

TEXTE 00/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3717 64 412 0

Abschlussbericht

Integriertes Monitoring in der Agrarlandschaft - Erfassung der ökologischen Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes

[Klicken Sie hier, um Text einzugeben.](#)

von

Andreas Toschki, Johanna Oellers, Quintana Rumohr

Forschungsinstitut gaiac an der RWTH Aachen University,
Aachen

Martina Roß-Nickoll, Benjamin Daniels, Andreas Schäffer, Alexandra Sybertz

Institut für Umweltforschung, RWTH Aachen University,
Aachen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

[f/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

[t/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

gaiac-Forschungsinstitut für Ökosystemanalyse und -bewertung e.V.
Kackertstr. 10
52072 Aachen

Abschlussdatum:

März 2021

Redaktion:

Fachgebiet FG IV 1.3 Pflanzenschutzmittel
Sina Egerer, Dr. Tobias Frische, Christoph Wengerodt

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, xxx 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Integriertes Monitoring in der Agrarlandschaft - Erfassung der ökologischen Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes

Der alarmierende Rückgang der Biodiversität, insbesondere in der Agrarlandschaft, lässt Zweifel aufkommen, ob die derzeitige prospektive Risikoabschätzungs- und Registrierungspraxis von Pflanzenschutzmitteln (PSM), die zu Pflanzenschutz Zwecken eingesetzt werden, den gesetzlich vorgesehenen Schutz der Biodiversität gewährleistet. Als Hauptgrund dafür wird die allgemeine Intensivierung der Landwirtschaft genannt, die aus einem Komplex verschiedener Einflussfaktoren (z. B. Düngemiteleinsetz, Monokulturen) besteht. Ein wichtiger Faktor ist dabei der derzeitige Einsatz von PSM, die nachweislich negative Auswirkungen auf die Lebensgemeinschaften in landwirtschaftlichen Regionen haben. Die Auswirkungen der PSM auf die Biodiversität sind sowohl direkt als auch indirekt. Neben den direkten toxischen Wirkungen auf so genannte Nicht-Zielorganismen entstehen indirekte Effekte z. B. durch die Veränderung des durch Herbizide verursachten Konkurrenzverhältnisses zwischen Gräsern und Blütenpflanzen in der Vegetation. Folglich können die Wirkungen des chemischen Pflanzenschutzes in ihrer Gesamtheit nur durch retrospektive Ökosystembetrachtungen, d.h. durch Monitoringansätze, nachgewiesen werden. Da die Gemeinschaften im Freiland neben den bereits erwähnten PSM mit einem Komplex von verschiedenen Stressoren konfrontiert sind, müssen diese Stressoren in einem neuen retrospektiven Ansatz ebenfalls berücksichtigt werden. Wir stellen hier das Konzept eines neuen, integrierten Monitoringansatzes vor, auf dessen Grundlage die ökologischen Auswirkungen des PSM-Einsatzes in der Agrarlandschaft Deutschlands untersucht und bewertet werden sollen. Dabei sollen Synergien genutzt werden, indem das Monitoring in einem etablierten, bundesweiten ökologischen Flächenstichprobennetz durchgeführt und in die bestehenden Monitoringaktivitäten (z. B. Monitoring häufiger Brutvögel) integriert wird. Der geplante modulare Aufbau, d. h. die schrittweise Umsetzung einzelner Monitoring-Einheiten (analytische Endpunkte sowie Biodiversität bzw. die Untersuchung verschiedener taxonomischer Gruppen) werden aufgezeigt.

Abstract: Integrated Monitoring in the Agricultural Landscape - Recording the Ecological Effects of Chemical Plant Protection

The alarming decline in biodiversity, particularly in the agricultural landscape, raises doubts if the current prospective risk assessment and registration practice of pesticides applied for plant protection purposes (i.e. plant protection products, PPPs) ensures the legally intended protection of biodiversity. The main reason cited for this is the overall intensification of agriculture, which consists of a complex of various influencing factors (e.g. use of fertiliser, monocultures). Amongst these, one important factor is the current use PPPs, which have a proven negative impact on biocoenoses in agricultural regions. The impact of PPPs on biodiversity is both direct and indirect. In addition to direct toxic effects on so-called non-target organisms, indirect effects arise e.g. by the change of the competitive balance between grasses and flowering plants in vegetation caused by herbicides. Consequently, the effects of chemical plant protection can only be proven in their entirety by retrospective ecosystem observations, i.e. monitoring approaches. As communities in the field are facing a complex of different stressors besides PPP as mentioned before, these stressors need to be also considered in a new retrospective approach. Here, we present the concept of a new, integrated monitoring scheme to assess the ecological effects of the application of PPPs in the agricultural landscape of Germany. Therefore, we propose using synergies with an established nationwide ecological area sampling site network with several, already ongoing monitoring activities (e.g. bird monitoring and high nature value farmland). The modular

