einzelne Teilstrecken (Abb. 20). Alle Transektstrecken müssen in 50 m-Abschnitten unterteilt werden, wobei für jeden Abschnitt eine separate Artenliste der Tagfalter erstellt wird. Dadurch wird eine lokale Zuord-

nung der Daten möglich. Wahlweise kann auch ein GPS-Gerät verwendet werden, mit dem jede einzelne Beobachtung eines Falters eingemessen wird. Erste Erfahrungen mit dieser elektronischen Erfassungstechnik der Arten wurden im Biodiversitätsmonitoring Schweiz bereits gemacht. Die kurzen mobilen Transekte werden jedes Jahr neu so platziert, dass ein Teil direkt neben GVO-Feldern liegt sowie ein Teil an nicht-GVO-Feldern (Abb. 20). Das Folgejahr nach einem GVO-Anbau muss jedoch auch immer beprobt werden, da eventuelle Effekte durch die Generationenfolge erst dann auf der Fläche sichtbar werden können. Dieses Design ermöglicht eine große Flexibilität bzgl. der Einrichtung des Monitoring, welches aufgrund der dynamischen, sich jährlich ändernden Schlagbewirtschaftung eventuell notwendig werden kann. Damit ist z.B. ein Vergleich auf der Skala der Einzelparzellen möglich, indem die kurzen Transekte an GVO-Feldrändern mit Kontrollfeldrändern verglichen werden. Ebenso ist ein Vergleich auf der Ebene der Landschaftsskala möglich, indem die langen Transekte der „GVO-Quadrate“ mit den „Kontrollquadraten“ verglichen werden. Ein Vergleich auf Landschaftsskala wäre auch mit den kurzen Transekten eines Quadrates möglich, wenn diese zu einer Gesamtsumme pro Quadrat zusammengefasst werden. Ebenso ist es unter bestimmten Umständen möglich, auf der Grundlage der fixen, längeren Transektstrecken einen Vergleich auf Parzellenskala durchzuführen, falls die jeweiligen 50 m-Abschnitte des Transektes neben GVO-Feldern und Kontrollfeldern liegen. Die Transektführung kann zusätzlich auch auf die Lage zu schützender, naturschutzfachlich wertvoller Flächen Bezug nehmen, indem sie beispielsweise gezielt entlang von artenreichen Wiesen (Schmetterlingshabitate) platziert werden.



Abb. 20. Hypothetisches Schema eines GVO-Monitoring. Beprobung verschiedener Landschaftsauschnitte: Kontroll-Quadrate ohne GVO-Anbau (links) und GVO-Quadrate mit GVO-Anbau (rote Flächen). Fix eingerichtete lange Transektstrecken (rote Linie) und/oder mobile kurze Transekte (blaue Linien) (Karten aus dem Schweizer Biodiversitätsmonitoring, nicht maßstabgetreu).

Das vorgeschlagene Design wäre ein Kompromiss zwischen maximaler Erhebungseffizienz (hohe Sensitivität bei minimiertem Aufwand) und ökologischer Aussagekraft (möglichst viele Arten erfasst, Parallelität der Erfassung mit dem Vorhandensein von GVP-Anbauflächen). Das vorgeschlagene Design bietet die Möglichkeit der Anpassung des Monitoring an die zeitliche und räumliche Variabilität des GVP-Anbaues und kann erste Hinweise auf eine mögliche Kausalität von GVO-Effekten liefern.

Zu beachten ist, dass das vorgeschlagene Design auf rein statistischen und ökonomischen Überlegungen beruht. Erstes Entscheidungskriterium müssen aber immer ökologische Überlegungen sein! Beachtet werden sollte z.B. ob geschützte Arten oder durch den GVP-Anbau besonders betroffene Arten im Untersuchungsgebiet vorkommen und ob die in Frage kommenden Effekte mit dem veranschlagten Stichprobenumfang detektiert werden können. Die hier präsentierten Reduktionen der Transektlänge und Begehungen sowie die darauf aufbauenden Kalkulationen beruhen auf der Gesamtartenzahl und der Gesamtbundanz bzw. auf zusammengefassten Artengruppen („stationäre Arten“). Effekte auf kleinere Artengruppen oder einzelne Arten, insbesondere seltene Arten, können daher unter Umständen bei alleiniger Berücksichtigung dieser Summenparameter und den angenommenen methodischen Rahmenbedingungen unentdeckt bleiben. Die Analyse von einzelnen Arten würde zwar eine größere Anzahl an Transekten erfordern (LANG & BÜHLER 2012), was einen höheren Aufwand verursacht, aber auch eine verbesserte Aussagekraft liefert. Der Gesamtaufwand wird aber auch wesentlich von der Fahrtzeit zwischen den einzelnen Transekten bestimmt, insbesondere zum Nachweis geringer Effektstärken, so dass mit einer Regionalisierung der Aufnahme und geschickter Planung eine Stellschraube zur Aufwandsreduzierung vorhanden ist.

9 Literatur

- AMT FÜR RAUMPLANUNG THURGAU (2010): Biodiversitätsmonitoring Thurgau - Resultate der Ersterhebung 2009 – 2010. Unveröffentlichter Bericht.
- AVIRON, S., SANVIDO, O., ROMEIS, J., HERZOG, F. & BIGLER, F. (2009): Case-specific monitoring of butterflies to determine potential effects of transgenic Bt-maize in Switzerland. *Agriculture Ecosystem & Environment* 131: 137-144.
- BRUNZEL, S. & PLACHTER, H.: Bewerten mit Tagfaltern im Naturschutz. In: SETTELE, J., R. FELDMANN, R. & REINHARDT, R. (Hrsg.): *Die Tagfalter Deutschlands*. Stuttgart (Ulmer), S. 186–213.
- BÜHLER, C. (2006): Biodiversity monitoring in Switzerland: What can we learn for general surveillance of GM crops? *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 1: 37-41.
- BÜHLER, C. (2007): Wunsch und Wirklichkeit – Wie lässt sich ein GVO-Monitoring kosteneffizient realisieren? In: Breckling, B. et al., *GVO-Monitoring vor der Umsetzung*. Naturschutz und Biologische Vielfalt 49: 57-69.
- BÜHLER, C., BIRRER, S., KOHLI, L., MARTINEZ, N., PLATTNER, M. & ROTH, T. (2008) Erhebungsdesign und –Methoden für ein GVP-Monitoring Schweiz. Unveröffentlichter Bericht für das Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- EC [European Community] (2001) Directive 2001/18/ EC of the European Parliament and of the Council of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EC-Commission Declaration. *Official Journal European Communities L106*: 1-39.
- FAUL, F., ERDFELDER, E., LANG, A.-G. & BUCHNER, A. (2007): G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods* 39: 175-191.
- FLEISHMAN, E. & MURPHY, D.D. (2009) A realistic assessment of the indicator potential of butterflies and other charismatic taxonomic groups. *Conservation Biology* 23: 1109–1116.
- GRAEF, F., ZÜGHART, W., HOMMEL, B., HEINRICH, U., STACHOW, U. & WERNER, A. (2005) Methodological scheme for designing the monitoring of genetically modified crops at the regional scale. *Environmental Monitoring and Assessment* 111: 1-26.
- HAUGHTON, A.J. ET AL. (2003): Invertebrate re-sponses to the management of genetically modified herbicide-tolerant and conventional spring crops. II. Within-field epigeal and aerial arthropods. *Philosophical Transactions Royal Society London B* 358: 1863–1877.
- HINTERMANN & WEBER AG (2009): Biodiversitätsmonitoring Schweiz (BDM). Anleitung für die Feldarbeit zum Indikator „Z7-Tagfalter“. Unveröffentlichte Anleitung für KartiererInnen (Stand 30.03.2009), Hintermann & Weber AG, Reinach, Schweiz, 31 S.
- LANG, A. (2004): Monitoring the impact of Bt maize on butterflies in the field: estimation of required sample sizes. *Environmental Biosafety Research* 3: 55–66.
- LANG, A. & OTTO, M. (2010): A synthesis of laboratory and field studies on the effects of transgenic Bt-maize on non-target Lepidoptera. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 135: 121-134.
- LANG, A., DOLEK, M., THEIßEN, B. & ZAPP, A. (2011) Are adult Crambid Snout Moths (*Crambinae*) and larval stages of Lepidoptera suitable tools for an environmental monitoring of transgenic crops? – Implications of a field test. *Insects* 2: 400-411.

- LANG, A. & BÜHLER, C. (2012) Estimation of required sampling effort for monitoring the possible effects of transgenic crops on butterflies: lessons from long-term monitoring schemes in Switzerland. *Ecological Indicators* 13: 29-36.
- LANG, A., SEITZ, H., BERHORN, F., BRUNZEL, S., DOLEK, M., ERLACHER, S., FELKE, M., LEOPOLD, P., SCHMIDT, A. & THEIßEN, B. (2006): Standardisierte Erhebungsmethoden für Schmetterlinge (Lepidoptera) im Rahmen eines Monitorings für gentechnisch veränderte Organismen (GVO) – Stand und Perspektiven. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 66: 315–318.
- MONSANTO (2007): Stellungnahmen zum Monsanto MON810 Monitoring und Implementierungsplan. Schreiben an das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), 160S.
- MONSANTO (2009): GERMAN NETWORK MONITORING 2008. Bericht an das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), 31S.
- MIDDELHOFF, U.; HILDEBRANDT, J.; BRECKLING, B. (2006): Die Ökologische Flächenstichprobe als Instrument eines GVO-Monitoring. BfN-Skripten 172, 95 S. u. Anhang.
- MUSCHE, M., SETTELE, J. & DURKA, W. (2009): Basisstudie zur Wechselwirkung von gentechnisch verändertem MON810-Mais mit spezifischen Schmetterlingsarten. Bericht an das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Ref. 55/Bio- und Gentechnik, Chemikalien. 77 S.
- PEARMAN, P.B. & WEBER, D. (2007): Common species determine richness patterns in biodiversity indicator taxa. *Biological Conservation* 138: 109-119.
- PLEASANTS, J.M. & OBERHAUSER, K.S. (2013): Milkweed loss in agricultural fields because of herbicide use: effect on the monarch butterfly population. *Insect Conservation and Diversity* 6: 135-144.
- POLLARD, E. & YATES, T.J. (1993): Monitoring butterflies for ecology and conservation. The British butterfly monitoring scheme. London (Chapman & Hall), 274S.
- REINHARDT, R., SBIESCHNE, H., SETTELE, J., FISCHER, U. & FIEDLER, G. (2007): Tagfalter von Sachsen. In: KLAUSNITZER, B. & REINHARDT, R. (Hrsg.) Beiträge zur Insektenfauna Sachsens, Band 6. Entomologische Nachrichten und Berichte, Beiheft 11, Dresden, 696 S.
- ROTH, T., AMRHEIN, V., PETER, B. & WEBER, D. (2008): A Swiss agri-environment scheme effectively enhances species richness for some taxa over time. *Agriculture Ecosystem & Environment* 125: 167-172.
- ROY, D.B. ET AL. (2003): Invertebrates and vegetation of field margins adjacent to crops to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Philosophical Transactions Royal Society London. B* 358: 1879-1898.
- RUNDLÖFF, M. & SMITH, G. (2006): The effect of organic farming on butterfly diversity depends on landscape context. *Journal of Applied Ecology* 43:1121–1127.
- SANVIDO, O., BIGLER, F., WIDMER, F. & WINZELER, M. (2004): Umweltmonitoring gentechnisch veränderter Pflanzen in der Schweiz. Schriftenreihe der FAL 51, 90 S.
- SETTELE, J. & REINHARDT, R. (2000): Ökologie der Tagfalter Deutschlands: Grundlagen und Schutz-aspekte. In: SETTELE, J., FELDMANN, R. & REINHARDT, R. (Hrsg.): Die Tagfalter Deutschlands. Stuttgart (Ulmer): 60-123.

- SETTELE, J., FELDMANN, R. & REINHARDT, R. (1999): Die Tagfalter Deutschlands. Ein Handbuch für Freilandökologen, Umweltplaner und Naturschützer. Stuttgart (Ulmer), 452 S.
- SETTELE, J., STEINER, R., REINHARDT, R., FELDMANN, R. & HERMANN, G. (2009): Schmetterlinge. Die Tagfalter Deutschlands. 2. Auflage, Stuttgart (Ulmer), 256 S.
- SUTHERLAND, W.J. (2006): Ecological Census Techniques. A Handbook. Cambridge University Press, 432 S.
- THOMAS, J.A. (2005) Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions Royal Society B* 360: 339–357.
- 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. (2004): Comparative losses of British butterflies, birds, and plants and the global extinction crisis. *Science* 303: 1879-1881.
- UFZ [Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle] (2009): Tagfalter-Monitoring Deutschland ist nicht als Monitoring für gentechnisch veränderten Mais MON810 geeignet. Pressemitteilung vom 02. April 2009. <http://www.ufz.de/index.php?de=17932>, letzter Aufruf 10.09.2009.
- VAN STRIEN, A.J., VAN DEN PAVERT, R., MOSS, D., YATES, T.Y. VAN SWAAY, C.A.M. & VOS, P. (1997): The statistical power of two butterfly monitoring schemes to detect trends. *Journal of Applied Ecology* 34: 817-828.
- VAN SWAAY, CAM., VAN STRIEN, A.J., HARPKE, A., FONTAINE, B., STEFANESCU, C., ROY, D., MAES, D., KÜHN, E., ÖUNAP, E., REGAN, E., ŠVITRA, G., HELIÖLÄ, J., SETTELE, J., WARREN, M.S., PLATTNER, M., KUUSSAARI, M., CORNISH, N., GARCIA PEREIRA, P., LEOPOLD, P., FELDMANN, R., JULLARD, R., VEROVNIK, R., POPOV, S., BRERETON, T., GMELIG MEYLING, A. & COLLINS, S. (2010) The European Butterfly Indicator for Grassland species 1990–2009. Report VS2010.010, De Vlinderstichting, Wageningen
- VDI [Verein Deutscher Ingenieure] (2006): VDI-Richtlinie 4330 Blatt 1: Beobachtung ökologischer Wirkungen gentechnisch veränderter Organismen; Gentechnisch veränderte Pflanzen; Grundlagen und Strategien. VDI-Handbuch Biotechnologie, Band 1: GVO-Monitoring.
- VDI [Verein Deutscher Ingenieure] (2010): Monitoring der Wirkungen gentechnisch veränderter Organismen (GVO). Standardisierte Erfassung von Schmetterlingen (Lepidoptera): Transektmethode, Lichtfang und Larvalerfassung. Richtlinie VDI 4330, Blatt 13. Beuth Verlag, Berlin.
- ZÖFEL, P. (1992) Statistik in der Praxis. Stuttgart (Fischer).
- ZÜGHART, W. & BRECKLING, B. (2003): Konzeptionelle Entwicklung eines Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen, Teil 1 und 2. UBA-Texte 50/03.

10 Zusammenfassung

Hintergrund

Die Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EC (EC 2001) schreibt bei einer Verwendung oder Marktzulassung gentechnisch veränderter Organismen (GVO) die Durchführung eines Monitorings der Umweltwirkungen verbindlich vor. Schmetterlinge (Lepidoptera) werden häufig als mögliche Beobachtungsgegenstände eines Monitorings von GMO genannt, da sie zum einen als allgemeines Schutzziel anerkannt und akzeptiert sind, und zum anderen Schmetterlinge insbesondere durch den Anbau von gentechnisch verändertem insektenresistentem Bt-Mais und herbizidtolerantem HT-Mais potentiell gefährdet sind. Die Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EC (EC 2001) empfiehlt, für das allgemeine GMO-Monitoring bereits bestehende Messnetze und Beobachtungsprogramme einzubeziehen, sofern diese dafür geeignet sind. Für den Bt-Mais MON810 hatte das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) gemeinsam mit dem Antragsteller (Firma Monsanto) für MON810 einen speziellen Monitoringplan für die Anbausaison 2008 festgelegt. Dieser Monitoringplan sah unter anderem die Auswertung der publizierten, jährlichen Berichte von fünf ausgewählten Beobachtungsprogrammen vor, darunter auch das Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD). Der von Monsanto vorgelegte Monitoringbericht zeigte jedoch, dass der praktizierte Ansatz einer Einbindung bestehender Programme in das GMO-Monitoring aus fachlicher Sicht unzureichend ist und deutlicher Verbesserungsbedarf besteht.

Ziele

Das übergeordnete Ziel des Forschungsvorhabens war die Erstellung eines wissenschaftlichen Konzeptes für die Erfassung von Auswirkungen des Anbaus von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) auf Tagfalter. Dazu wurden grundlegende Analysen zu den speziellen Anforderungen an ein GMO-Monitoring von Tagfaltern durchgeführt und daraus fachlich begründete Standards, Stichprobenumfänge und Monitoringdesigns abgeleitet. Die einzelnen Arbeitsziele waren:

- (a) Prüfung und Bewertung methodischer und konzeptioneller Varianten der Schmetterlingserfassung und ihrer Leistungsfähigkeit auf der Grundlage bestehender Daten, und
- (b) Erarbeitung und Formulierung von fachlichen Anforderungen an ein aussagekräftiges und wissenschaftlich fundiertes Monitoring der Auswirkungen von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) auf Schmetterlinge sowie Abschätzung der Leistungsfähigkeit dieses Monitorings.

Vorgehen

Als Arbeitshypothese wurde von zwei prinzipiell verschiedenen Monitoring-Designs ausgegangen. Zum einen ein **lokales Monitoring** auf relativ kurzen Transekten (≤ 250 m) entlang von einzelnen Anbauflächen und/oder auf landwirtschaftlichen Betrieben, das eventuelle Effekte sehr nahe am Entstehungsort abzubilden vermag. Zum anderen ein **landschaftsräumliches Monitoring** mit langen Transekten (>2 km), welche eine größere räumliche Skala und einen Landschaftsausschnitt repräsentieren. Die beiden Monitoring-Typen unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der räumlichen Skala, für welche Aussagen

möglich sind. Diese beiden Monitoring-Typen wurden exemplarisch anhand der Datenbanken der Daten der Schweizer LANAG-Erfassung („Langfristbeobachtung der Artenvielfalt in der Normallandschaft des Kantons Aargau“, lokales Monitoring) und des BDM-Programms („Biodiversitätsmonitoring Schweiz“, Landschaftsmonitoring) sowie aus Deutschland mit einem Datensatz aus Köllitsch (Projekt „Monitoring von Vogelschutzmaßnahmen auf Ackerflächen im LVG Köllitsch, lokales Monitoring) und einem BfN-Datensatz analysiert (FKZ 804 89 001, Landschaftsmonitoring). Die Felddaten aller Datensätze wurden nach der so genannten Linientranssekt-Methode für tagaktive adulte Falter aufgenommen. Die Ergebnisse dieser Transektehebungen wurden benutzt, um in Simulationen und Berechnungen grundsätzliche methodische Einflussfaktoren auf die Ergebnisse eines Tagfalter-Monitorings zu untersuchen. Die untersuchten Variablen waren Gesamtartenzahl, Gesamtabundanz und Artenzahl ausgewählter Artengruppen (z.B. stationäre Arten, seltene Arten). Als maßgebende Einflussfaktoren wurden die Transektlänge, die Anzahl der Begehungen und die gewählten Zeitfenster der Falter-Aufnahmen getestet. Geprüft wurde auch, inwiefern nahe benachbarte Transekte sich in ihrer Artenzusammensetzung ähneln, um abschätzen zu können, ob räumlich gepaarte Transekte für ein GVO-Monitoring einen Vorteil bedeuten könnten. Aufgrund dieser Berechnungen wurden verschiedene methodische Varianten für ein GVO-Monitoring von Tagfaltern ausgewählt und für diese mittels einer Poweranalyse der benötigte Stichprobenumfang abgeschätzt. Schlussendlich wurden für geeignet eingeschätzte methodische Varianten die Erfassungseffizienz berechnet, das heißt das Verhältnis zwischen Erfassungsaufwand (Kosten) und erzieltm Ergebnis kalkuliert.

Ergebnisse

Näher **benachbarte Transekte** sind sich in ihrer Artenzusammensetzung tatsächlich ähnlicher. Ab einem Abstand von circa 10 km zwischen den Transekten geht die Ähnlichkeit jedoch stark zurück. Im Falle einer räumlichen Paarung sollten die Transektpaare daher nicht weiter als maximal 10 km (besser unter 5 km) voneinander entfernt sein, aber auch nicht so nahe zusammen liegen, dass die GVO-Effekte auf beide Flächen wirken. Aufgrund der Ähnlichkeit räumlich gepaarter Transekte wird eine **regionalisierte Auswertung** der Daten empfohlen. Als zusätzliche Aufnahmen zum Tagfalter-Monitoring sind **Habitat- und Nutzungskartierungen notwendig**, um eine verfeinerte Analyse zu ermöglichen, da z.B. angrenzender Wald und Grünland die Artenzahlen signifikant beeinflussten.

Mit steigender **Transektlänge** wurden mehr Arten beobachtet, aber selbst bei 5000 m Transektlänge war noch kein endgültiges Plateau der Artenzahl erreicht. Die Varianz der Artenzahl war bei einer Transektlänge unter 1000 m besonders hoch, über 1000 m Transektlänge konstant niedriger bis circa 2000 m, unabhängig von der Anzahl der **Begehungen**. Für ein (GVO-)Monitoring in landwirtschaftlichem Gebiet kann prinzipiell die Anzahl der Begehungen ohne gravierenden Informationsverlust auf vier bis fünf Begehungen pro Saison reduziert werden. Damit würden immer noch 80 bis 90% der Arten erfasst, die mit sieben Begehungen gefunden worden wären (BDM-Daten). Allerdings werden insbesondere die seltenen Arten dann nicht mehr so oft beobachtet, während die Gruppe der stationären Arten noch immer vergleichsweise gut erfasst wird. Der relativ geringe Informationsverlust bei vier bis fünf Begehungen gilt auch nur für längere Transekte (z.B. 2.5 km). Auf kurzen Transekten (z.B. 250 m) sind dagegen circa sieben bis neun Begehungen pro Saison notwendig, um 80 bis 90% der Arten zu erfassen, die mit 10 Begehungen gefunden würden (LANAG-Daten). Bezüglich

der **Zeitfenster** trugen die (Hoch-)Sommerbegehungen den Hauptteil der Arten- und Individuennachweise bei und ein Auslassen der Frühjahrsbegehung hatte einen stärkeren negativen Effekt auf die Ergebnisse als ein Verzicht auf eine Herbstbegehung.

Die **Poweranalysen** zeigten, dass bei kürzeren Transekten eine höhere Anzahl an Transekten benötigt wird, um einen bestimmten GVO-Effekt auf die mittlere Artenzahl nachzuweisen, weil mit sinkender Transektlänge unter 1000 m die Varianz der Artenzahl steigt. Der Nachweis eines Effektes auf die Abundanzen der Tagfalter (Summe der Individuenzahlen aller Arten) erfordert einen teils beträchtlich höheren Stichprobenumfang als bei der Artenzahl, ebenso wie die Analyse ausgewählter Artengruppen wie z.B. stationäre und seltene Arten. Werden dieselben Transekte wiederholt (in verschiedenen Jahren) beprobt, so liegt eine verbundene Stichprobe vor, in diesem Fall zeitlich verbundene Transekte. Die statistische Analyse verbundener Stichproben hat eine stärkere Power und würde eine Reduzierung des Stichprobenumfangs um circa 1/3 (bis 1/4) im Vergleich zu unabhängigen Stichproben ermöglichen.

In der **Effizienzanalyse** wurde berechnet, für welche Kombination von Transektlänge und Anzahl Begehungen der Aufwand (Kosten) minimiert wird, um eine gewünschte Effektgröße (z.B. Veränderung der Artenzahl um 10 Prozent) mit einer Sicherheit von 80% nachweisen zu können. Berücksichtigt wurden dabei der benötigte Stichprobenumfang für vier Begehungen (aufgrund der Poweranalysen) sowie der benötigte Zeitaufwand für die Erfassung der Tagfalter pro Transekt und weitere Arbeitsschritte wie z.B. Reiseaufwand oder die Orientierung im Gelände. Allgemein sinkt der Zeitbedarf für die Feldarbeit auf kürzeren Transekten aufgrund der geringeren Wegstrecke, wodurch pro Arbeitstag mehr Transekte bearbeitet werden können (aber es müssen mehr Transekte bearbeitet werden, um eine entsprechende Power zu erreichen). Die höchste Effizienz zum Nachweis eines bestimmten GVO-Effektes wiesen Transekte mit einer Länge zwischen 1.5 km und 2 km sowie vier Begehungen auf. Die Reisezeit zwischen den Transekten hat maßgeblichen Einfluss auf den erforderlichen Zeitaufwand: sinkt die Reisezeit zwischen den Transekten von angenommenen 2 Stunden auf eine halbe Stunde, so wird der Erfassungsaufwand bis auf die Hälfte reduziert. Der Erfassungsaufwand für die Gruppe der stationären Arten ist etwa 4 bis 15-mal so hoch im Vergleich zur Erfassung der Gesamtartenzahl. Werden dieselben Transekte wiederholt zu verschiedenen Erfassungszeitpunkten beprobt, so liegen zeitlich verbundene (gepaarte) Stichproben vor. Im Vergleich zu unabhängigen Stichproben ist der Erfassungsaufwand bei einer verbundenen Stichprobennahme deutlich erniedrigt, zum Teil bis um den Faktor vier.

Die Trennschärfe und Aussagekraft eines GVO-Monitoring von Schmetterlingen kann im Prinzip durch die Fokussierung auf bestimmte, ausgewählte **Artenpools** erhöht werden. Die Begrenzung auf bestimmte Gruppen von Schmetterlingsarten kann dazu dienen, einen GVO-Effekt besser zu lokalisieren und/oder besser dem Anbau einer bestimmten GV-Feldfrucht zuzuordnen. Ein im Forschungsvorhaben vorgeschlagener Artenpool sind z.B. die stationären Arten, da diese geringere Aktivitätsradien und Migrationsdistanzen aufweisen, damit also besser lokal zuordenbar sind. Eine weitere Selektion und Bildung eines bestimmten Artenpools wäre über eine spezielle Analyse derjenigen Arten möglich, welche im Adult- oder im Larvalstadium eine höhere Expositions Wahrscheinlichkeit gegenüber der GV-Pflanze aufweisen. Erste Ansätze zu einer solchen Klassifizierung nach der Expositionszeit der Raupen (Haupt-Fraßstadium) wurden im Vorhaben erarbeitet und können nun als Grundlage zur Bil-

derung von Artenpools mit erhöhter Expositions-wahrscheinlichkeit der Raupenstadien herangezogen werden.

Monitoring-Vorschlag

Aus rein ökonomischer Sicht (maximale Kosten-Effizienz) müsste ein Tagfalter-Monitoring folgende Eigenschaften haben: eine Transektlänge von 1.5 km Länge, vier bis fünf Begehungen des Transekts pro Saison mit Schwerpunkt auf die Sommerzeit Ende Juni bis Ende August und wiederholtes Erheben derselben Transekte in verschiedenen Jahren (verbundene Stichprobe). Wir empfehlen eine Kombination von räumlich und zeitlich gepaarten Transekten bzw. Probeflächen. Abweichungen von dieser ökonomischen Optimalvariante sind dann sinnvoll oder notwendig, wenn bei den Erhebungen mehr als ca. 2/3 der im Gebiet vorhandenen Arten tatsächlich erfasst werden müssen oder wenn Aussagen zu Trends einzelner ausgewählter, eher seltener oder speziell exponierter Tagfalterarten(-gruppen) gewünscht sind. Die Artenzahl der Gruppe der stationären Arten, mit der ein lokal wirkender GVO-Effekt am besten nachzuweisen sein dürfte, wird auch mit einer auf Effizienz getrimmten Methodik noch relativ gut erfasst. Allerdings erfordert der Nachweis eines Effektes auf die Artenzahl stationären Arten gegenüber dem Monitoring aller Arten eine erhöhte Anzahl an Transekten (Stichprobengröße insgesamt), das heißt einen höheren Gesamtaufwand.

Ein GVO-Monitoring könnte als Kulisse fest installierte Landschaftsausschnitte (Quadrate) einheitlicher Größe als Grundlage benutzen. Innerhalb dieser Quadrate werden dann die Transektstrecken eingerichtet, wobei die Transekte stationär oder mobil sein können und die Transektstrecke zusammenhängend sein oder in mehrere einzelne Teilstrecken aufgeteilt werden kann. Durch entsprechende Wahl der Transekte bzw. Quadrate wird ein Vergleich von GVO-Flächen und Nicht-GVO-Flächen sichergestellt, entweder auf Landschaftsebene (Vergleich der Quadrate) oder auf lokaler Ebene (Vergleich einzelner Transektabschnitte).

11 Summary

Background

In the European community, the Directive 2001/18/EC on the Deliberate Release into the Environment of Genetically Modified Organisms (GMOs) stipulates a monitoring plan in order to trace and identify any harmful effects on human health or the environment of GMOs after they have been placed on the market (EC 2001). Butterflies and moths (Lepidoptera) have often been suggested as suitable indicators for a GMO monitoring plan, because Lepidoptera are a well-accepted protection goal and are potentially at risk through cultivation of GM insect-resistant Bt maize and GM herbicide-tolerant HT maize. In the Directive 2001/18/EC it is suggested that surveillance could, if appropriate, make use of already established routine surveillance practices, e.g. in the field of nature conservation or of ecological long-term monitoring programmes. The German Federal Office for Consumer Protection and Food Safety (BVL), in co-operation with Monsanto, determined a special GMO monitoring plan for the cultivation of MON810 maize in Germany in the year 2008. Part of the monitoring plan was the use of existing environmental monitoring programmes such as the German butterfly monitoring scheme (TMD). However, the subsequent monitoring report presented by Monsanto made it quite obvious that the employment of environmental monitoring schemes is problematic, and often the methodologies and structures of the programmes do not comply with the needs for specific GMO surveillance. The conclusion is that the possible incorporation of these programmes needs to be better assessed and improved.

Objectives

The main goal of the project was to develop a scientifically sound concept for a butterfly monitoring in order to observe possible adverse effects of genetically modified (GM) plants after release. This was done by compiling the specific requirements for a GMO monitoring of butterflies, and subsequent analyses regarding technical standards, sample sizes and monitoring designs. The specific working goals of the project were:

- (i) to analyse and evaluate the efficiency of different options of technical and conceptual aspects of butterfly monitoring, on ground of extensive databases of existing butterfly monitoring schemes, and
- (ii) to identify detailed and special needs for a meaningful GMO monitoring of butterflies, including the elaboration of a specific and appropriate monitoring design.

Approach

At the start, two principally different monitoring designs were taken into account: (i) a local monitoring on shorter butterfly transects (≤ 250 m) along single crop fields or on single farms, observing local effects, and (ii) a landscape monitoring on longer butterfly transects (> 2 km), representative for a larger scale and landscape level. These two monitoring approaches mainly differ in terms of spatial scale, indicating possible GMO effects occurring on different spatial levels. For the local monitoring type, we used the dataset of the Swiss LANAG programme („Langfristbeobachtung der Artenvielfalt in der Normallandschaft des Kantons Aargau) and data of the German project „Monitoring von Vogelschutzmaßnahmen auf Ackerflächen im LVG Köllitsch“). For the landscape monitoring type, we used the dataset of

the Swiss BDM („Biodiversitätsmonitoring Schweiz“) and a dataset of a project of the German Federal Agency of Nature Protection (FKZ 804 89 001). All butterfly data were recorded by the common transect count method. These butterfly data were used to simulate and calculate the influence of certain methodological factors on the results of the monitoring. The factors tested were transect length, number of transect visits per season, and timing of transect counts during the season. The tested variables were species number and abundance of all butterflies and of selected species pools such as sedentary species or rare species. Further, species similarity between neighbouring transects was calculated, and the consequences were assessed for a possible monitoring design of a matched pair sample approach. On ground of these simulations, different monitoring types were selected. With a power analysis, the required sample size for each monitoring type, i.e. number of transects to be recorded, was calculated. In a last step, the cost-efficiency of these different monitoring types was evaluated, i.e. the relation between invested amount of work and resulting output. Based on the overall analysis a possible monitoring design was derived.

Results

The **closer neighbouring transects** are the more similar is the species community. The similarity clearly decreases for transects in a distance of more than 10 kilometres. This has two consequences: transects of a matched-pair design should not be further apart than 10 km (better less than 5°km), and in general, the monitoring should be done and analysed on a regional scale, because of the dissimilarity of transects further separated. Additional recordings of habitat types and habitat use along the transects will be necessary for a more detailed analysis. In particular, neighbouring forest and grassland affect butterfly species number and composition significantly.

The longer the transect the more species are recorded, but even at a **transect length** of 5 km the peak is not reached. The variance of the recorded species number is particularly high on transects shorter than 1000 m, while above 1000 m the variance decreases to a lower and constant level. This pattern is independent of the number of visits per seasons. In agricultural landscapes, the **number of visits** to the transects could be reduced to four or five visits per season, and still 80% to 90% of the overall occurring species will be recorded (in comparison to seven visits). In terms of specific species pools, sedentary species are also recorded sufficiently with four to five visits, while the detection of rare species is worse. This pattern only accounts for longer transects (e.g. 2.5 km long). On shorter transects (250 m) seven to nine visits per season are required to sample 80% to 90% of the overall occurring species (in comparison to eleven visits).

The **power analyses** showed that a higher sample size is necessary on short transects when monitoring effects on total species number, due to the high data variance on transects shorter than 1000 m. A higher sample size is also required when monitoring effects on the abundance of all butterflies, or on species number of sedentary and rare species. Repeated measurements on the same transects constitute matched pairs, in this case matched pairs by time. Statistical analysis of such matched pairs has a higher power and can reduce necessary sample size by 1/3 to 1/4 in comparison to independent samples.

The analysis of **efficiency** calculated the required effort for various combinations of transect lengths and number of visits per season. The aim was to determine the one most

cost-efficient combination, i.e. which needs the least effort in working hours in order to detect a given GMO effect. Power analyses (number of necessary transects), time spent on the transects, travelling time and other activities in the field were included in this assessment. In general, required time decreases the shorter the transects are, and more transects can be done on one working day. On the other hand, more transects must be established when working with shorter transects because a data pool from shorter transects has less statistical power (see above power analyses). The highest efficiency possess transects with a length between 1.5 km and 2 km and four visits per seasons. Travelling time between transects has a substantial impact on required working hours: a reduction of travelling time from two hours to half an hour reduces sampling effort by 50%. Sampling effort to detect an effect on the species number of sedentary species is four to fifteen times higher compared to overall species number. The sampling effort for temporarily matched transect pairs is up to four times lower than for independent samples.

The value of the GMO monitoring of butterflies can be increased by focusing on certain **species pools**. Focusing on specific, selected species can serve to better localize a GMO effect and to attribute it more clearly to a specific site. For instance, a possible species pool are the sedentary species, which can detect GMO effects on a more local scale, because they have low migrations distances and activities. A further selection could be done according to the seasonal appearance of the larval stage. For instance, the analysis of the monitoring results could be restricted to those species whose larvae are more exposed (coincidence of timing) to the GM plant or its impacts. Here, first classifications of larval stages after their seasonal appearance were developed, which can now be used to apply species pools with increased exposition probability.

12 Supplement

Supplement I: Habitat- und Nutzungskartierung

In einer Analyse wurde der Einfluss der angrenzenden Hauptnutzung bzw. Habitatausstattung auf die Gesamtartenzahl analysiert. Im LANAG und BfN-Datensatz wurden die direkt an die Transekte angrenzende Nutzungen/Habitate aufgenommen, während im BDM der Flächenanteil der jeweiligen Nutzungen/Habitate im Quadranten ausgewertet wurde. Zu beachten ist, dass die Detailschärfe der Habitat- und Nutzungskartierung sowie die einzelnen Habitat- und Nutzungskategorien zwischen den verschiedenen Programmen unterschiedlich sind (siehe unten). Die verschiedenen Nutzungen/Habitate wurden dann mittels einer multiplen Regression auf ihren Einfluss auf die Gesamtartenzahl der Transekte analysiert (schrittweise Methode, Einschluss einer Variable bei Signifikanzniveau des F-Wertes von $p < 0.05$; Ausschluss bei Signifikanzniveau von $p > 0.05$).

BfN-Datensatz

Eckdaten: Gesamt-Artenzahl pro Transekt = 26.00 ± 5.88 ($n = 14$, Mittelwert \pm 1SD)

Bestes Modell: Artenzahl = $22.85 + 0.42 \cdot \text{Waldanteil}$, $R^2 = 0.49$, $p < 0.01$

Vom Modell ausgeschlossen: wurden Acker, Raps, Mais, Grünland, Siedlung und Region, d.h. dass für diese Faktoren im vorliegenden Datensatz mit dem angewandten Modell kein signifikanter Einfluss ($p > 0.05$) auf die Gesamtartenzahl nachgewiesen werden konnte.

BDM-Datensatz

Eckdaten: Gesamt-Artenzahl pro Transekt = 22.49 ± 6.56 ($n = 86$, Mittelwert \pm 1SD)

Bestes Modell: Artenzahl = $19.04 + 0.21 \cdot \text{Waldanteil}$, $R^2 = 0.15$, $p < 0.001$

Vom Modell ausgeschlossen wurden landwirtschaftliche Nutzfläche, Siedlung, Region, Jahr der Erhebung und Höhe ü.M., d.h. dass für diese Faktoren im vorliegenden Datensatz mit dem angewandten Modell kein signifikanter Einfluss ($p > 0.05$) auf die Gesamtartenzahl nachgewiesen werden konnte.

LANAG-Datensatz

Eckdaten: Gesamt-Artenzahl pro Transekt = 6.50 ± 3.43 ($n = 438$, Mittelwert \pm 1SD)

Bestes Modell: Artenzahl = $1.49 + 1.65 \cdot \text{Region} + 0.04 \cdot \text{Grünlandanteil} + 0.04 \cdot \text{Waldanteil}$, $R^2 = 0.30$, $p < 0.01$

Vom Modell ausgeschlossen wurden Acker, Siedlung, Feuchtgebiet, Gewässer, Jahr der Erhebung), d.h. dass für diese Faktoren im vorliegenden Datensatz mit dem angewandten Modell kein signifikanter Einfluss ($p > 0.05$) auf die Gesamtartenzahl nachgewiesen werden konnte.

Köllitsch Datensatz

Eckdaten: Gesamt-Artenzahl pro Transekt = 12.30 ± 4.79 ($n = 13$, Mittelwert \pm 1SD)

Eine multiple Regression wurde mit den Köllitsch-Daten nicht durchgeführt, da nahezu alle Transekte zwischen Äckern liegen. Analog wurde jedoch ein Einfluss der Art der Probefläche (kleine aber flächige Brache oder schmaler Ackerrain zwischen landwirtschaftlichen Nutzflä-

chen) gefunden. Vermutlich aufgrund des geringen Stichprobenumfangs (lediglich 3 Brachen) ergibt sich statistisch nur ein Trend zu höheren Artenzahlen auf den Brachen (Kruskal-Wallis-Test: $H(3, N = 13) = 7,12; p = 0.06$).

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere angrenzender Wald und teilweise Grünland zu einer erhöhten Artenzahl an Tagfaltern führen. Es ist allgemein bekannt, dass spezifische Arten des Waldrandes und des (extensiven) Grünlandes zum Arteninventar im landwirtschaftlichen Raum positiv beitragen, daher ist dies kein grundsätzlich neues und überraschendes Ergebnis. Bei einem Monitoring muss diesem Umstand jedoch Rechnung getragen und eine zusätzliche Habitat- und Nutzungskartierung durchgeführt werden (vgl. Schlussbericht).

Supplement II: Gepaarte und regionalisierte Transekte

Jaccard-Indices. Es wurde die Ähnlichkeit in der Artenzusammensetzung der Transekte berechnet und in Bezug zu den jeweiligen räumlichen Abständen der Transekte untereinander gesetzt. Als Ähnlichkeitsmaß wurde der Jaccard-Index gebildet, der sich aus jeweils zwei Untersuchungsflächen wie folgt berechnet: $\text{Jaccard-Index} = b/(b+c+d)$; b = Zahl der auf beiden Untersuchungsflächen vorkommenden Arten, c = Zahl der nur auf der ersten Untersuchungsflächen vorkommenden Arten, d = Zahl der nur auf der zweiten Untersuchungsfläche vorkommenden Arten. Der Jaccard-Index kann Werte von 0 (keine Übereinstimmung) bis 1 (völlige Übereinstimmung) annehmen.

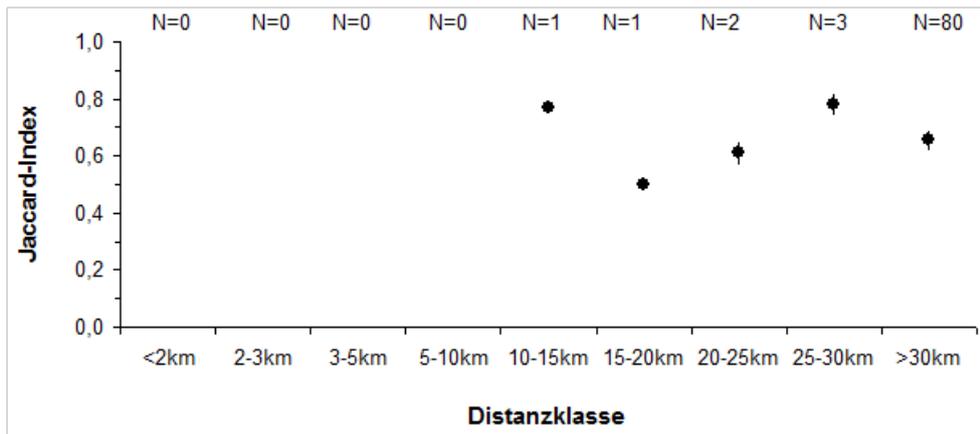


Abb. 2.1. BfN-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung (Mittelwerte \pm Standardfehler); die einzelnen Transektentfernungen wurden zu Distanzklassen zusammengefasst (N = Stichprobenumfang).