structure of including biodiversity and analytic endpoints, as well as a planned step-by-step implementation will be shown.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	9
Tabellenverzeichnis.....	10
Abkürzungsverzeichnis.....	12
1 Einleitung.....	14
2 Bestehende Monitoring- und Forschungsvorhaben	16
2.1 Bundesweit durchgeführte und geplante Monitoringaktivitäten	16
2.1.1 Bundesweit repräsentative Stichprobenflächen	16
2.1.1.1 Bundesweites Brutvogel-Monitoring	18
2.1.1.2 High Nature Value Farmland-Indikator (HNV).....	18
2.1.1.3 Ökosystem-Monitoring.....	18
2.1.1.4 Bundesweites Insekten-Monitoring	19
2.1.1.5 Die Ökologische Flächenstichprobe in Nordrhein-Westfalen	20
2.1.1.6 Monitorings auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen in Baden- Württemberg.....	21
2.1.2 Bodendauerbeobachtungsflächen.....	21
2.1.3 Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW)	23
2.1.4 Umweltprobenbank.....	25
2.1.5 Monitoring gemäß FFH-Richtlinie.....	26
2.1.6 Sonstige Monitoringansätze und -vorhaben	27
2.2 Bestehende konzeptionelle Ansätze mit Bezug zum Vorhaben	30
2.2.1 MonViA – Das Bundesweite Monitoring der biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft.....	30
2.2.2 DNA-Barcoding-Initiativen & Methodik.....	31
2.2.3 Pflanzenschutzmittel-Erhebungen und -Indices	31
2.2.4 Ansätze zu Pestizidmessungen in der Landschaft	32
3 Theoretische Anforderungen und fachliche Voraussetzungen zur Erfassung des Einflusses chemischer Pflanzenschutzmittel auf die Biodiversität	35
3.1 Anforderungen an das Messsystem	36
3.2 Fachliche Voraussetzungen für die Aufnahme biozönotischer Daten.....	36
3.3 Fachliche Voraussetzungen für die Aufnahme von Pestiziddaten.....	39
3.4 Anforderungen an ein einheitliches Datenmanagement	41
4 Konzept und Ausgestaltung eines integrierten Monitorings von Pflanzenschutzmitteln in der Agrarlandschaft.....	45
4.1 Die bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen als geeignetes Mess-Netz	46

4.2	Notwendige strukturelle Verfeinerung – Entwicklung <i>Bundesweiter Agrarfenster</i> (BAF).....	47
4.3	BAF - Bundesweite Agrar-Fenster	48
4.4	iBAF - Intensive Bundesweite Agrar-Fenster	49
5	Gestufter Ansatz – die schrittweise Umsetzung des Monitoringkonzepts	50
5.1	Monitoring-Module - Stufe 1	51
5.1.1	Biodiversität.....	51
5.1.2	Pflanzenschutzmittel-Messungen und -Erhebungen.....	56
5.1.3	Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren	64
5.2	Monitoring Module - Stufe 2	64
5.2.1	Biodiversität.....	64
5.2.2	Pflanzenschutzmittel.....	67
5.3	Monitoring Module - Stufe 3	70
5.3.1	Biodiversität.....	70
5.3.2	Pflanzenschutzmittel.....	71
5.4	Mögliche Verschneidungs- und Auswertungsebenen erhobener Daten.....	73
5.5	Beispielszenario BAF-Monitoring auf einer BRSF in Nordrhein-Westfalen	75
6	Strategie zur strukturellen Umsetzung	83
6.1	Einrichtung der BAFs und iBAFs	83
6.2	Vernetzungsstruktur	85
6.3	Überschlägige Kostenabschätzung	87
6.4	Nächste Schritte und Ausblick	89
7	Fazit und abschließende Beurteilung der Möglichkeiten und Grenzen der Realisierbarkeit	92
	Danksagung	95
	Acknowledgements	95
8	Quellenverzeichnis	96
A	Anhang	108