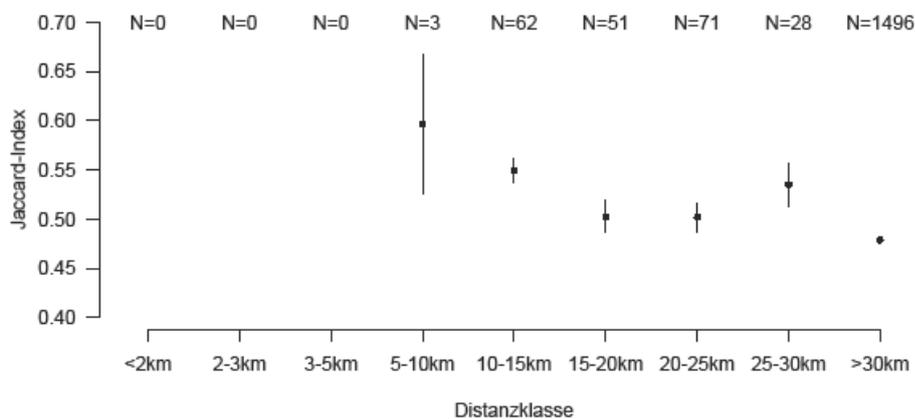


Abb. 2.2. BDM-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung (Mittelwerte \pm Standardfehler); die einzelnen Transektentfernungen wurden zu Distanzklassen zusammengefasst (N = Stichprobenumfang). Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 4 im Schlussbericht.

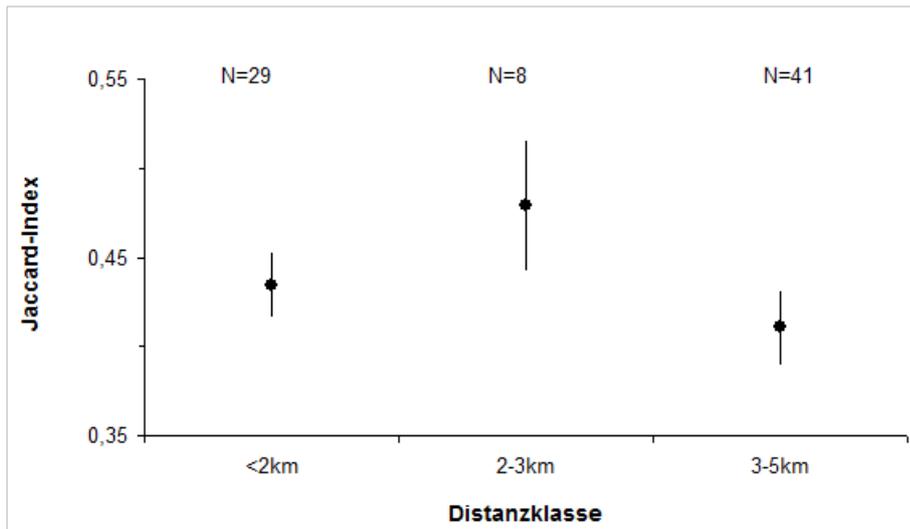


Abb. 2.3. Köllitsch-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung (Mittelwerte \pm Standardfehler); die einzelnen Transektentfernungen wurden zu Distanzklassen zusammengefasst (N = Stichprobenumfang).

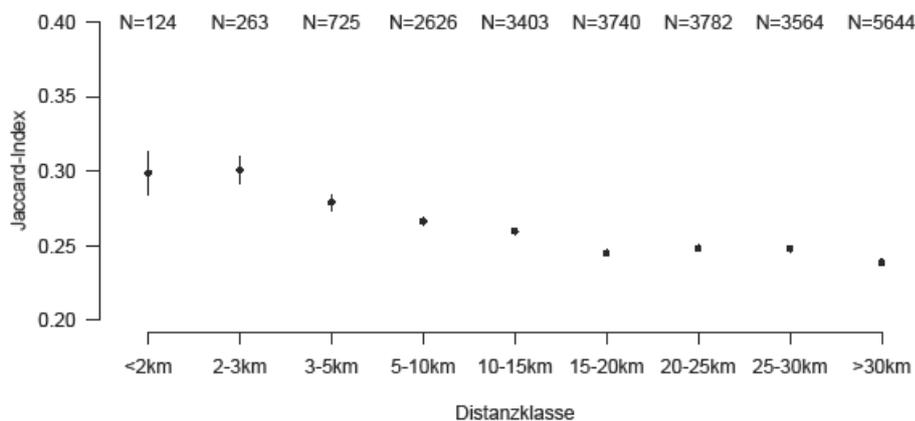


Abb. 2.4. LANAG-Datensatz: Jaccard-Indices als Maß der Artenähnlichkeit der Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung (Mittelwerte \pm Standardfehler); die einzelnen Transektentfernungen wurden zu Distanzklassen zusammengefasst (N = Stichprobenumfang). Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 5 im Schlussbericht.

Korrelationskoeffizienten. Gepaarte Stichprobenpaare können räumlich assoziiert sein, wobei sich die Ähnlichkeit der Transekte aus der räumlichen Nähe und/oder einer ähnlichen Habitatausstattung ableiten kann. Für die (spätere) Berechnung einer prospektiven Poweranalyse zur Abschätzung des benötigten Stichprobenumfanges ist die Kenntnis des Ausmaßes dieser räumlichen Korrelation notwendig. Daher wurde die räumliche Korrelation bezüglich der Gesamt-Artenzahl für die Datensätze des BDM und LANAG bestimmt.

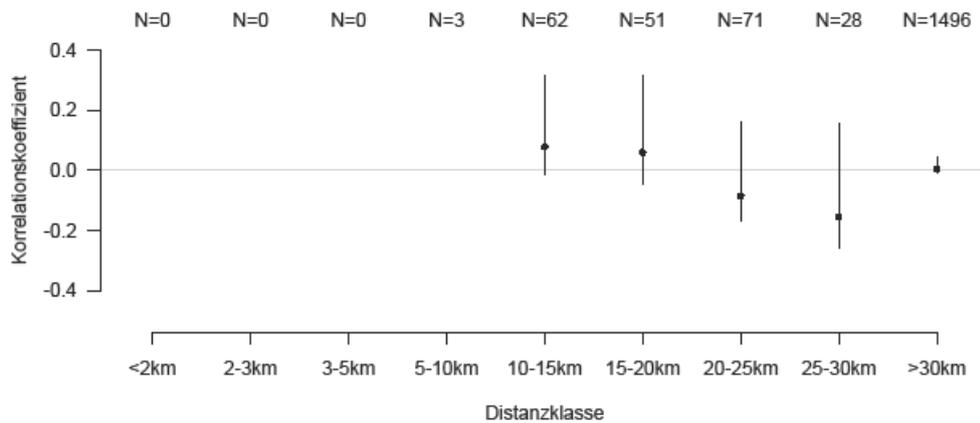


Abb. 2.5. BDM-Datensatz: Pearson's Korrelationskoeffizient als Maß der Ähnlichkeit der Gesamt-Artenzahl der BDM-Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle); die einzelnen Transektentfernungen wurden zu Distanzklassen zusammengefasst (N = Stichprobenumfang). Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 7 im Schlussbericht.

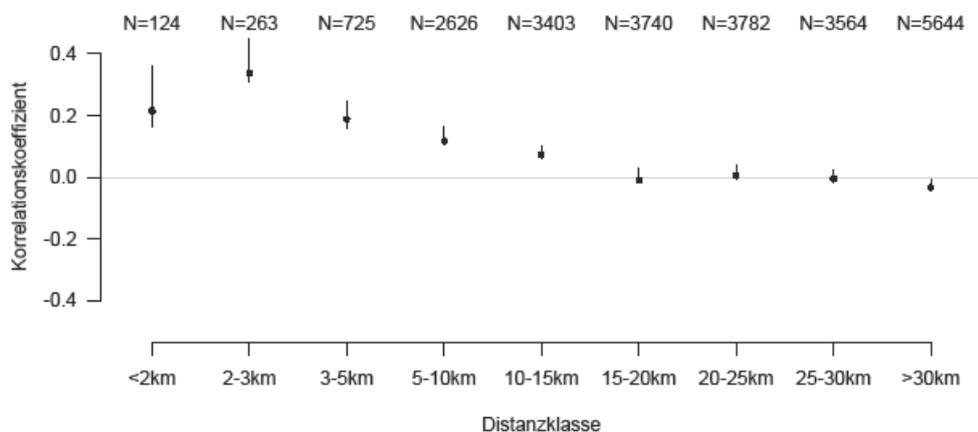


Abb. 2.6. LANAG-Datensatz: Pearson's Korrelationskoeffizient als Maß der Ähnlichkeit der Gesamt-Artenzahl der BDM-Transekte in Abhängigkeit von der jeweiligen Transektentfernung (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle); die einzelnen Transektentfernungen wurden zu Distanzklassen zusammengefasst (N = Stichprobenumfang). Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 6 im Schlussbericht.

Supplement III: Anzahl Begehungen und Zeitfenster

Biodiversitätsmonitoring Schweiz BDM

Es wurde der Einfluss der Anzahl Begehungen und verschiedener Zeitfenster auf die Tagfaltererfassungen untersucht. Die Analyse der BDM-Daten „Tagfalter“ (umfasst echte Tagfalter, Papilionoidea und Hesperioidea, sowie Widderchen, Zygaenidae) erfolgte in Bezug auf Auswirkungen auf die Artenzahl, die Artenzahl einzelner Artenpools, d.h. Artengruppen (Häufigkeitsklassen, Mobilitätsklassen, Offenlandarten) und den Effekt auf die Individuenzahl.

Datengrundlage/Datenbeschreibung

Die Datengrundlage bildeten 59 BDM-Aufnahmen (=Transekte) aus dem Zeitraum 2006 – 2010. Die einzelnen Routen dieser Transekte verlaufen zu mindestens 75% innerhalb oder zumindest entlang landwirtschaftlich genutzter Fläche. Maximal 25% verlaufen durch Wald oder Siedlungsgebiet. Alle 59 Transekte befinden sich in einer klimatischen Lage, in der Ackerbau möglich ist.

Auf den 59 Transekten wurden insgesamt 72 verschiedene Arten oder Artkomplexe nachgewiesen. Im Mittel wurden pro Transekt 22.7 ± 6.3 Arten nachgewiesen (Mittelwert \pm SD).

Die 5 häufigsten Arten/Komplexe waren *Pieris-napi*-Komplex (auf allen Transekten nachgewiesen), *Pieris-rapae*-Komplex (auf allen Transekten nachgewiesen), *Pieris brassicae* (57), *Polyommatus icarus* (57) und *Coenonympha pamphilus* (55). Siebzehn Arten wurden nur auf einem Transekt nachgewiesen, z.B. *Zygaena ephialtes*, *Pyrgus armoricanus*, *Polyommatus thersites*, *Plebejus argus* und *Nymphalis polychloros*.

Die Erfassungen des BDM erfolgen in den nachstehenden Zeitfenstern (in Klammern die analogen LANAG-Zeitfenster):

Zeitfenster 1)	1. Mai – 21. Mai	(LANAG 2)
Zeitfenster 2)	2. Juni – 22. Juni	(LANAG 4)
Zeitfenster 3)	30. Juni – 13. Juli	(LANAG 6)
Zeitfenster 4)	14. Juli – 27. Juli	(LANAG 7)
Zeitfenster 5)	28. Juli – 10. August	(LANAG 8)
Zeitfenster 6)	11. August – 24. August	(LANAG 9)
Zeitfenster 7)	25. August – 7. September	(LANAG 10)

In der Analyse wurde transektweise eine oder mehrere diese 7 Begehungen weggelassen und berechnet, welcher Anteil der Arten und Individuen trotzdem noch erfasst wurde (Anteil bezogen auf das Maximum mit 7 Begehungen auf diesem Transekt). Dies wurde mit allen 59 BDM-Transekten der Auswahl gemacht und als Endwert der Durchschnitt der 59 Werte mit 95%-Vertrauensbereich berechnet. Dieser Wert wurde für die Darstellung in der Grafik verwendet.

Folgende Kombinationen aus Anzahl Begehungen und Auswahl der Zeitfenster wurden durchgespielt (die mit „X“ gekennzeichneten und schattierten Begehungen wurden jeweils ausgewählt).

Tab. 3.1. Anzahl Begehungen und Auswahl der Zeitfenster für die Simulation der BDM-Daten (vgl. Kapitel „Technische Details, Anzahl Begehungen und Zeitfenster“ im Berichtsteil).

Name Variante	Beg 1	Beg 2	Beg 3	Beg 4	Beg 5	Beg 6	Beg 7	Begründung, Hypothese
5 Begehungen								
Ohne Herbst	x	x	x	x	x			Begehungen 6 und 7 bringen fast nur Folge-Generationen-Nachweise derselben Arten wie 1. bis 5. Beg.
Ohne Mai		x	x	x	x	x		Begehungen 1 und 7 bringen nur wenig Zusatzinformation
4 Begehungen								
Frühling	x	x	x		x			Schwerpunkt Frühling lassen; Beg. 4 ist verzichtbar, da Sommer mit Beg. 3 und 5 bereits gut abgedeckt ist
Sommer		x	x	x	x			Verzicht auf Mai-Begehung, damit die wichtige Sommerphase optimal abgedeckt ist
Spätsommer			x	x	x	x		Verzicht auf ganze Frühlingsperiode; stattdessen Erhebungen bis in den Spätsommer
3 Begehungen								
Lange Saison	x		x		x			Es soll möglichst die gesamte Flug-saison abgedeckt werden
Frühling		x	x		x			Schwerpunkt auf Spätfrühling und Frühsommer
Schnittzeitpunkt	x	x		x				Zeitfenster so, dass Wiesen zum Zeitpunkt der Begehung noch nicht gemäht sind
Sommer			x	x	x			Schwerpunkt Hochsommer (Juli)

Um den Bedürfnissen eines GVO-Monitorings möglichst gut zu entsprechen, wurden zusätzliche Analysen mit eingeschränkten oder gruppierten Arten-Sets durchgeführt:

a) Gruppierung nach Mobilitätsklassen:

Gruppierung von LANG & BÜHLER (2012) auf der Basis von SETTELE et al. (1999) und POLLARD & YATES (1993);

- Stationäre Arten, Mobilitätsklasse 1 (●). Datengrundlage: 31 nachgewiesene Arten, 58 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt auf den Transekten mit Nachweisen (Mittelwert ± SD): 4.8±2.7.

- Intermediäre Arten, Mobilitätsklasse 2 (▲). Datengrundlage: 17 nachgewiesene Arten, 59 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt auf den Transekten mit Nachweisen (Mittelwert ± SD): 6.3±2.3.
- Mobile Arten, Mobilitätsklasse 3 (◆). Datengrundlage: 22 nachgewiesene Arten, 29 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt auf den Transekten mit Nachweisen (Mittelwert ± SD): 11.6±3.0.

b) Gruppierung nach Häufigkeit:

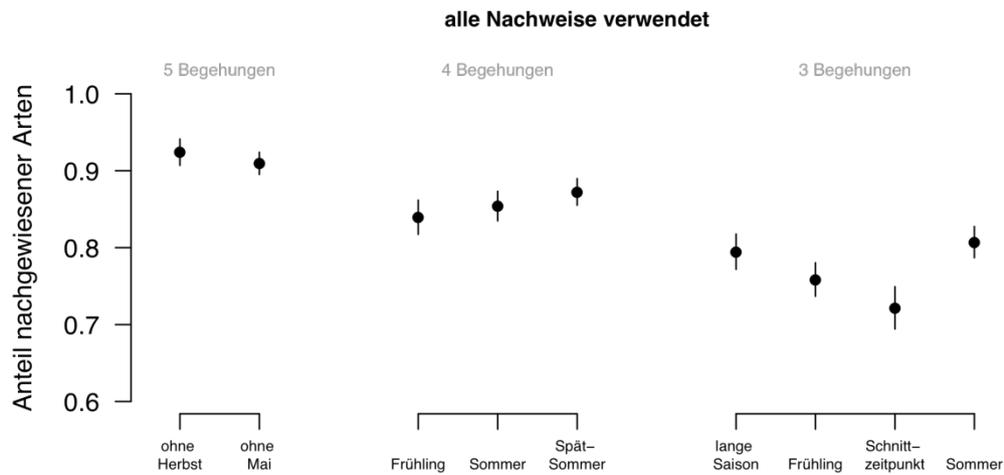
Für jede Art wurde aus allen 59 Transekten und jeder der 7 Begehungen die Summe der nachgewiesenen Individuen berechnet. Mit diesen Summen wurden die nachgewiesenen Arten in drei Häufigkeitsklassen unterteilt.

- Seltene Arten (●): 33% des Artenpools mit der geringsten Anzahl nachgewiesener Individuen über alle Begehungen. Datengrundlage: 19 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt der Transekte mit Nachweisen (Mittelwert ± SD): 2.0±1.4 Arten.
- Mittelhäufige Arten (▲): Artenpool ohne 33% Arten mit der geringsten und ohne 33% Arten mit höchster Anzahl nachgewiesener Individuen über alle Begehungen. Datengrundlage: 58 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt der Transekte mit Nachweisen (Mittelwert ± SD): 5.7±3.2 Arten.
- Häufige Arten (◆): 33% des Artenpools mit der höchsten Anzahl nachgewiesener Individuen über alle Begehungen. Datengrundlage: 59 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt der Transekte mit Nachweisen (Mittelwert ± SD): 16.5±2.8 Arten.

c) Reduktion des Artenpools auf Arten des Offenlandes: typische Arten des Waldes wurden ausgeschlossen. Basis der Definition von Waldarten bildet SETTELE et al. (1999), in sechs Fällen gutachtlich modifiziert durch Florian Altermatt, Hintermann & Weber AG. Einige seltene Arten treten ohnehin nicht in den ausgewählten, landwirtschaftlich geprägten Transekten auf, ansonsten ist die Definition der Waldarten eher weit gefasst. Datengrundlage nach dem Ausschluss von typischen Waldarten: Insgesamt wurden 59 Arten/Komplexe des Offenlandes nachgewiesen, damit wurden 13 Arten als Waldarten ausgeschlossen. Alle 59 Transekte hatten Nachweise von typischen Offenlandarten, der mittlere Artenreichtum der Transekte mit Nachweisen ist 18.0±4.9 Arten (Mittelwert±SD).

d) Gleichzeitige Anwendung von a), b) und c): Offenlandarten, welche die Lebensraumausstattung eines Transekts gut charakterisieren (lokal also häufig sind), differenziert nach Mobilitätsklassen (stationäre Arten sind für GVO-Monitoring besonders interessant, da der Bezug zu den lokalen Anbaubedingungen am besten ist!).

Abbildungen BDM



Ref: 942_Ant_Arten_alle_Nachweise_v2.pdf | Autor: Ro | Datum: 26.08.2011

Abb. 3.1. BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert. Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 8 im Schlussbericht.