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage der bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen	17
Abbildung 2:	Bodendauerbeobachtungsflächen in den verschiedenen deutschen Naturräumen, differenziert nach Landnutzung.....	22
Abbildung 3:	Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW).....	24
Abbildung 4:	Verteilung und Umweltverhalten von Pestiziden in einem Landschaftsausschnitt zur Abschätzung der Exposition.....	33
Abbildung 5:	Struktureller Aufbau eines integrierten Monitorings von Pflanzenschutzmitteln (PSM) im Freiland	35
Abbildung 6:	Schematische Darstellung der biotopspezifischen Biodiversität – der rote Rahmen kennzeichnet die charakteristische Artenverbindung am Standorttyp.....	37
Abbildung 7:	Hierarchisches Schema des strukturellen Aufbaus der notwendigen Daten eines nationalen PSM- & Biodiversitätsmonitorings in der Agrarlandschaft	43
Abbildung 8:	Darstellung der drei identifizierten Datenpakete „Struktur“, „PSM“ und „Biodiversität“ als Dimensionen eines integrierten Monitoring-Datenmanagements. Durch die hierarchisch konsistente Datennachhaltung in Form einer relationalen Datenbankstruktur lassen sich Abfragen und hypotesengestützte Analysen aus unterschiedlichen Perspektiven bzw. Dimensionen und auf verschiedenen Skalenebenen der Dimensionen durchführen. Grundlage des multidimensionalen Ansatzes ist ein OLAP-System (Online Analytical Processing)	44
Abbildung 9:	Schematische Darstellung der räumlichen Lage Bundesweiter Agrar-Fenster (BAF); NZ = Nicht-Zielfläche	48
Abbildung 10:	Schematische Darstellung der stufenweisen Umsetzung von Monitoringmodulen im Rahmen des integrierten Monitorings zur Erfassung der Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes	50
Abbildung 11:	Einordnung der verschiedenen Meßindikatoren in die verschiedenen räumlichen Skalenebenen, in denen eine gemeinsame Auswertung möglich ist	74
Abbildung 12:	Lage der 191 bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen (BRSF) in Nordrhein-Westfalen innerhalb der differenzierten Landschaftsräume. Eine BRSF dieser Flächen wurde für die exemplarische Darstellung des Monitoringkonzepts anhand eines konkreten Flächenbezugs genutzt.....	75
Abbildung 13:	Anonymisiertes Beispiel einer Ökologischen Flächenstichprobe (ÖFS) auf einem Areal der BRSF in NRW.	

	Auf der vorhandenen BRSF wird ein BAF/iBAF eingerichtet, das einen für das Monitoring relevanten Biotopkomplex (siehe Kapitel 4.2) enthält (rechte Seite). Für das Beispielszenario wurde ein Acker-Grünland-Komplex identifiziert.	76
Abbildung 14:	Ausgewählter Biotopkomplex „Acker - Grünland“ als BAF/iBAF-Ausschnitt der zu untersuchenden BRSF (Acker: rot; Feldrain/Grünland: blau gekennzeichnet).....	77
Abbildung 15:	Beispielhafte Darstellung der umzusetzenden Maßnahmen auf den BAF/iBAF im Biodiversitäts- und Pflanzenschutzmittelmonitoring der Stufe 1.	78
Abbildung 16:	Konzept einer Datenbankstruktur mit strukturellen Verknüpfungen zwischen einzelnen Monitoringmodulen und –tabellen innerhalb des integrierten Monitoringansatzes.....	81
Abbildung 17:	Schlüsselakteure und Vernetzungsstruktur des integrierten Pestizid-Monitorings.....	86

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Geplante/bestehende Monitoringaktivitäten auf den bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen bzw. der ökologischen Flächenstichproben in NRW.....	20
Tabelle 2:	Bodenbiologische Datenerhebungen auf Bodendauerbeobachtungsflächen in den Bundesländern Deutschlands	23
Tabelle 3:	Biologische Endpunkte und Messgrößen im Rahmen des integrierten Monitorings – Stufe 1.....	52
Tabelle 4:	Endpunkte und Messgrößen für PSM-Rückstände und - Aufwandmengen im Rahmen des integrierten Monitorings – Stufe 1.....	57
Tabelle 5:	Auswahl wichtiger Wirkstoffe für das PSM-Monitoring.....	59
Tabelle 6:	Standortparameter, die im Rahmen des IMoP aufgenommen werden	64
Tabelle 7:	Biologische Endpunkte und Messgrößen im Rahmen des IMoP – Stufe 2	65
Tabelle 8:	Endpunkte und Messgrößen für PSM-Rückstände und - Aufwandmengen im Rahmen des integrierten Monitorings – Stufe 2.....	68
Tabelle 9:	Biologische Endpunkte und Messgrößen im Rahmen des integrierten Monitoring – Stufe 3	70