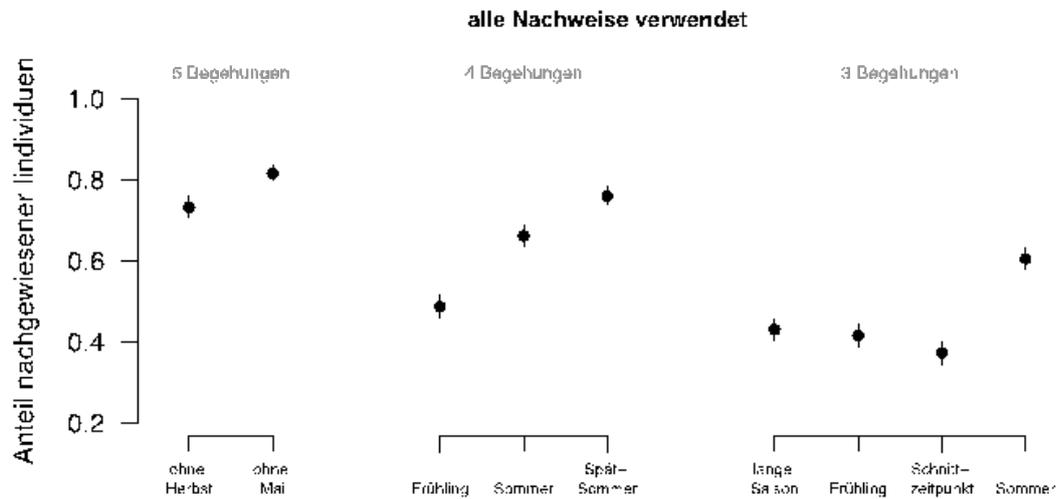
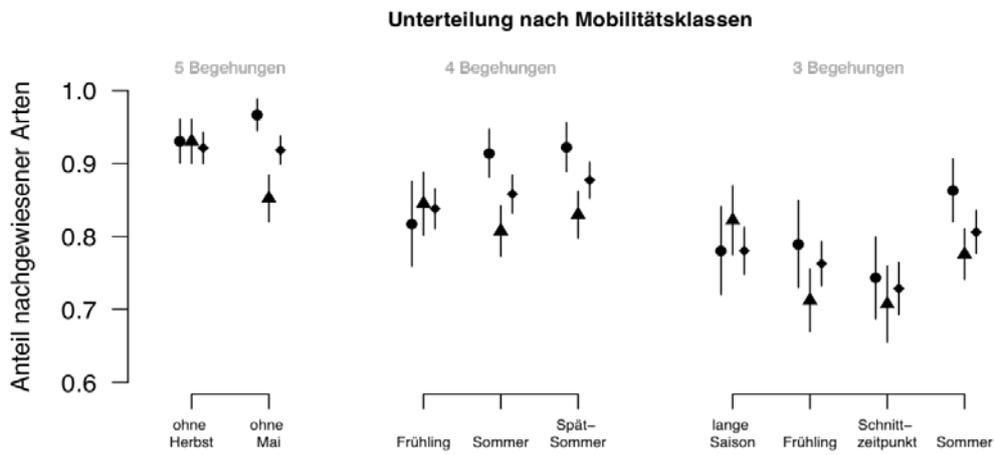
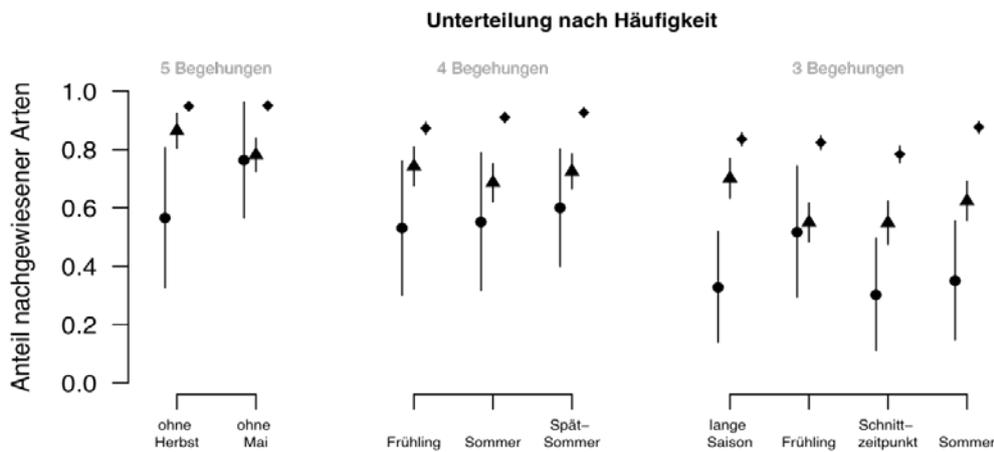


Abb. 3.2. BDM. Abhängigkeit der beobachteten **Individuenzahl** von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert. Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 9 im Schlussbericht.



Ref: 942_Ant_Arten_nach_Mobilitätsklasse_v2.pdf | Autor: Ro | Datum: 26.08.2011

Abb. 3.3. BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Mobilitätsklassen. Stationäre Arten (●), Intermediäre Arten (▲), Mobile Arten (◆).Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 10 im Schlussbericht.



Ref: 942_Ant_Arten_nach_Seltenheit_v2.pdf | Autor: Ro | Datum: 26.08.2011

Abb. 3.4. BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Häufigkeit der Arten. Seltene Arten (●), Mittelhäufige Arten (▲), Häufige Arten (◆).Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 11 im Schlussbericht.

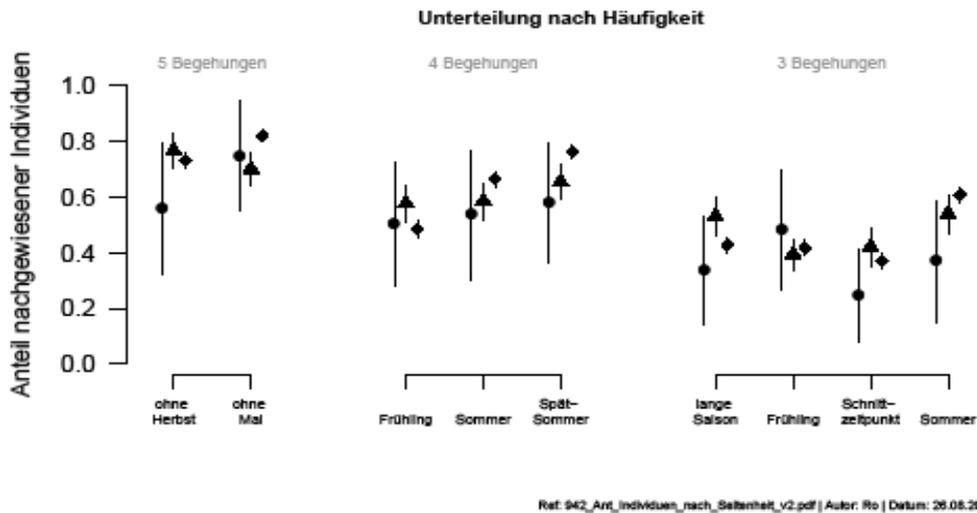


Abb. 3.5. BDM. Abhängigkeit der beobachteten **Individuenzahl** von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Häufigkeit der Arten. Seltene Arten (●), Mittelhäufige Arten (▲), Häufige Arten (◆).

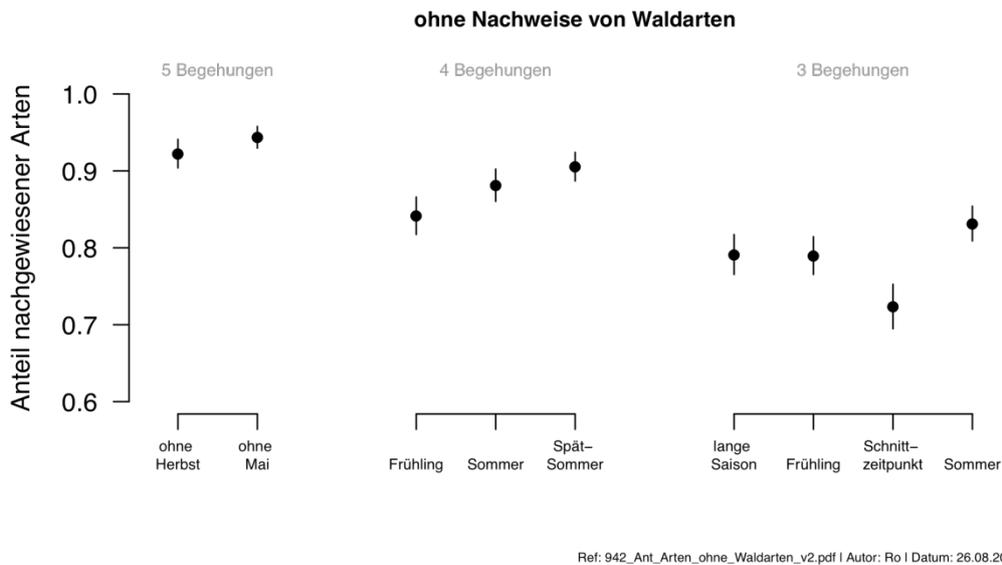
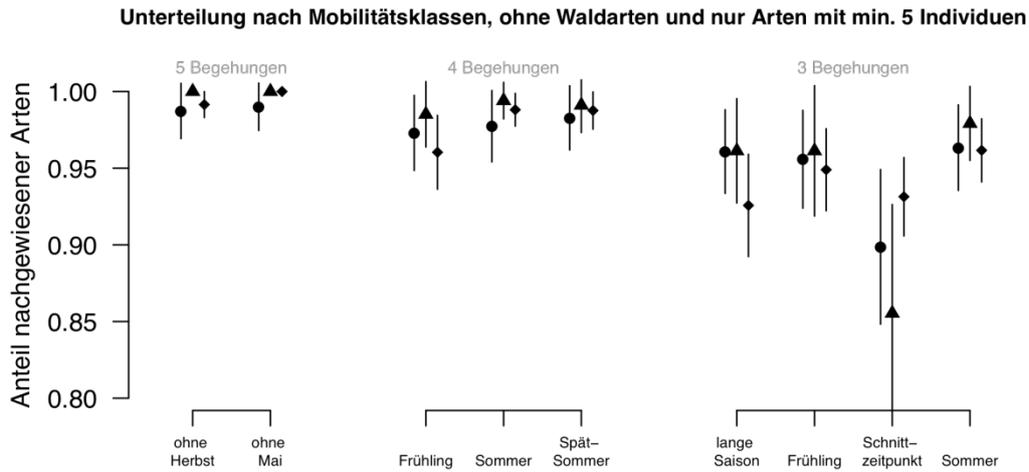
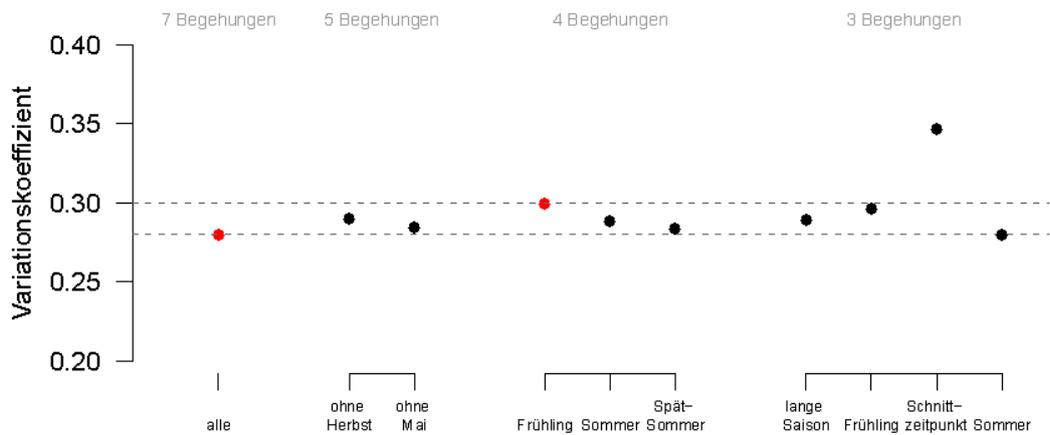


Abb. 3.6. BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: nur „Offenlandarten“ analysiert (d.h., ohne „Waldarten“).



Ref: 942_GVO_Auswahl_v1.pdf | Autor: Ro | Datum: 26.08.2011

Abb. 3.7. BDM. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Häufige „Offenlandarten“, welche die Lebensraumausstattung eines Transekts gut charakterisieren, differenziert nach Mobilitätsklassen. Stationäre Arten (●), Intermediäre Arten (▲), Mobile Arten (◆).



Ref: 942_Korelationskoeffizient_BDM_v1.pdf | Autor: Ro | Datum: 04.07.2012

Abb. 3.8. BDM. Variationskoeffizient (= Standardabweichung dividiert durch die mittlere Artenzahl) in Abhängigkeit von der Anzahl Begehungen. Die roten Punkte markieren diejenigen Varianten, für welche Poweranalysen berechnet wurden.

LANAG

Als abgekürzt LANAG wird die Langfristbeobachtung der Artenvielfalt in der Normallandschaft des Kantons Aargau bezeichnet. Die Analyse der LANAG-Daten „Tagfalter“ (umfasst echte Tagfalter, Papilionoidea, aber unter Ausschluss der Dickkopffalter Hesperioidea, plus Widderchen, Zygaenidae) erfolgte in Bezug auf Auswirkungen unterschiedlicher Zeitfenster und Anzahl Begehungen auf die Artenzahl, die Artenzahl einzelner Artengruppen (Häufigkeitsklassen, Mobilitätsklassen, Offenlandarten) und den Effekt auf die Individuenzahl. Die Analyse mit LANAG-Daten wurde so weit als möglich analog derjenigen mit BDM-Daten durchgeführt. Dies gewährleistet die bestmögliche Vergleichbarkeit der Resultate in Bezug auf den Effekt unterschiedlicher Transektlänge.

Datengrundlage/Datenbeschreibung

Die Datengrundlage bildeten insgesamt 219 LANAG-Aufnahmen (= Transekte) aus dem Zeitraum von 2006 – 2010, welche zu mindestens 75% durch oder zumindest entlang landwirtschaftlich genutztes Gebiet verlaufen. Von jeder einzelnen Transektroute wurde jeweils das jüngste Begehungsjahr für die Analyse ausgewählt (Erhebungen finden im LANAG bereits seit 1998 statt).

Auf den 219 Transekten wurden insgesamt 35 verschiedene Arten oder Artkomplexe nachgewiesen. Im Mittel wurden pro Transekt 7.6 ± 3.6 Arten nachgewiesen (Mittelwert \pm SD).

Die 5 häufigsten Arten/Komplexe waren *Pieris* sp. (auf 218 Transekten), *Maniola jurtina* (127), *Polyommatus icarus* (108), *Coenonympha pamphilus* (107) und *Aphantopus hyperantus* (87). Die 5 seltensten Arten waren *Zygaena filipendulae* (4), *Issoria lathonia* (3), *Lycaena phlaeas* (2), *Apatura iris* (1) und *Lysandra coridon* (1).

Die Erfassungen des LANAG erfolgen in den nachstehenden Zeitfenstern (in Klammern die analogen BDM-Zeitfenster):

Zeitfenster 1)	21. April – 4. Mai	
Zeitfenster 2)	5. Mai – 18. Mai	(BDM 1)
Zeitfenster 3)	19. Mai – 1. Juni	
Zeitfenster 4)	2. Juni – 15. Juni	(BDM 2)
Zeitfenster 5)	16. – 29. Juni	
Zeitfenster 6)	30. Juni – 13. Juli	(BDM 3)
Zeitfenster 7)	14. Juli – 27. Juli	(BDM 4)
Zeitfenster 8)	28. Juli – 10. August	(BDM 5)
Zeitfenster 9)	11. August – 24. August	(BDM 6)
Zeitfenster 10)	25. August – 7. September	(BDM 7)
Zeitfenster 11)	8. September – 21. September	

Folgende Kombinationen aus Anzahl Begehungen und Auswahl der Zeitfenster wurden durchgespielt (die mit „x“ gekennzeichneten und schattierten Begehungen wurden ausgewählt). Die mit kursiv gedruckten und mit (*) markierten Zeitfenster-Kombinationen wurden exakt auch mit BDM-Daten getestet (s.o.).

Tab. 3.2. Anzahl Begehungen und Auswahl der Zeitfenster für die Simulation der LANAG-Daten (vgl. Kapitel „Technische Details, Anzahl Begehungen und Zeitfenster“ im Berichtsteil).

Name Variante	Be g 1	Be g 2	Be g 3	Be g 4	Be g 5	Be g 6	Be g 7	Be g 8	Be g 9	Be g 10	Be g 11	Begründung, Hypothese
9 Begehungen												
Ohne erst/letzte		x	x	x	x	x	x	x	x	x		Vor- und Nachsaison weglassen; kaum exklusive Arten
Weniger Herbst	x	x	x		x	x	x	x	x			Weniger Gewicht auf späte Saison
Weniger Mai		x		x	x	x	x	x	x	x	x	Weniger Gewicht auf Frühjahr
7 Begehungen												
Ohne Herbst		x	x	x	x	x	x	x				Schwerpunkt Frühsommer
Ohne Mai				x	x	x	x	x	x	x		Schwerpunkt Spätsommer
Lange Saison	x		x		x	x	x		x		x	Regelmäßig über Saison verteilt, mit Zusatzbegehung im Juli
<i>Analog BDM*</i>		x		x		x	x	x	x	x		7 Zeitfenster gemäß Programm BDM
5 Begehungen												
<i>Ohne Herbst*</i>		x		x		x	x	x				Spätsommerbegehung bringen fast nur Folge-Generationen-Nachweise
<i>Ohne Mai*</i>				x		x	x	x	x			Frühlingsbegehungen bringen nur wenig Zusatzinformation
Lange Saison		x		x		x		x		x		Regelmäßig über Saison verteilt
4 Begehungen												
<i>Frühling*</i>		x		x		x		x				Schwerpunkt Frühling lassen
<i>Sommer*</i>				x		x	x	x				Verzicht auf Mai-Begehung, damit Sommerphase optimal abgedeckt ist
<i>Spätsommer*</i>						x	x	x	x			Verzicht auf ganze Frühlingsperiode

Name Variante	Be g 1	Be g 2	Be g 3	Be g 4	Be g 5	Be g 6	Be g 7	Be g 8	Be g 9	Be g 10	Be g 11	Begründung, Hypothese
3 Begehungen												
<i>Lange Saison*</i>		x				x		x				Es soll möglichst die gesamte Flugsaison abgedeckt werden
<i>Frühling*</i>				x		x		x				Schwerpunkt auf Spätfrühling und Frühsommer
<i>Schnittzeitpunkt*</i>		x		x				x				Wiesen sind zum Zeitpunkt der Begehung noch nicht gemäht
<i>Sommer*</i>						x	x	x				Schwerpunkt Hochsommer (Juli)

Um den Bedürfnissen eines GVO-Monitorings möglichst gut zu entsprechen, wurden zusätzliche Analysen mit eingeschränkten oder gruppierten Arten-Sets durchgeführt:

a) Gruppierung nach Mobilitätsklassen:

Gruppierung von Lang & Bühler (2012) auf der Basis von SETTELE et al. 1999 und POLLARD & YATES 1993;

- Stationäre Arten, Mobilitätsklasse 1 (●). Datengrundlage: 8 nachgewiesene Arten, 168 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt auf den Transekten mit Nachweisen: 2.0 ± 1.1 .
- Intermediäre Arten, Mobilitätsklasse 2 (▲). Datengrundlage: 8 nachgewiesene Arten, 180 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt auf den Transekten mit Nachweisen: 2.7 ± 1.4 .
- Mobile Arten, Mobilitätsklasse 3 (◆). Datengrundlage: 14 nachgewiesene Arten, 193 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt auf den Transekten mit Nachweisen: 2.7 ± 1.4 .

b) Gruppierung nach Häufigkeit:

Für jede Art wurde aus allen 219 Transekten und jeder der 11 Begehungen die Summe der nachgewiesenen Individuen berechnet. Mit diesen Summen wurden die nachgewiesenen Arten in drei Häufigkeitsklassen unterteilt.

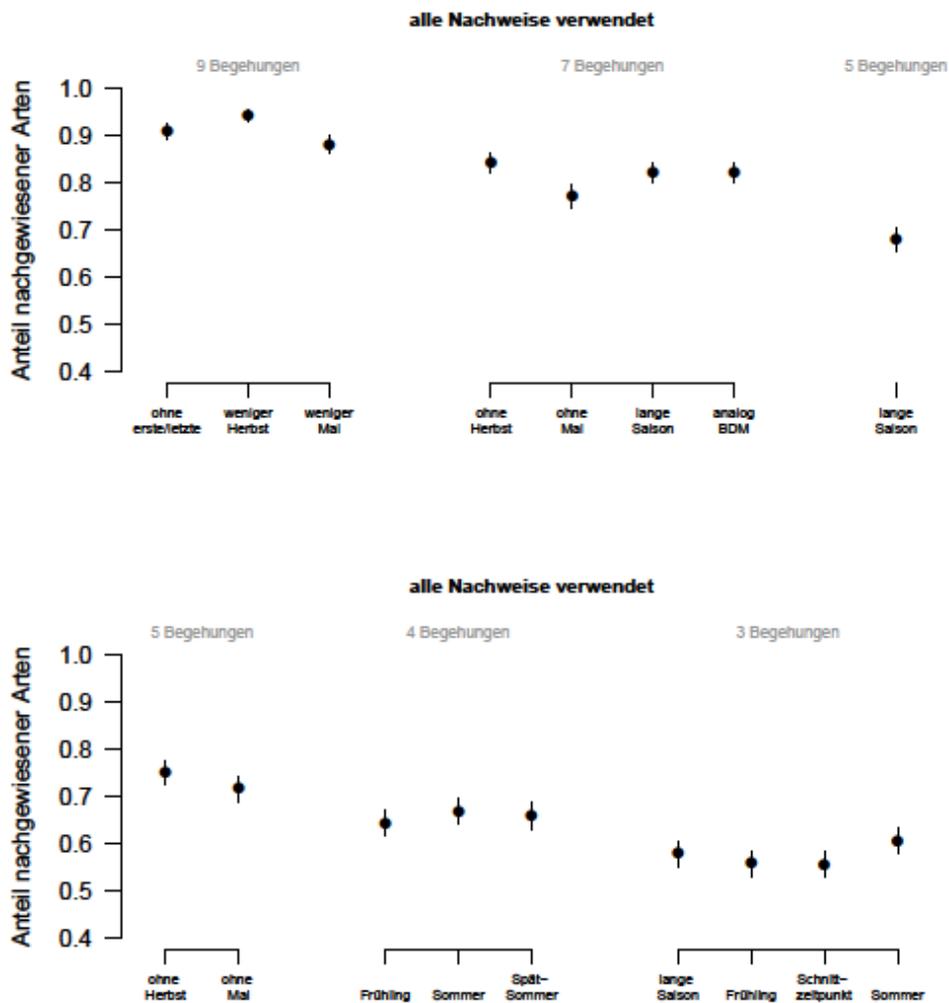
- Seltene Arten (●): 33% des Artenpools mit der geringsten Anzahl nachgewiesener Individuen über alle Begehungen. Datengrundlage: 60 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt der Transekte mit Nachweisen (Mittelwert \pm SD): 1.4 ± 0.6 Arten.
- Mittelhäufige Arten (▲): Artenpool ohne 33% Arten mit der geringsten und ohne 33% Arten mit höchster Anzahl nachgewiesener Individuen über alle Begehungen. Datengrundlage: 191 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt der Transekte mit Nachweisen (Mittelwert \pm SD): 2.5 ± 1.4 Arten.

– Häufige Arten (◆): 33% des Artenpools mit der höchsten Anzahl nachgewiesener Individuen über alle Begehungen. Datengrundlage: 219 Transekte mit Nachweisen, mittlere Artenvielfalt der Transekte mit Nachweisen (Mittelwert \pm SD): 5.0 ± 2.2 Arten.

c) Reduktion des Artenpools auf Arten des Offenlandes: typische Arten des Waldes wurden ausgeschlossen. Basis der Definition von Waldarten bildet SETTELE et al. 1999, in einzelnen Fällen gutachtlich modifiziert durch Florian Altermatt, Hintermann & Weber AG. Einige seltene Arten treten ohnehin nicht in den ausgewählten, landwirtschaftlich geprägten Transekten auf, ansonsten ist die Definition der Waldarten eher weit gefasst. Die Datengrundlage nach dem Ausschluss von typischen Waldarten umfasst insgesamt 21 Arten/Komplexe des Offenlandes, damit wurden 14 Arten als Waldarten ausgeschlossen. 214 Transekte haben Nachweisen von typischen Offenlandarten, der mittlere Artenreichtum der Transekte mit Nachweisen ist 4.6 ± 2.5 Arten.

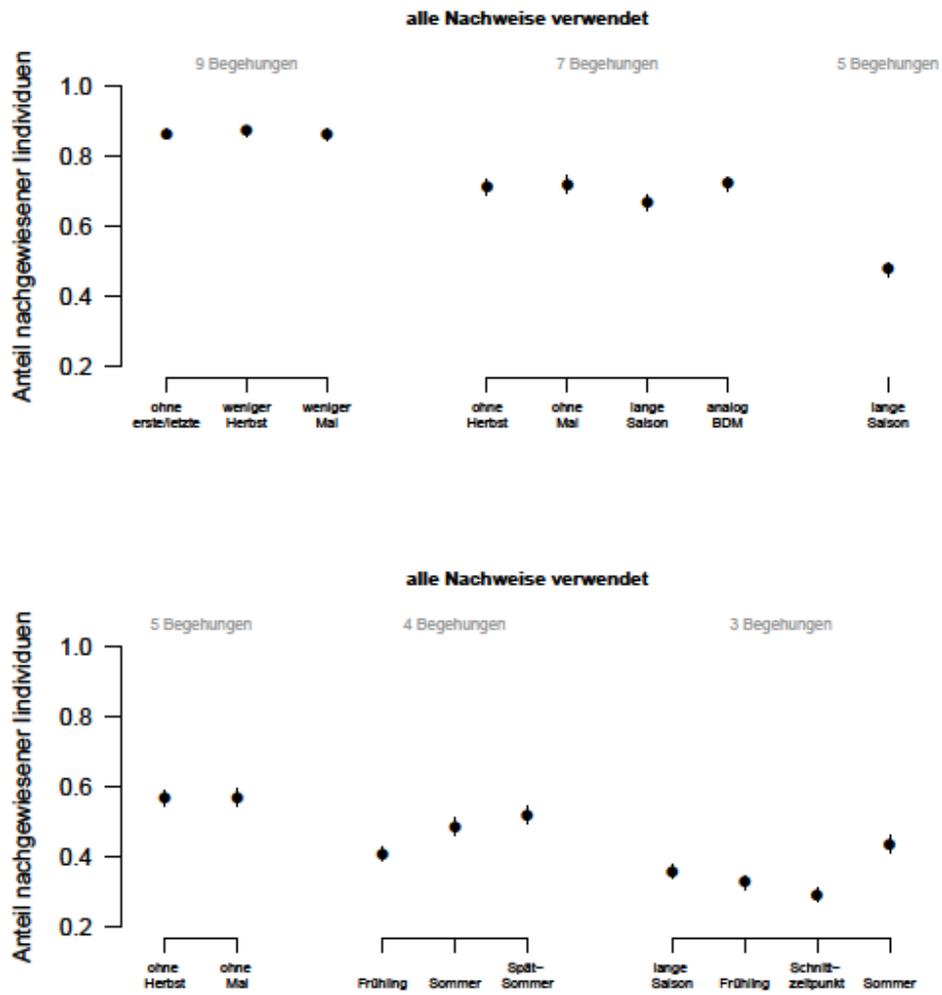
d) Gleichzeitige Anwendung von a), b) oder c), und d): Offenlandarten, welche die Lebensraumausstattung eines Transekts gut charakterisieren (lokal also häufig sind), differenziert nach Mobilitätsklassen (stationäre Arten sind für GVO-Monitoring besonders interessant, da der Bezug zu den lokalen Anbaubedingungen am besten ist!).

Abbildungen LANAG



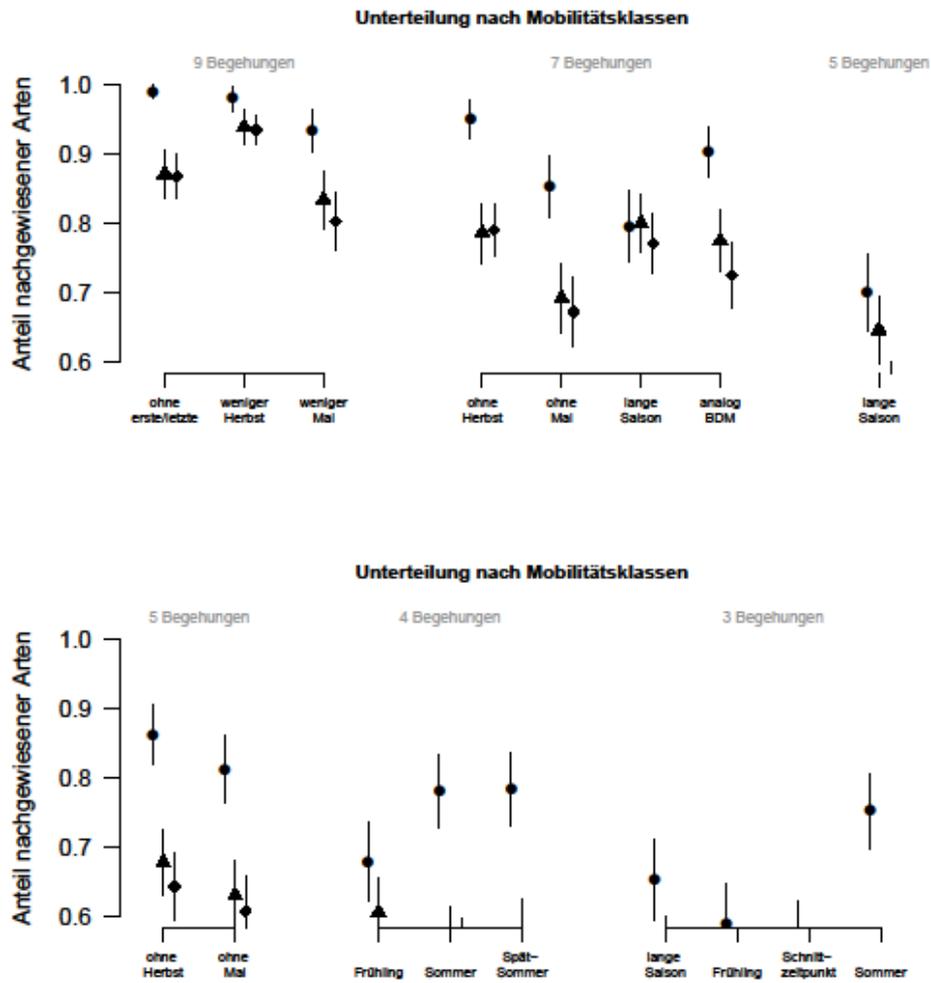
Ref: 942_LANAG_Ant_Arten_alle_Nachweise_v1.pdf | Autor: Ro | Datum: 03.11.2011

Abb. 3.9. LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert. Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 12 im Schlussbericht.



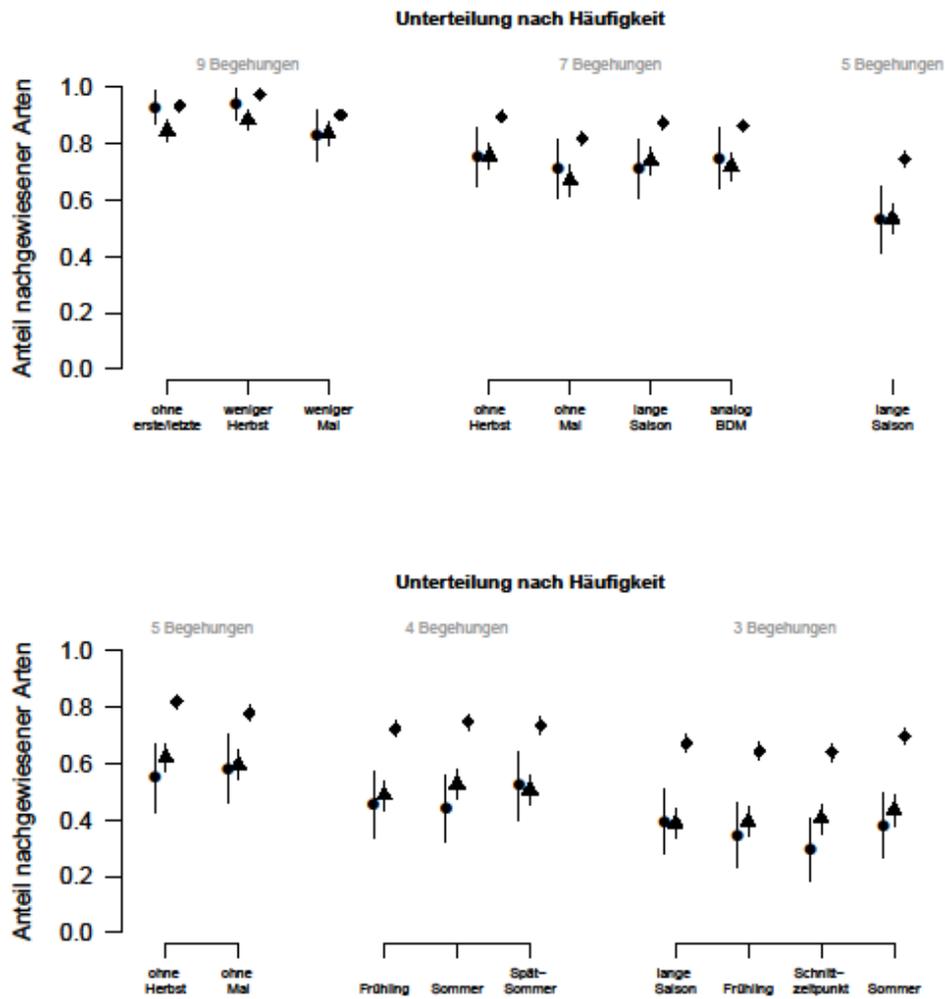
Ref: 942_LANAG_Ant_Individuen_alle_Nachweise_v1.pdf | Autor: Ro | Datum: 03.11.2011

Abb. 3.10.LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Individuenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: alle beobachteten „Tagfalter“ analysiert.



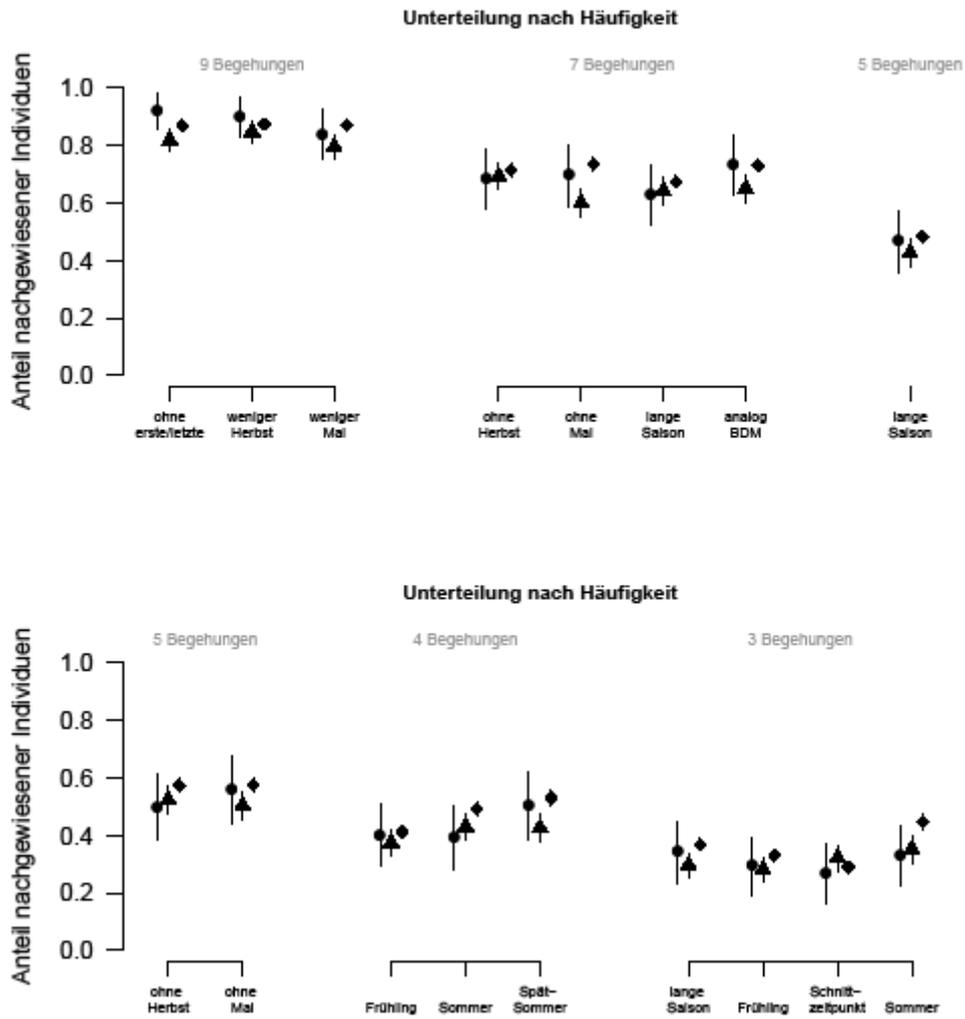
Ref: 942_LANAG_Art_Arten_nach_Mobilitätsklasse_v1.pdf | Autor: Rb | Datum: 03.11.2011

Abb. 3.11.LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Mobilitätsklassen. Stationäre Arten (●), Intermediäre Arten (▲), Mobile Arten (◆).



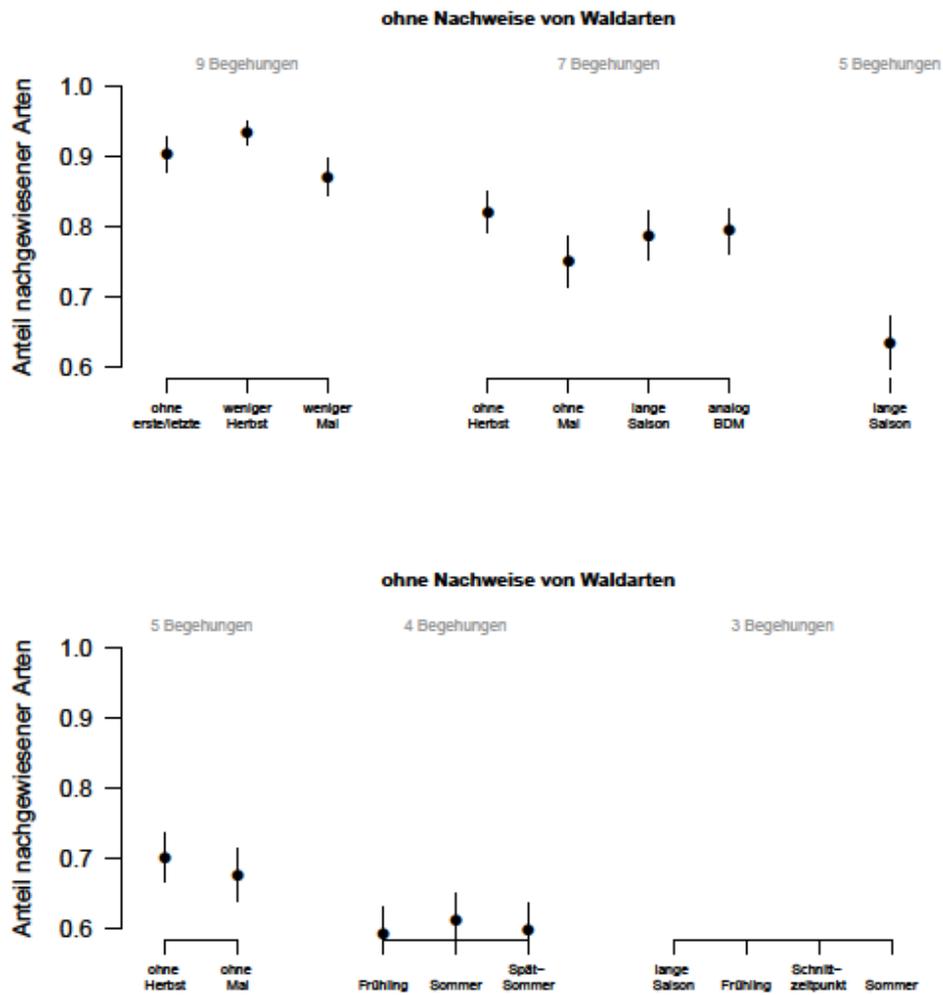
Ref: 942_LANAG_Ant_Arten_nach_Seltenheit_v1.pdf | Autor: Ro | Datum: 03.11.2011

Abb. 3.12. LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Unterteilung nach Häufigkeit der Arten. Seltene Arten (●), Mittelhäufige Arten (▲), Häufige Arten (◆).



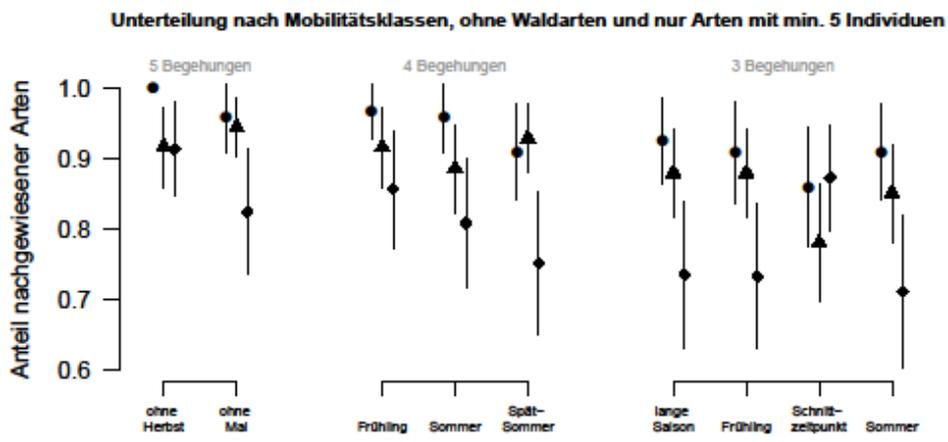
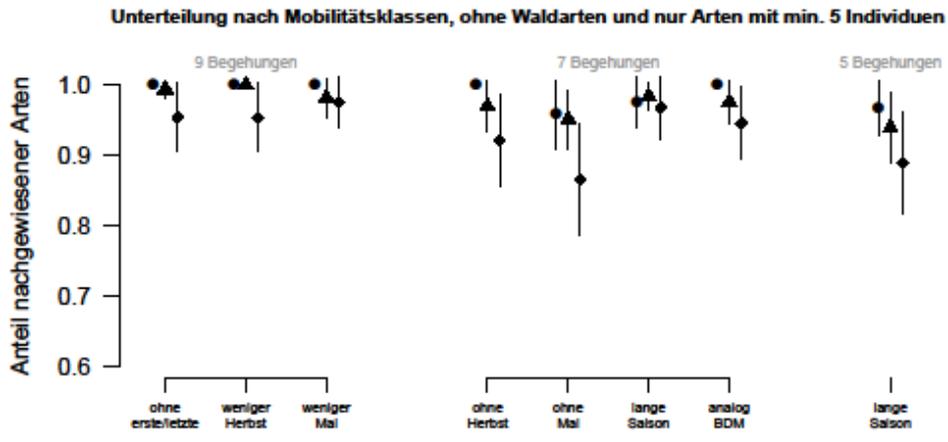
Ref: 942_LANAG_Ant_Individuen_nach_Seltenheit_v1.pdf | Autor: Ro | Datum: 03.11.2011

Abb. 3.13. LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Individuenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeifenster: Unterteilung nach Häufigkeit der Arten. Seltene Arten (●), Mittelhäufige Arten (▲), Häufige Arten (◆).