Tabelle 10:	Endpunkte und Messgrößen für PSM-Rückstände und - Aufwandmengen im Rahmen des integrierten Monitorings – Stufe 3	72
Tabelle 11:	Übersicht über die aktuelle Datensituation der in Stufe 1 geplanten Monitoringmodule in Nordrhein-Westfalen; Grün: hohe Synergien; Orange: mittlere Synergien, Rot: keine Synergien	79
Tabelle 12:	Überschlägige Kostenabschätzung für einzelne Module im Rahmen des IMoP	88
Tabelle 13:	Überblick über die Datenbankstruktur der geplanten Monitoringmodule, ihrer jeweiligen Tabellen und den zu enthaltenden Variablen/Informationen (Siehe Kapitel 5.5., Beispielszenario NRW).	110

Abkürzungsverzeichnis

BAF	Bundesweite Agrarfenster (siehe Kap. 4.2)
BDF	Bodendauerbeobachtungsflächen der Länder
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BF	Bodenfalle
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Vorgänger des BMU)
BRSF	Bundesweit repräsentative Stichprobenflächen (siehe Kap. 2.1.1)
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
BW	Baden-Württemberg
BZE	Bodenzustandserhebung (siehe kap. 2.1.3)
BZE-LW	Bodenzustandserhebung Landwirtschaft
DDA	Dachverband Deutscher Avifaunisten
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
ESA	Europäische Weltraumorganisation
EU	Europäische Union
EUMETSAT	Europäische Organisation für die Nutzung Meteorologischer Satelliten
FFH	Fauna-Flora-Habitat(-Richtlinie)
GBOL	German Barcode of Life
HNV	High Nature Value Farmland-Indikator
iBAF	Intensiv untersuchte bundesweite Agrarfenster (siehe Kap. 4.4)
iBRSF	Bundesweit repräsentative Stichprobenfläche, in der sich ein iBAF befindet
IMoP	Integriertes Monitoring in der Agrarlandschaft zur ökologischen Wirkung von Pflanzenschutzmitteln
ISO	International Organization for Standardization
JKI	Julius Kühn-Institut
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
NAP	Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln
NEPTUN	Netzwerk zur Ermittlung der Pflanzenschutzmittelanwendung in

BAF	Bundesweite Agrarfenster (siehe Kap. 4.2) unterschiedlichen, landwirtschaftlich relevanten Naturräumen Deutschlands
NRW	Nordrhein-Westfalen
ÖFS	Ökologische Flächenstichprobe in NRW (siehe Kap. 2.1.1.5)
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PAPA	Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PSM	Pflanzenschutzmittel
StBA	Statistisches Bundesamt
UDE	Universität Duisburg-Essen
TMD	Tagfalter Monitoring Deutschland
TME	Terrestrische Modellökosysteme
UFZ	Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
UM	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
UPB	Umweltprobenbank des Bundes
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
ZFMK	Zoologisches Forschungsmuseum König

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten ist sowohl in Deutschland als auch in weiten Teilen der Welt ein fortschreitender Rückgang der Biodiversität zu beobachten (u. a. BfN 2015, BMUB 2015, Dirzo et al. 2014, Fox et al. 2015, Habel et al. 2016, 2019, Hallmann et al. 2017, 2020, Pähler et al. 2019, Potts et al. 2010, Schuch et al. 2012, Thomas et al. 2004, Wesche et al. 2014). Indikatoren, die im Rahmen der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (NHS) und der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) erhoben werden, wie z. B. die Indikatoren „Artenvielfalt und Landschaftsqualität“ und „Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert“ (high nature value farmland = HN VF), bestätigen diesen Abwärtstrend und verfehlen regelmäßig ihre Zielwerte (BMUB 2015). Für landwirtschaftlich geprägte Ökosysteme, die zugleich über 50 % der deutschen Landesfläche ausmachen, trifft dies in besonderem Maße zu (Statistisches Bundesamt 2018, 2019).