Ref: 942_LANAG_Ant_Arten_ohne_Waldarten_v1.pdf | Autor: Ro | Datum: 03.11.2011

Abb. 3.14.LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: nur „Offenlandarten“ analysiert (d.h., ohne „Waldarten“).



Ref: 942_LANAG_GVO_Auswahl_v1.pdf | Autor: Ro | Datum: 03.11.2011

Abb. 3.15.LANAG. Abhängigkeit der beobachteten Artenzahl von der Anzahl Begehungen und der Zeitfenster: Häufige „Offenlandarten“, welche die Lebensraumausstattung eines Transekts gut charakterisieren, differenziert nach Mobilitätsklassen. Stationäre Arten (●), Intermediäre Arten (▲), Mobile Arten (◆).

Supplement IV: Transektlängen

In der Saison 2011 wurde der Einfluss der Transektlänge auf die Artenzahlen genauer untersucht. Als Grundlage dienten acht speziell bearbeitete BDM-Feldaufnahmen. Die 2.5 km langen Transekte wurden hin und zurück begangen, so dass im Endeffekt eine Transektlänge von 5 km analysiert werden konnte. Bei jeder Begehung wurde auf dem Hin- und Rückweg jeweils der Erstdnachweis der jeweiligen Arten auf dem Transekt punktgenau auf der Karte eingetragen (Abb. 4.1). Speziell markiert wurden zudem Marschrichtung, Reihenfolge der Begehung der Transektabschnitte und ob eine Art auf dem Hinweg und/oder Rückweg beobachtet wurde (Abb. 4.1). Auf dieser Datengrundlage wurde anschließend die Streuung der erfassten Artenzahl für unterschiedliche Transektlängen und unterschiedliche Begehungsvarianten berechnet. Als Begehungsvarianten wurden 7 Begehungen (volle Anzahl im BDM), 5, 4 und 3 Begehungen durchgespielt. Es wurde darauf geachtet, dass sowohl die Sommerbegehungen als auch immer eine Frühjahrsbegehung berücksichtigt wurde.

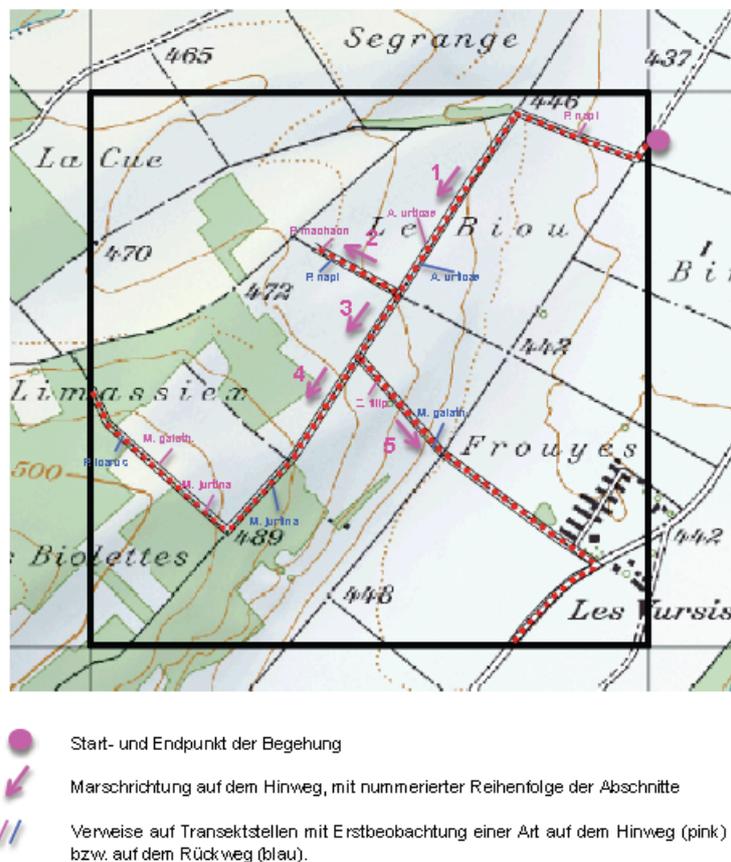


Abb. 4.1. Feldaufnahmen zum Einfluss der Transektlänge auf die Erfassung der Artenzahl. Beispiel für das Produkt aus der Kartierung einer einzelnen Begehung.

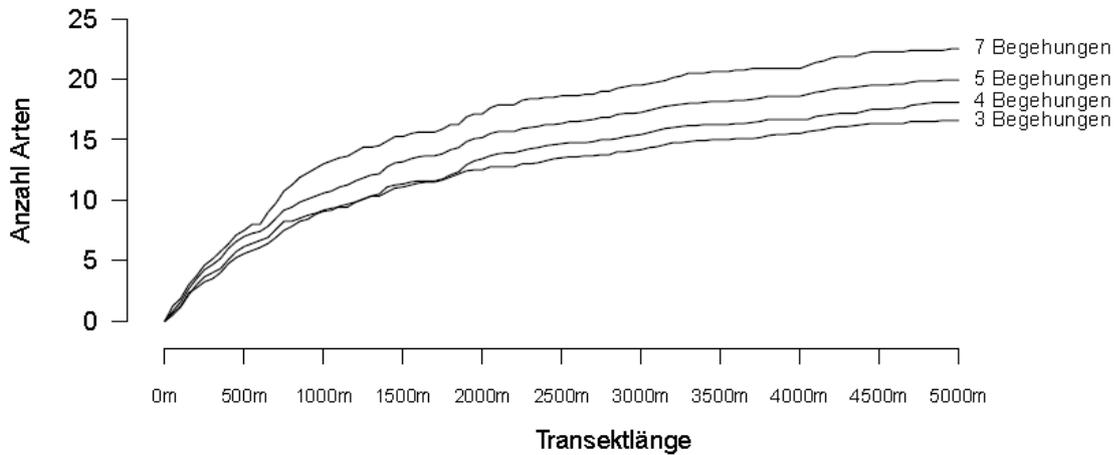


Abb. 4.2. Alle Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und beobachteter Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen (berechnet aus 8 speziell erfassten BDM-Transekten). Die festgestellte Artenzahl bei 7 Begehungen beträgt 22,5 Arten. Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 13 im Schlussbericht.

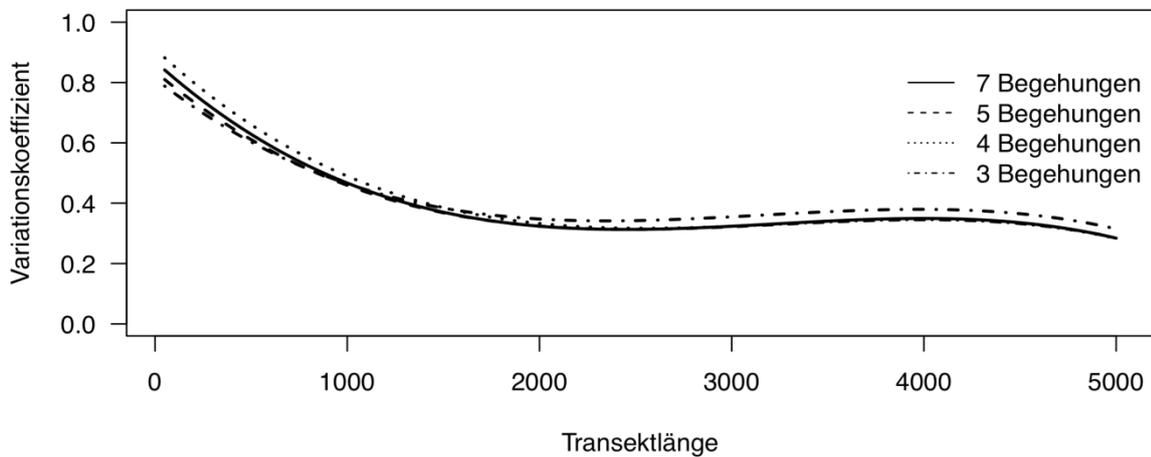


Abb. 4.3. Alle Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und Variationskoeffizient der Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen (berechnet aus 8 speziell erfassten BDM-Transekten). Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 14 im Schlussbericht.

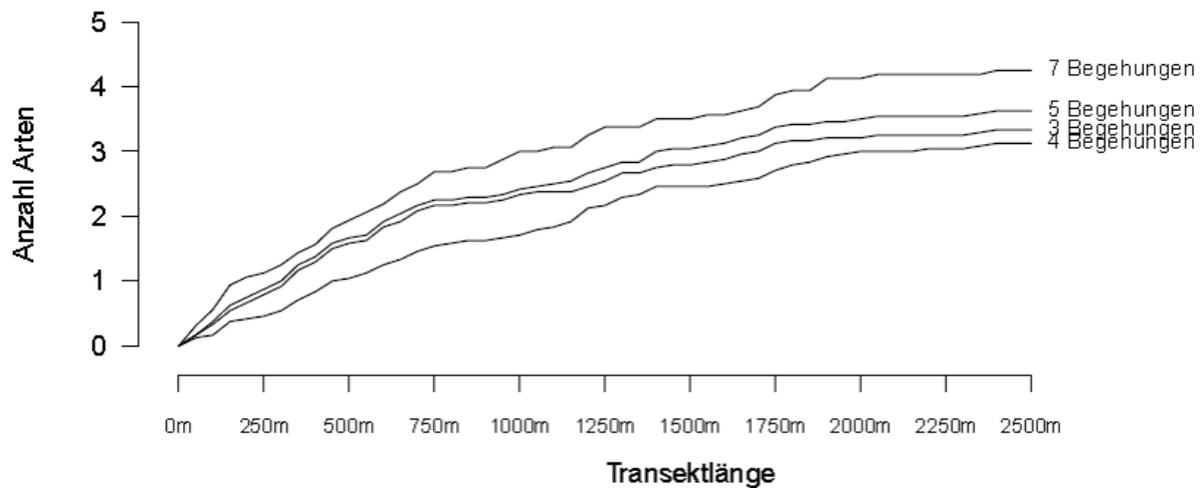


Abb. 4.4. Nur **stationäre** Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und beobachteter Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen (berechnet aus 12 speziell erfassten BDM-Transekten). Bemerkung: eine Stichprobe von $n = 8$ Transekten kann nur grobe Schätzungen der Streuung liefern. Dies könnte das unerwartete Ergebnis erklären, dass bei vier Begehungen die niedrigsten Artenzahlen festgestellt wurden.

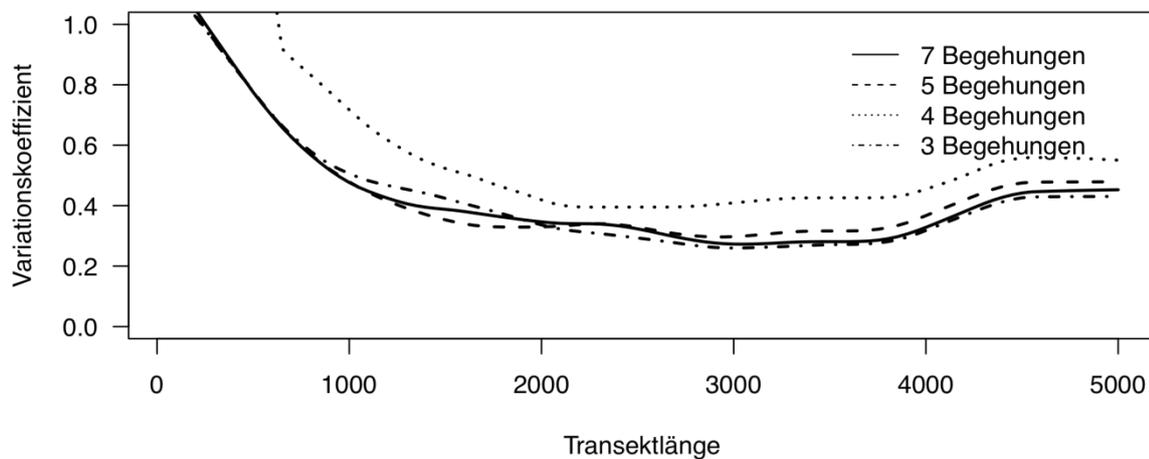


Abb. 4.5. Nur **stationäre** Arten ausgewertet: Beziehung zwischen Transektlänge und Variationskoeffizient der Artenzahl für verschiedene Begehungsfrequenzen (berechnet aus 12 speziell erfassten BDM-Transekten). Bemerkung: eine Stichprobe von $n = 8$ Transekten kann nur grobe Schätzungen der Streuung liefern. Dies könnte das unerwartete Ergebnis erklären, dass bei vier Begehungen die höchsten Variationskoeffizienten festgestellt wurden.

Supplement V: Poweranalysen

Poweranalysen wurden mit dem Programm G*Power, Version 3.1, durchgeführt (Faul et al. 2007). Es wurde von zwei-seitigen Tests, einer Irrtumswahrscheinlichkeit α von 0.05 und einer Power von 80% ausgegangen. Es wurde die Anzahl an benötigten Transekten berechnet, um einen Effekt bestimmter Größe entdecken zu können (z.B. Reduzierung der Artenzahl von 10% bis 50%).

Als Grundlage der Berechnungen dienten verschiedene Datensätze, Artengruppen und Transektlängen (siehe Tabellen 5.1 und 5.2):

- 1.) Originaldaten aus dem BDM (2.5 km Transekt, 7 Begehungen) und LANAG (250m Transekt, 10 Begehungen), Erfassungszeitraum von 2006 – 2010 (vgl. auch Lang & Bühler 2012);
- 2.) Gesamtartenzahl und Gesamt-Abundanzen (Summe aller Tagfalter-individuen aller Arten);
- 3.) stationäre Arten, da diese für ein GVO-Monitoring von besonderer Bedeutung sind (lokale Zuordnung eines Effektes); für seltene¹ Arten, da diese naturschutzfachlich relevant sein können, und zum Vergleich für häufige Arten;
- 4.) verschiedene Transektlängen von 250 m bis 5 km für die Gesamtartenzahl und die Artenzahl stationärer Arten.

Es wurde die Anwendung verschiedener statistischer Tests auf ihre jeweilige Power geprüft. Für alle oben unter 1.) bis 4.) aufgelisteten Datensätze bzw. Analysevarianten wurde ein t-test für unabhängige Stichproben verwendet (Tabelle 5.1). Dabei wurde von einem Stichprobendesign ausgegangen, bei dem in einem bestimmten Jahr eine GVO-Gruppe gegen eine Kontrollgruppe getestet wird.

Des Weiteren wurde ein t-test für verbundene, gepaarte Stichproben für die unter 1.) bis 4.) aufgelisteten Datensätze geprüft (Tabelle 5.2). Dieser Test geht von einem Stichproben-design aus, bei dem dieselben Transekte in verschiedenen Jahren getestet werden, z.B. vor und nach Beginn von GVO-Anbau. Als übliche Korrelation der Artenzahl zwischen zwei Erhebungen wurden für das BDM ein Korrelationskoeffizient r von 0,35 und für das LANAG ein r von 0,52 vorausgesetzt (vgl. LANG & BÜHLER 2012). Da für die Berechnungen der verschiedenen Transektlängen bei vier Begehungen die Korrelation der Artenzahl zwischen zwei Erhebungen unbekannt ist, wurde einmal der Korrelationskoeffizient von $r = 0,35$ (BDM) und einmal ein $r = 0,52$ (LANAG) eingesetzt und die resultierenden Spannen an benötigten Transekten (Min - Max) angegeben.

¹ "Selten" ist hier auf die Häufigkeit in Bezug auf den Datensatz bezogen: es handelt sich um die 33% des jeweiligen Artenpools mit der geringsten Anzahl nachgewiesener Individuen über alle Begehungen.

Tab. 5.1. Poweranalyse für den Vergleich **unabhängiger Stichproben** (t-test, $\alpha = 0.05$, 2-seitig, 80% Power). Angegeben ist die Gesamtzahl der benötigten Transekte zum Nachweis eines bestimmten Effektes (10% - 50% weniger Arten bzw. Individuen). Grundlage der Berechnungen waren die Datensätze des BDM und LANAG sowie Berechnungen für 4 Begehungen. Die Transekte des BDM und LANAG werden hin und zurück begangen, die Gesamtlänge der Transekte ist hier in Klammern angegeben (Summe der Distanzen für Hin- und Rückweg). Das getestete Szenario geht von einem Vergleich zwischen GVO-Transekten und Kontrolltransekten zu einem bestimmten Jahr aus; das heißt, die angegebene Zahl der Transekte muss zu gleichen Teilen auf GVO und Kontrolle verteilt werden. Vergleiche Abb. 15 im Schlussbericht.

Datensatz	Parameter	Artengruppe	Begehungen (n)	Transektlänge	Arten/Abundanz (Mittelw. \pm SD)	10% weniger	20% weniger	30% weniger	40% weniger	50% weniger
BDM	Arten	alle Arten	7	2,5km (5km)	22,71 \pm 6,37	224	54	24	14	10
BDM	Arten	stationäre Arten	7	2,5km (5km)	4,80 \pm 2,70	902	206	86	46	28
BDM	Arten	seltene Arten	7	2,5km (5km)	2,00 \pm 1,40	1396	518	220	118	74
BDM	Arten	häufige Arten	7	2,5km (5km)	16,50 \pm 2,80	84	22	10	8	6
BDM	Abundanz	alle Arten	7	2,5km (5km)	447,64 \pm 268,83	1028	236	96	52	32
BDM	Abundanz	stationäre Arten	7	2,5km (5km)	91,33 \pm 83,44	2370	540	220	114	68
BDM	Arten	alle Arten	4	5km	18,08 \pm 4,99	220	52	22	14	10
BDM	Arten	alle Arten	4	2,5km	14,71 \pm 4,27	242	58	24	14	10
BDM	Arten	alle Arten	4	1,5km	11,67 \pm 3,99	336	78	34	18	12
BDM	Arten	alle Arten	4	1km	9,38 \pm 3,83	474	110	46	26	16
BDM	Arten	alle Arten	4	500m	5,79 \pm 2,64	594	136	58	30	20
BDM	Arten	alle Arten	4	250m	3,46 \pm 2,27	613	280	114	60	36
BDM	Arten	stationäre Arten	4	5km	3,83 \pm 2,62	1332	304	124	66	40

<i>Datensatz</i>	<i>Parameter</i>	<i>Artengruppe</i>	<i>Begehungen (n)</i>	<i>Transektlänge</i>	<i>Arten/Abundanz (Mittelw. ± SD)</i>	<i>10% weniger</i>	<i>20% weniger</i>	<i>30% weniger</i>	<i>40% weniger</i>	<i>50% weniger</i>
BDM	Arten	stationäre Arten	4	2,5km	3,13 ± 1,99	1152	264	108	56	34
BDM	Arten	stationäre Arten	4	1,5km	2,46 ± 1,67	1312	300	122	64	40
BDM	Arten	stationäre Arten	4	1km	1,71 ± 1,65	2688	610	240	128	78
BDM	Arten	stationäre Arten	4	500m	1,04 ± 1,43	5374	1220	494	256	152
BDM	Arten	stationäre Arten	4	250m	0,46 ± 0,83	9254	2098	850	438	258
LANAG	Arten	alle Arten	10	250m (500m)	7,60 ± 3,63	650	150	62	34	22
LANAG	Arten	stationäre Arten	10	250m (500m)	2,00 ± 1,10	862	198	82	44	26
LANAG	Arten	seltene Arten	10	250m (500m)	1,40 ± 0,60	524	122	50	28	18
LANAG	Arten	häufige Arten	10	250m (500m)	5,00 ± 2,20	554	128	54	28	18
LANAG	Abundanz	alle Arten	10	250m (500m)	43,17 ± 42,51	2754	626	254	132	80
LANAG	Abundanz	stationäre Arten	10	250m (500m)	11,10 ± 24,47	13810	3130	1266	652	384
LANAG	Arten	alle Arten	7	250m (500m)	6,38 ± 3,33	776	178	74	40	24
LANAG	Arten	stationäre Arten	7	250m (500m)	1,90 ± 1,13	1008	230	94	50	30

Tab. 5.2. Poweranalyse für den Vergleich **gepaarter (verbundener)** Stichproben (t-test, $\alpha = 0.05$, 2-seitig, 80% Power). Angegeben ist die Gesamtzahl der benötigten Transekte zum Nachweis eines bestimmten Effektes (10% - 50% weniger Arten bzw. Individuen). Grundlage der Berechnungen waren die Datensätze des BDM und LANAG sowie Berechnungen für 4 Begehungen. Die Transekte des BDM und LANAG werden hin und zurück begangen, die Gesamtlänge der Transekte ist hier in Klammern angegeben (Summe der Distanzen für Hin- und Rückweg). Das getestete Szenario geht von einem Vorher-Nachher-Vergleich auf denselben Transekten zwischen zwei Erhebungszeitpunkten aus; das heißt, die angegebene Zahl der Transekte muss zu gleichen Teilen auf Erhebung 1 und Erhebung 2 verteilt werden. Bei den Berechnungen (4 Begehungen, verschiedene Transektlängen) ist die Korrelation in der Artenzahl zwischen zwei Erhebungen unbekannt; deshalb wurden für die Poweranalysen die bekannten Korrelationen aus dem BDM ($r = 0.35$) und LANAG ($r = 0.52$) angenommen und die resultierende Spanne an benötigten Transekten angegeben (vgl. Lang & Bühler 2012). Vergleiche Abb. 16 im Schlussbericht.