Biodiversität in der Agrarlandschaft entsteht sowohl durch die Vielfalt an Landschaftselementen in einem Landschaftsraum als auch durch qualitativ unterschiedliche Ausprägungen dieser Landschaftselemente. Jeder Agrarlandschaftstyp oder auch jeder Landschaftselementtyp weist aufgrund unterschiedlicher klimatischer, edaphischer, landnutzungsabhängiger sowie anderer Faktoren (z. B. Verbreitungsareale von Pflanzen und Tieren) ein regional spezifisches Arteninventar auf. Die verschiedenen Taxa sind dabei im Konkurrenzgefüge der Biozönose an den Lebensraum – Struktur, Biotop, Kultur – angepasst. Die Intensivierung der Landwirtschaft, die aus einem schwer trennbaren und miteinander in Beziehung stehenden Faktorenkomplex besteht (z. B. Technisierung, Düngung, Pestizidanwendungen), wird als eine Hauptursache für den Rückgang der Artenvielfalt benannt (BfN 2015). Als besonders gewichtiger Einflussfaktor wird dabei der Einsatz von Pestiziden (auch Pflanzenschutzmittel [PSM]) in der Landwirtschaft hervorgehoben (Brühl & Zaller 2019, Niggli et al. 2020, Schäffer et al. 2018, Sybertz et al. 2020, Wahl et al. 2015).

Die Wirkungsweise von Pestiziden auf die Biodiversität ist direkter sowie indirekter Natur. Neben direkten toxischen Wirkungen auf Organismen, die nicht betroffen sein sollten, entstehen gravierende indirekte Wirkungen. So wird z. B. durch den Einsatz von Herbiziden das Konkurrenzgleichgewicht zwischen den Organismen zerstört und taxonomische Gruppen höherer trophischer Ebenen verlieren ihre Nahrungsgrundlage. Insbesondere für herbivore Tiergruppen reduziert der zunehmende Einsatz von Herbiziden, die nicht nur zur Unkrautkontrolle, sondern auch zur Steuerung der Reifungsprozesse (Sikkation) eingesetzt werden, das Angebot an Wildkräutern sowie Samen als Basis der Nahrungsketten (Balzer & Schulz 2015, Jahn et al. 2014, Toschki et al. 2017).

Auf der Grundlage der europaweit geltenden Richtlinie im Pflanzenschutzrecht (EG 1107/2009) ist es vorgeschrieben, dass die Anwendung von PSM keine nichtakzeptablen Auswirkungen auf die Biodiversität haben darf. Die biologische Vielfalt ist mit diesem EU-Gesetz in den Stand eines rechtsverbindlichen Schutzgutes erhoben worden. Die Beurteilung des Gefährdungspotentials von PSM und Bioziden auf die Biodiversität beruht derzeit auf dem Konzept der prospektiven Bewertung, bei der die Ergebnisse ökotoxikologischer Standardtests mit meist nur wenigen Stellvertreterarten zur Gesamtrisikobewertung genutzt werden. Anlass zur Sorge ist u. a. die unterschiedliche Empfindlichkeit diverser Stellvertreterarten (Frampton et al. 2006). So deckt beispielsweise der im regulatorischen Prozess angewandte Sicherheitsfaktor die Sensitivitätsunterschiede verschiedener Regenwurmartens im Boden nicht ab (siehe ebenda). Das Risiko für die komplexen Systeme der Agrarlandschaft (Populationen, Lebensgemeinschaften im Freiland, Biodiversität) wird in diesem Sinne auf der Basis einfacher praktikabler Methoden abgeleitet und die dabei

entstehenden Unsicherheiten werden durch Sicherheitsfaktoren kompensiert. Inwieweit dieses Konzept der Stellvertreterarten geeignet ist, die Gefährdungspotentiale für aquatische und terrestrische Lebensgemeinschaften einzuschätzen, ist nach wie vor unsicher (Brühl & Zaller 2019, EFSA 2007, Liess et al. 2016, Scholz-Starke et al. 2016, Schäffer et al. 2018). Zweifel daran lassen sich vor allem an dem alarmierenden Rückgang der Biodiversität, insbesondere in der Agrarlandschaft, festmachen (s. o.).