Datensatz	Parameter	Artengruppe	Begehungen (n)	Transektlänge	Arten/Abundanz (Mittelw. \pm SD)	10% weniger	20% weniger	30% weniger	40% weniger	50% weniger
BDM	Arten	alle Nachweise	7	2,5km (5km)	22,71 \pm 6,37	150	38	18	12	10
BDM	Arten	stationäre Arten	7	2,5km (5km)	4,80 \pm 2,70	590	138	60	34	24
BDM	Arten	seltene Arten	7	2,5km (5km)	2,00 \pm 1,40	912	212	90	50	32
BDM	Arten	häufige Arten	7	2,5km (5km)	16,50 \pm 2,80	58	18	10	8	8
BDM	Abundanz	alle Nachweise	7	2,5km (5km)	447,64 \pm 268,83	672	158	68	38	26
BDM	Abundanz	stationäre Arten	7	2,5km (5km)	91,33 \pm 83,44	1548	358	150	82	52
BDM	Arten	alle Nachweise	4	5km	18,08 \pm 4,99	110 – 146	30 – 38	16 – 18	10 – 12	10
BDM	Arten	alle Nachweise	4	2,5km	14,71 \pm 4,27	120 – 158	32 – 40	16 – 20	12 – 14	10
BDM	Arten	alle Nachweise	4	1,5km	11,67 \pm 3,99	164 – 220	42 – 54	20 – 26	14 – 16	10
BDM	Arten	alle Nachweise	4	1km	9,38 \pm 3,83	182 – 244	46 – 60	22 – 28	14 – 18	12
BDM	Arten	alle Nachweise	4	500m	5,79 \pm 2,64	288 – 388	70 – 92	32 – 42	20 – 24	14
BDM	Arten	alle Nachweise	4	250m	3,46 \pm 2,27	482 – 784	138 – 182	62 – 80	36 – 44	24 – 30
BDM	Arten	stationäre Arten	4	5km	3,83 \pm 2,62	622 – 838	152 – 200	66 – 86	38 – 48	26 – 32
BDM	Arten	stationäre Arten	4	2,5km	3,13 \pm 1,99	536 – 720	150 – 198	58 – 76	34 – 42	24 – 28
BDM	Arten	stationäre Arten	4	1,5km	2,46 \pm 1,67	616 – 830	146 – 194	66 – 82	38 – 46	26 – 32
BDM	Arten	stationäre Arten	4	1km	1,71 \pm 1,65	1144 – 1556	286 – 382	126 – 162	72 – 90	48 – 56

Datensatz	Parameter	Artengruppe	Begehungen (n)	Transektlänge	Arten/Abundanz (Mittelw. \pm SD)	10% weniger	20% weniger	30% weniger	40% weniger	50% weniger
BDM	Arten	stationäre Arten	4	500m	1,04 \pm 1,43	2314 – 3122	592 – 790	244 – 318	138 – 176	92 – 112
BDM	Arten	stationäre Arten	4	250m	0,46 \pm 0,83	3758 – 5070	876 – 1168	426 – 556	224 – 286	154 – 188
LANAG	Arten	alle Nachweise	10	250m (500m)	7,60 \pm 3,63	318	78	36	22	16
LANAG	Arten	stationäre Arten	10	250m (500m)	2,00 \pm 1,10	420	100	46	26	20
LANAG	Arten	seltene Arten	10	250m (500m)	1,40 \pm 0,60	256	64	30	18	14
LANAG	Arten	häufige Arten	10	250m (500m)	5,00 \pm 2,20	270	66	30	20	14
LANAG	Abundanz	alle Nachweise	10	250m (500m)	43,17 \pm 42,51	1334	312	134	74	50
LANAG	Abundanz	stationäre Arten	10	250m (500m)	11,10 \pm 24,47	6672	1546	650	356	228

Supplement VI: Erfassungseffizienz

Auf der Grundlage der vorherigen Poweranalysen (Supplement V) wird die Erfassungseffizienz, d.h. das Verhältnis von Aufwand zu Ertrag, für verschiedene Kombinationen von Transektlänge und nachzuweisender Effektgröße bestimmt. Wir berechnen dabei, für welche Kombination von Transektlänge und Anzahl Begehungen der Aufwand (Kosten) minimiert wird, um eine gewünschte Effektgröße (z.B. Veränderung der Artenzahl um 10 Prozent) nachweisen zu können. Dies wird für zwei Artenpools durchgeführt: alle Arten sowie stationäre Arten und für eine Begehungsfrequenz von vier Begehungen. Es wurden zwei Varianten geprüft, eine Reisezeit von 2 Stunden zwischen den Transekten und eine Reisezeit von einer halben Stunde.

Methodisch wurde dabei wie folgt vorgegangen:

1. Zunächst wurde der Zeitaufwand für die Erfassung der Tagfalter pro Transekt und Einzelbegehung geschätzt - separat für jede Transektlänge. Dank bereits realisierter Erhebungsprogramme in der Schweiz bestehen hier für einige Transektlängen gute Erfahrungswerte (5 km, 1 km, 0.5 km). Daraus geht auch hervor, dass das Verhältnis zwischen Erhebungsaufwand auf dem Transekt und Transektlänge als nahezu linear gelten darf. Zusätzlich zum Arbeitsaufwand auf dem Transekt wurde der Zeitbedarf weiterer Arbeitsschritte separat bemessen und zum Erhebungsaufwand addiert, z.B. Reiseaufwand, Orientierung im Gelände, Qualitätskontrolle der Daten etc.
2. Danach wurde der Zeitaufwand für die gesamte Datenerhebung pro Transekt über sämtliche Begehungen berechnet. Dabei wurden 6-stündige Arbeitstage im Feld angenommen, wobei für jeden neuen Arbeitstag von einer erneuten An-/Abreise zum Untersuchungsgebiet ausgegangen wurde. Begrenzte, 6-stündige Arbeitstage tragen auch dem Umstand Rechnung, dass die geeigneten Wetterbedingungen pro Feldtag nur zwischen ca. 10.00 Uhr und den späten Nachmittagsstunden vorhanden sind. Fahrtkosten (250km/Tag a 50 Cent/km) und Spesen für Mahlzeiten (33 Euro/Tag) wurden mit einbezogen und ebenso pro Arbeitstag veranschlagt, wobei die Kosten in Zeitaufwand umgerechnet wurden (Annahme: 70 Euro pro Stunde Arbeit).
3. Dieser Gesamtaufwand pro Transekt (alle Begehungen) wurde dann mit dem notwendigen Stichprobenaufwand gemäß Poweranalyse multipliziert. Dies ergibt den Gesamt-Arbeitsaufwand einer Variante für eine Power von 80%. Anhand des Gesamt-Arbeitsaufwandes lässt sich nun ableiten, mit welcher Transektlänge man die wenigsten Feldstunden leisten muss, um eine Power von 80% zum Nachweis eines bestimmten Effektes zu erreichen.

Tab. 6.1. Erfassungsaufwand⁸ in Stunden (h) pro Transekt und Jahr bei vier Begehungen pro Saison in Abhängigkeit von der Transektlänge und der Reisezeit. Als Reisezeit ist der mittlere Zeitbedarf definiert, um zwischen den Transekten zu wechseln. Der Erfassungsaufwand für „alle Arten“ und „stationäre Arten“ ist hier der gleiche, da für beide Artenpools immer der komplette Transekt abgelaufen werden muss. Bemerkung: Tabelle entspricht Tabelle 1 im Schlussbericht.

Transektlänge	alle Arten, 2h Reisezeit	alle Arten, 0.5h Reisezeit	stationäre Arten, 2h Reisezeit	stationäre Arten, 0.5h Reisezeit
5.0 km	30,8	27,2	30,8	27,2
2.5 km	23,4	16,8	23,4	16,8
1.5 km	18,7	12,4	18,7	12,4
1.0 km	17,1	10,0	17,1	10,0
0.5 km	15,7	7,5	15,7	7,5
0.25 km	15,0	6,5	15,0	6,5

⁸ N.B.: Fahrtkosten und Spesen wurden mit einbezogen und ebenso veranschlagt, wobei die Kosten in Zeitaufwand umgerechnet wurden

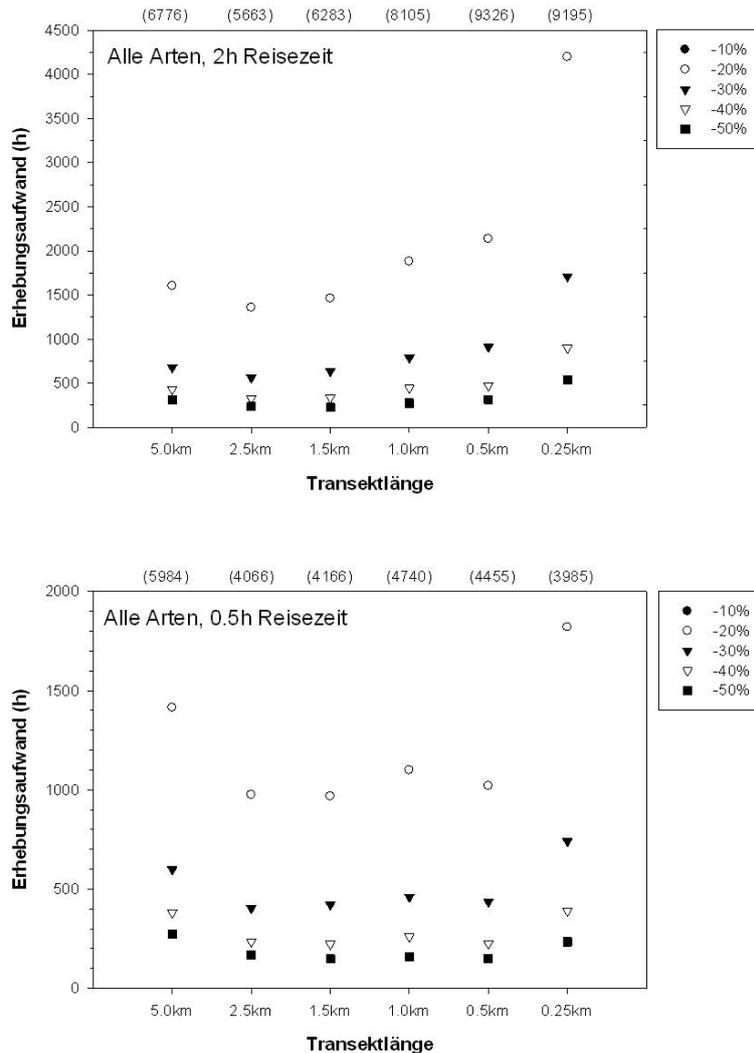


Abb. 6.1. Zeitlicher Erhebungsaufwand pro Jahr (h) für ein Monitoring **aller Arten** aufgrund der Berechnung des benötigten Stichprobenumfangs (vgl. Tabelle 5.1). Die Zielvariable ist die Gesamtartenzahl. Das angenommene Design ist ein Vergleich zwischen GVO- und Kontrollflächen in einem bestimmten Jahr, d.h. ein zweiseitiger Mittelwerttest (t-test) für **unabhängige Stichproben** (80% Power, $\alpha = 0.05$). Es wird von vier Begehungen pro Jahr ausgegangen und zwei Varianten berücksichtigt, eine Reisezeit von 2 h und 0.5 h zwischen den Transekten. Der Erhebungsaufwand wird für verschiedene Transektlängen und für den Nachweis verschieden großer Effekte (10% - 50%) dargestellt. Die Werte für einen 10%igen Effekt liegen außerhalb der Graphik und sind oberhalb der Graphik in Klammern angegeben. Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 17 im Schlussbericht.

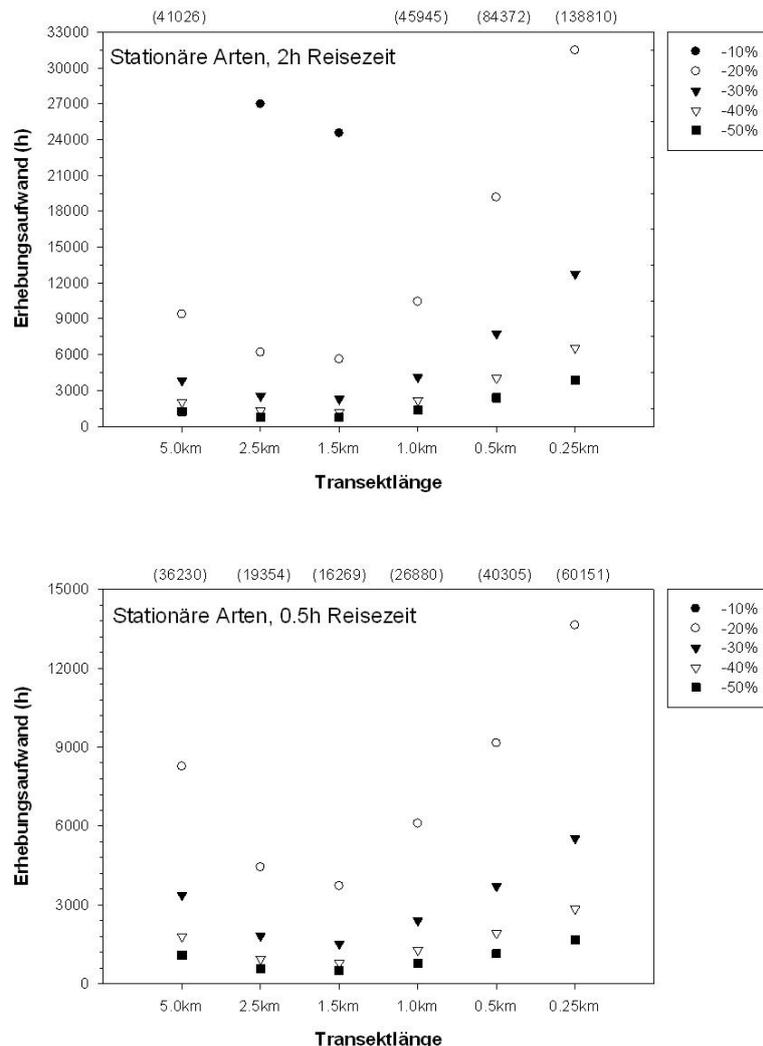


Abb. 6.2. Zeitlicher Erhebungsaufwand pro Jahr (h) für ein Monitoring **stationärer Arten** aufgrund der Berechnung des benötigten Stichprobenumfanges (vgl. Tabelle 5.1). Die Zielvariable ist die Artenzahl stationärer Arten. Das angenommene Design ist ein Vergleich zwischen GVO- und Kontrollflächen in einem bestimmten Jahr, d.h. ein zweiseitiger Mittelwerttest (t-test) für **unabhängige Stichproben** (80% Power, $\alpha = 0.05$). Es wird von vier Begehungen pro Jahr ausgegangen und zwei Varianten berücksichtigt, eine Reisezeit von 2 h und 0.5 h zwischen den Transekten. Der Erhebungsaufwand wird für verschiedene Transektlängen und für den Nachweis verschieden großer Effekte (10% - 50%) dargestellt. Die Werte für einen 10%igen Effekt liegen teilweise außerhalb der Graphik und sind oberhalb in Klammern angegeben.

Tab. 6.2. Zeitlicher Erhebungsaufwand⁹ pro Jahr (h) für ein Monitoring **aller** Arten aufgrund der Berechnung des benötigten Stichprobenumfangs (vgl. Tabelle 5.2). Zielvariable ist die Gesamtartenzahl. Das angenommene Design ist eine wiederholte Beprobung derselben Transekte, also zeitlich gepaarte Transekte, somit wird mit einem zweiseitigen Mittelwerttest (t-test) für **verbundene** Stichproben getestet (80% Power, $\alpha = 0.05$). Es wird von vier Begehungen pro Jahr ausgegangen und zwei Varianten berücksichtigt, eine Reisezeit von 2 h und 0.5 h zwischen den Transekten. Der Erhebungsaufwand wird für verschiedene Transektlängen und für den Nachweis verschieden großer Effekte (10% - 50%) dargestellt. Da die Korrelation in der Artenzahl zwischen zwei Erhebungen für die berechneten Transektlängen unbekannt ist, wurde eine Spanne angegeben (Min – Max), welche auf den bekannten Korrelationen aus dem BDM ($r = 0.35$) und dem LANAG ($r = 0.52$) beruht. Der gesamte Erhebungsaufwand für ein Monitoring muss mit der Anzahl der Jahre, in denen das Monitoring stattfindet, multipliziert werden (mindestens mal zwei für zwei Erhebungszeitpunkte). Bemerkung: Tabelle entspricht Tabelle 2 im Schlussbericht.

Alle Arten	10% Effekt	20% Effekt	30% Effekt	40% Effekt	50% Effekt
<i>2h Reisezeit</i>					
5.0 km Transekt	1694 – 2248	462 – 585	246 – 277	154 – 184	154
2.5 km Transekt	1404 – 1848	374 – 468	187 – 234	140 – 163	117
1.5 km Transekt	1533 – 2057	392 – 504	187 – 243	130 – 149	93 – 112
1.0 km Transekt	1556 – 2086	393 – 513	188 – 239	119 – 153	102
0.5 km Transekt	2260 – 3045	549 – 722	251 – 329	157 – 188	109 – 125
0.25 km Transekt	3630 – 5880	1020 – 1365	465 – 600	270 – 330	180 – 225
<i>0.5h Reisezeit</i>					
5.0 km Transekt	1496 – 1985	408 – 516	217 – 244	136 – 163	136
2.5 km Transekt	1008 – 1327	268 – 336	134 – 168	100 – 117	84
1.5 km Transekt	1016 – 1364	260 – 334	124 – 161	86 – 99	62 – 74
1.0 km Transekt	910 – 1220	230 – 300	110 – 140	70 – 90	60
0.5 km Transekt	1080 – 1455	262 – 345	120 – 157	75 – 90	52 – 60
0.25 km Transekt	1573 – 2548	442 – 591	201 – 260	117 – 143	78 – 97

⁹ N.B. Fahrtkosten und Spesen wurden mit einbezogen und ebenso veranschlagt, wobei die Kosten in Zeitaufwand umgerechnet wurden.

Tab. 6.3. Zeitlicher Erhebungsaufwand¹⁰ pro Jahr (h) für ein Monitoring **stationärer** Arten aufgrund der Berechnung des benötigten Stichprobenumfanges (vgl. Tabelle 5.2). Zielvariable ist die Artenzahl stationärer Arten. Das angenommene Design ist eine wiederholte Beprobung derselben Transekte, also zeitlich gepaarte Transekte, somit wird mit einem zweiseitigen Mittelwerttest (t-test) für **verbundene** Stichproben getestet (80% Power, $\alpha = 0.05$). Es wird von vier Begehungen pro Jahr ausgegangen und zwei Varianten berücksichtigt, eine Reisezeit von 2 h und 0.5 h zwischen den Transekten. Der Erhebungsaufwand wird für verschiedene Transektlängen und für den Nachweis verschieden großer Effekte (10% - 50%) dargestellt. Da die Korrelation in der Artenzahl zwischen zwei Erhebungen für die berechneten Transektlängen unbekannt ist, wurde eine Spanne angegeben (Min – Max), welche auf den bekannten Korrelationen aus dem BDM ($r = 0.35$) und dem LANAG ($r = 0.52$) beruht. Der gesamte Erhebungsaufwand für ein Monitoring muss mit der Anzahl der Jahre, in denen das Monitoring stattfindet, multipliziert werden (mindestens mal zwei für zwei Erhebungszeitpunkte).

Stationäre Arten	10% Effekt	20% Effekt	30% Effekt	40% Effekt	50% Effekt
<i>2h Reisezeit</i>					
5.0 km Transekt	9579 – 12905	2341 – 3080	1016 – 1324	585 – 739	400 – 493
2.5 km Transekt	6271 – 8424	1755 – 2317	679 – 889	398 – 491	281 – 328
1.5 km Transekt	5760 – 7761	1365 – 1814	617 – 785	355 – 430	243 – 299
1.0 km Transekt	9867 – 13304	2445 – 3266	1077 – 1385	616 – 770	410 – 479
0.5 km Transekt	18165 – 24508	4647 – 6202	1915 – 2496	1083 – 1382	722 – 879
0.25 km Transekt	28185 – 38025	6570 – 8760	3195 – 4170	1680 – 2145	1155 – 1410
<i>0.5h Reisezeit</i>					
5.0 km Transekt	8459 – 11397	2067 – 2720	898 – 1170	517 – 653	354 – 435
2.5 km Transekt	4502 – 6048	1260 – 1663	487 – 638	286 – 353	202 – 235
1.5 km Transekt	3819 – 5146	905 – 1203	409 – 521	236 – 285	161 – 198
1.0 km Transekt	5770 – 7780	1430 – 1910	630 – 810	360 – 450	240 – 280
0.5 km Transekt	8678 – 11708	2220 – 2963	915 – 1193	518 – 660	345 – 420
0.25 km Transekt	12214 – 16478	2847 – 3796	1385 – 1807	728 – 930	501 – 611

¹⁰ N.B. Fahrtkosten und Spesen wurden mit einbezogen und ebenso veranschlagt, wobei die Kosten in Zeitaufwand umgerechnet wurden.

Supplement VII: Analyse von Datenpools

Stationäre, intermediäre und mobile Arten

Tab 7.1. Artenliste der Tagfalter, Dickkopffalter und Widderchen im BDM und LANAG mit Einteilung in die verschiedenen Mobilitätsklassen. 1 = stationär, 2 = intermediär, 3 = mobil. Nach POLLARD & YATES (1993), SETTELE et al. (1999) und eigenen Einschätzungen. Die mit * markierten Arten kommen in Deutschland nicht vor. Zusätzliche Arten aus Köllitsch sind mit # und aus dem BfN-Datensatz mit + gekennzeichnet.

Art	Mobilität
<i>Adscita statices</i>	1
<i>Aglais urticae</i>	3
<i>Anthocharis cardamines</i>	2
<i>Apatura ilia</i>	2
<i>Aphantopus hyperantus</i>	1
<i>Aporia crataegi</i>	3
<i>Araschnia levana</i>	3
<i>Argynnis adippe</i>	2
<i>Argynnis aglaja</i>	1
<i>Argynnis paphia</i>	2
<i>Aricia agestis complex</i>	2
<i>Boloria dia</i>	3
<i>Boloria selene</i> +	1
<i>Brenthis daphne</i>	1
<i>Brenthis ino</i>	1
<i>Brintesia circe</i>	2
<i>Callophrys rubi</i>	2

<i>Carcharodus alceae</i>	3
<i>Celastrina argiolus</i>	3
<i>Coenonympha pamphilus</i>	1
<i>Coenonympha tullia</i> +	1
<i>Colias crocea</i>	3
<i>Colias hyale complex</i>	3
<i>Cupido alcetas</i> *	3
<i>Cupido argiades</i>	3
<i>Erynnis tages</i>	1
<i>Euphydryas aurinia</i>	1
<i>Gonepteryx rhamni</i>	3
<i>Hesperia comma</i>	1
<i>Heteropterus morpheus</i> +	1
<i>Hipparchia semele</i> +	2
<i>Hyponephele lycaon</i>	2
<i>Hyponephele lycaon</i> +	2
<i>Inachis io</i>	3
<i>Iphiclides podalirius</i> #	2
<i>Issoria lathonia</i>	3
<i>Lasiommata megera</i>	2
<i>Leptidea sinapis complex</i>	2
<i>Limenitis camilla</i>	1

<i>Lycaena dispar</i> +	2
<i>Lycaena phlaeas</i>	2
<i>Lycaena tityrus</i>	1
<i>Lycaena virgaureae</i> +	2
<i>Maculineaalcon</i>	1
<i>Maculinea nausithous</i>	1
<i>Maniola jurtina</i>	2
<i>Melanargia galathea</i>	1
<i>Melitaea athalia</i>	1
<i>Melitaea cinxia</i> +	1
<i>Melitaea diamina</i>	1
<i>Melitaea didyma</i>	2
<i>Melitaea parthenoides</i>	1
<i>Minois dryas</i>	1
<i>Neozephyrus quercus</i>	1
<i>Nymphalis antiopa</i> +	3
<i>Nymphalis polychloros</i>	3
<i>Ochlodes venata</i>	2
<i>Papilio machaon</i>	3
<i>Pararge aegeria</i>	2
<i>Pieris brassicae</i>	3
<i>Pieris napi complex</i>	3

<i>Pieris rapae complex</i>	3
<i>Plebeius argus</i>	1
<i>Plebeius idas</i>	1
<i>Polygonia c-album</i>	3
<i>Polyommatus amandus +</i>	2
<i>Polyommatus bellargus</i>	1
<i>Polyommatus coridon +</i>	2
<i>Polyommatus icarus</i>	2
<i>Polyommatus semiargus</i>	3
<i>Polyommatus thersites</i>	1
<i>Pontia edusa #</i>	3
<i>Pyrgus alveus complex</i>	2
<i>Pyrgus armoricanus</i>	1
<i>Pyrgus malvae complex</i>	1
<i>Pyronia tithonus</i>	1
<i>Satyrrium w-album</i>	1
<i>Spialia sertorius</i>	1
<i>Thecla betulae</i>	1
<i>Thymelicus acteon +</i>	1
<i>Thymelicus lineola</i>	2
<i>Thymelicus sylvestris</i>	1
<i>Vanessa atalanta</i>	3

<i>Vanessa cardui</i>	3
<i>Zygaena ephialtes</i>	1
<i>Zygaena filipendulae</i>	1
<i>Zygaena loti</i>	1
<i>Zygaena transalpina</i>	1

Raupenstadien

Analysiert wurden alle Arten, welche als Tagfalter in den Datensätzen des BfN, Köllitsch, BDM und LANAG beobachtet wurden (exklusive in Deutschland nicht vorkommender Arten). Für diese insgesamt 76 Arten wurden die Zeiträume bestimmt, in denen sie als Jungraupen (L1 – L3) oder Altraupen (L3 – L5) auftreten. Als Datenbasis für die Raupenzeiten dienten die grafische Darstellungen in SETTELE et al. (2009) sowie die Daten aus den Regionalfaunen für Baden-Württemberg, Pfalz, Sachsen, und eigene Erfahrungen (Bayern). Die Überwinterungsstadien, die Generationenzahl sowie 14 Typen an Lebensstrategien wurden SETTELE & REINHARDT (2000), REINHARDT et al. (2007) und SETTELE et al. (2009) entnommen.

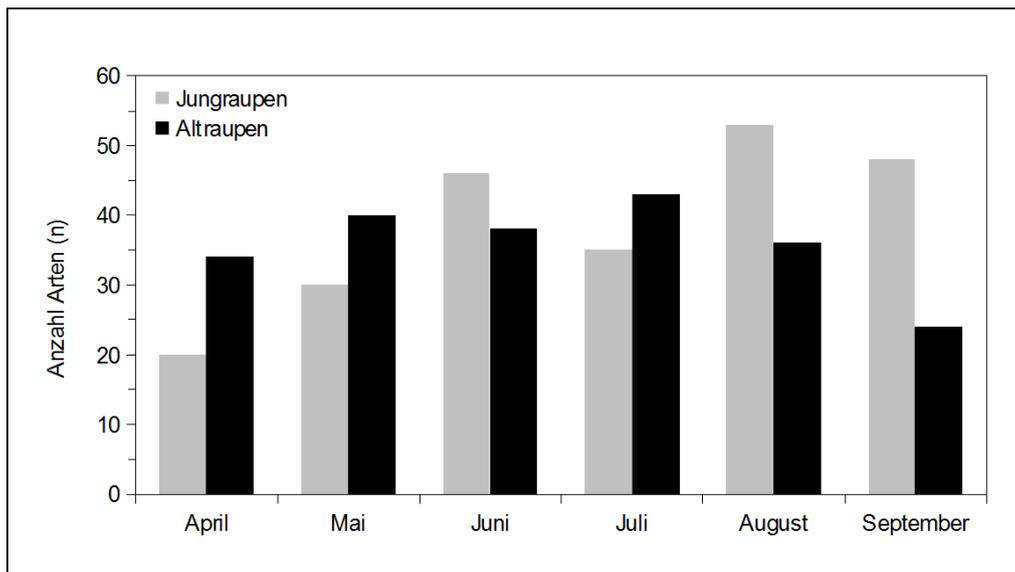


Abb. 7.1. Vorkommen von Schmetterlingsraupen während der Saison. Anzahl Arten, nach Jungrauen (L1 – L3) und Altraupen (L3 – L5) getrennt. Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 18 im Schlussbericht.

Tab.7.2. Vorkommen der nachgewiesenen "Tagfalter"-Arten als Jungraupe und Altraupe. Artnachweise aus den Datensätzen BDM, LANAG, BfN und Köllitsch (exklusive nicht in Deutschland vorkommender Arten). Überlappungen mit Nachbarmonaten sind immer möglich, je nach Region und saisonalem Wetterverlauf.

Art	Jungrauen						Altrauben					
	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.
<i>Aglais urticae</i>		X	X	X	X				X	X	X	X
<i>Anthocharis cardamines</i>		X	X						X	X		
<i>Apatura ilia</i>					X	X	X	X				
<i>Apatura iris</i>					X	X	X	X				
<i>Aphantopus hyperantus</i>				X	X	X	X	X	X			
<i>Aporia crataegi</i>				X	X	X	X	X				
<i>Araschnia levana</i>		X	X		X				X		X	X
<i>Argynnis adippe</i>	X							X				
<i>Argynnis aglaja</i>	X	X						X				
<i>Argynnis paphia</i>	X	X						X	X			
<i>Aricia agestis</i>			X		X	X	X			X	X	
<i>Brenthis daphne</i>	X							X				
<i>Brenthis ino</i>	X							X				
<i>Brintesia circe</i>	X	X						X	X			
<i>Callophrys rubi</i>		X	X							X	X	
<i>Carcharodus alceae</i>			X	X	X	X	X			X	X	X
<i>Celastrina argiolus</i>		X	X	X	X	X			X	X	X	X
<i>Clossiana dia</i>			X		X	X	X			X	X	
<i>Clossiana euphrosyne</i>			X		X	X	X		X	X		
<i>Coenonympha pamphilus</i>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Colias crocea</i>			X	X	X	X				X	X	X
<i>Colias hyale-Komplex</i>			X		X	X	X			X	X	
<i>Cupido minimus</i>			X	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Cyaniris semiargus</i>			X		X	X	X			X	X	X
<i>Cynthia cardui</i>			X	X	X				X	X	X	X
<i>Erebia aethiops</i>	X				X	X	X	X	X			
<i>Erynnis tages</i>			X		X	X	X			X		
<i>Eurodryas aurinia</i>			X	X	X	X	X	X				
<i>Everes argiades</i>			X		X	X	X			X		
<i>Gonepteryx rhamni</i>		X	X						X	X		
<i>Hesperia comma</i>	X	X						X	X			
<i>Hyponephele lycaon</i>	X	X	X						X	X		
<i>Inachis io</i>		X	X	X	X				X	X	X	X

Art	Jungraupen						Altraupen					
	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.
<i>Iphiclides podalirius</i>			X		X					X	X	X
<i>Issoria lathonia</i>			X	X	X	X	X		X	X	X	X
<i>Lasiommata megera</i>			X		X	X	X			X	X	X
<i>Leptidea sinapis</i>		X	X	X	X	X			X	X	X	X
<i>Leptidea sinapis-Komplex</i>		X	X	X	X	X			X	X	X	X
<i>Limenitis camilla</i>				X	X	X	X	X				
<i>Lycaena phlaeas</i>	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
<i>Lycaena tityrus</i>			X		X	X	X			X		
<i>Lysandra bellargus</i>			X		X	X	X			X	X	
<i>Lysandra coridon</i>	X	X						X	X			
<i>Maculinea nausithous</i>					X	X						
<i>Maniola jurtina</i>				X	X	X	X	X				
<i>Melanargia galathea</i>	X	X						X	X			
<i>Melitaea athalia</i>				X	X	X	X	X				
<i>Melitaea diamina</i>			X	X	X	X	X	X				
<i>Melitaea didyma</i>				X	X	X	X	X				
<i>Mellicta parthenoides</i>			X		X	X	X	X		X	X	
<i>Minois dryas</i>	X	X						X	X			
<i>Nymphalis polychloros</i>		X	X						X			
<i>Ochlodes venata</i>					X	X	X	X				
<i>Papilio machaon</i>			X	X	X	X				X	X	X
<i>Pararge aegeria</i>			X	X	X	X		X	X	X	X	
<i>Pieris brassicae</i>		X	X	X	X	X			X	X	X	X
<i>Pieris napi-Komplex</i>		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
<i>Pieris rapae-Komplex</i>		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
<i>Pieris sp.</i>		X	X	X	X	X			X	X	X	X
<i>Plebeius argus</i>	X	X						X	X			
<i>Plebeius idas</i>	X		X	X				X		X	X	
<i>Plebicula dorylas</i>				X	X	X	X	X				
<i>Polygonia calbum</i>		X		X	X				X	X	X	
<i>Polyommatus icarus</i>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Polyommatus thersites</i>			X		X	X	X			X		
<i>Pontia edusa</i>		X	X	X	X	X			X	X	X	X
<i>Pyrgus alveus-Komplex</i>				X	X	X	X	X	X			
<i>Pyrgus armoricanus</i>			X		X	X	X			X	X	
<i>Pyrgus malvae</i>			X	X	X	X				X	X	X

Art	Jungrauen						Altraupen					
	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.
<i>Pyronia tithonus</i>					X	X	X	X	X			
<i>Quercusia quercus</i>	X	X						X	X			
<i>Satyrium w-album</i>	X							X				
<i>Spialia sertorius</i>			X	X		X	X		X	X	X	
<i>Thecla betulae</i>	X	X						X	X			
<i>Thymelicus lineola</i>	X							X				
<i>Thymelicus sylvestris</i>	X							X				
<i>Vanessa atalanta</i>			X	X						X	X	X
Summe Artenzahl	20	30	46	35	53	48	34	40	38	43	36	24

Supplement VIII: Monitoring-Design

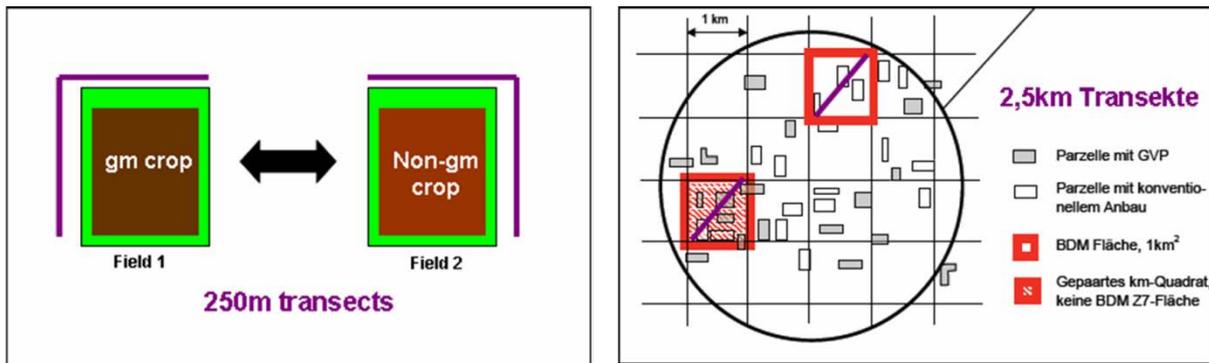


Abb. 8.1. Schematische Darstellung eines lokalen Monitoring (links), Typ LANAG, und eines überregionalen Landschafts-Monitoring (rechts), Typ BDM (nach VDI 2010 und Bühler et al. 2008). Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 1 im Schlussbericht.



Abb. 8.2. Vorgeschlagenes Schema für ein GVO-Monitoring. Beprobung verschiedener Landschaftsausschnitte: Kontroll-Quadrat ohne GVO-Anbau (links) und GVO-Quadrat mit GVO-Anbau (rote Flächen). Fix eingerichtete lange Transektstrecken (rote Linie) und/oder mobile kurze Transekte (blaue Linien) (Karten aus dem Schweizer Biodiversitätsmonitoring, nicht maßstabsgetreu). Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 20 im Schlussbericht.

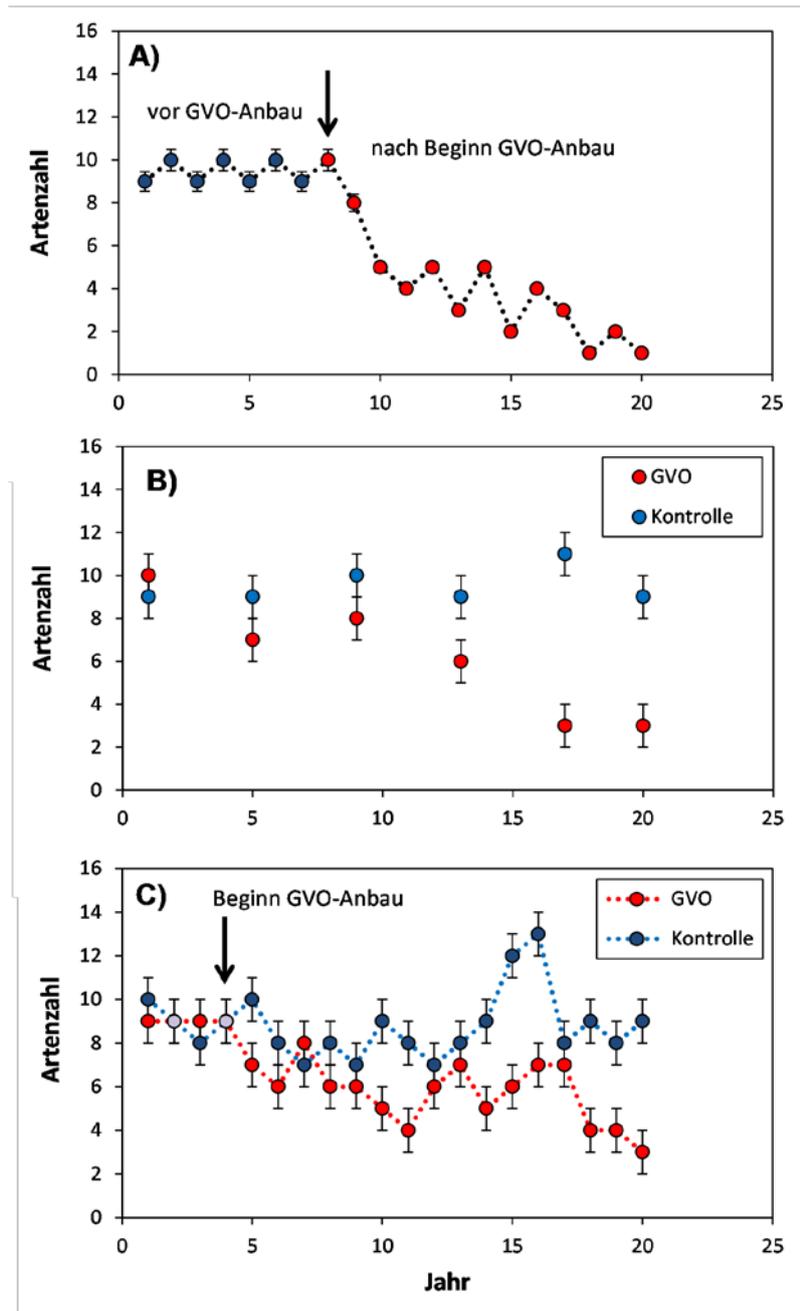


Abb. 8.3. Verschiedene potentielle Analysemöglichkeiten für ein GVO-Monitoring bei mehrjährigen, hypothetischen Datenreihen. (A) Vergleich der Situation vor und nach GVO-Anbau: dieselben Transekte werden wiederholt beprobt (= zeitlich gepaarte Stichproben) und die Datenreihe über die Zeitachse in Bezug zum GVO-Anbau gesetzt; (B) Vergleich GVO mit Nicht-GVO (unabhängige Stichproben): zu einem bestimmten Zeitpunkt (Jahr) werden GVO-Transekte mit Kontrolltransekten verglichen. In dieser Abbildung wird der Vergleich in verschiedenen Jahren wiederholt. Dabei handelt es sich aber jeweils um zwei neu gezogene Stichproben an Messflächen; (C) Zeitlich gepaarter Vergleich von GVO mit Nicht-GVO (= Kombination aus A und B): dieselben GVO-Transekte und Kontrolltransekten werden wiederholt beprobt und miteinander verglichen. Bemerkung: Abbildung entspricht Abb. 19 im Schlussbericht.