Zurzeit existiert national keine ausreichende Datengrundlage, um die Entwicklung der Biodiversität in der Agrarlandschaft wissenschaftlich belastbar bewerten zu können (Bonn et al. 2018, Dauber et al. 2016, Toschki et al. 2015, Schäfer et al. 2019). Diese Datengrundlage fehlt auch auf Seiten der eingesetzten Chemikalien: So ist gänzlich unbekannt, welche Pestizide an welcher Stelle, wie oft und in welcher Menge eingesetzt werden. Im Bereich der Fließgewässerökologie existieren bereits erste Vorhaben, in denen die Auswirkungen von Pestiziden auf aquatische Organismen systematisch und über einen längeren Zeitraum im Freiland untersucht werden (KgM 2020, Münze et al. 2015, UBA 2017). In terrestrischen Ökosystemen der Agrarlandschaft existiert zum heutigen Zeitpunkt kein umfassendes umweltanalytisches Monitoring von Pestiziden, so dass bislang keine Korrelationen zwischen der Ausbringung von PSM und den beobachteten Effekten systematisch gezeigt werden konnten. Folglich ist auch eine wissenschaftlich fundierte Bewertung des Einflusses von Pestiziden auf die Biodiversität im Komplex der multidimensionalen Wirkungen (verschiedene abiotische und biotische Parameter sowie anthropogene Einwirkungen, wie z. B. Nährstoffe, Klima, Landnutzung und Habitatqualität) bisher nicht bzw. nur sehr eingeschränkt möglich.

In der Nationalen Biodiversitätsstrategie (NBS, BMUB 2007) wurde jedoch explizit das Ziel formuliert, die Datenbasis zum Zustand und zur Entwicklung der biologischen Vielfalt in Deutschland zu verbessern. Auch die Naturschutz-Offensive 2020 (BMUB 2015) weist auf die Notwendigkeit hin, ein umfassendes Biodiversitäts-Monitoring einzuführen. In seiner Gesamtheit lassen sich ökologische Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes nur retrospektiv mittels integrierter (ökosystemarer) Umweltbeobachtung erfassen (vgl. Niggli et al. 2020, Toschki 2008, Lennartz & Roß-Nickoll 1999). Um den Zustand der betroffenen Schutzgüter in der Agrarlandschaft genau beschreiben und direkte Zusammenhänge analysieren zu können, müssen somit z. B. chemisch-analytische Bestimmungen von PSM-Rückständen (Expositionsmonitoring) mit biologischen Wirkungsuntersuchungen bzw. ökologischen Indikatoren (Effektmonitoring) gekoppelt werden. Darüber hinaus ist die Aufnahme zusätzlicher Einflussfaktoren, wie beispielsweise die Anwendung von Düngemitteln, die mechanische Bearbeitung des Bodens oder klimatische Messgrößen, notwendig. Zudem ist die regionale Spezifität, die mit dem landschaftstypischen Potential eng verknüpft ist, als Basis zu berücksichtigen. Aus diesen Gründen sind organismische, ökotoxikologische, umweltchemische und landschaftsbezogene Expertisen erforderlich.

2 Bestehende Monitoring- und Forschungsvorhaben

Zu Beginn des Forschungsvorhabens erfolgte eine umfassende Recherche mit dem Ziel, Monitoring-Programme bzw. Initiativen zu identifizieren, die sich für die Ziele des vorliegenden Projektes potentiell nutzen lassen. Das Ergebnis ist, dass bereits einige Langzeituntersuchungen mit verschiedenen Hintergründen und Rahmenbedingungen durchgeführt werden. Einige dieser Monitorings finden bundesweit und nach standardisierter Methodik statt und erfassen verschiedene Parameter, wie beispielsweise die Biodiversität oder einzelne Umweltfaktoren. Teilweise wurden nach bestimmten Kriterien ausgewählte Flächen in unterschiedlichen Lebensraumtypen eingerichtet, die in regelmäßigen Abständen untersucht werden. Andere Vorhaben sind eher regional begrenzt und einige umfassendere Monitoringansätze befinden sich derzeit in der Planungsphase. Darüber hinaus existieren verschiedene Initiativen und Konzepte, die Methoden entwickeln und umsetzen, die für ein integriertes Monitoring der Pestizidbelastung in der Normallandschaft verwendbar sein können. In die verschiedenen Aktivitäten sind zahlreiche Akteure involviert, die in unterschiedlichen Beziehungen zueinanderstehen. Die Ergebnisse der Recherche werden im Folgenden vorgestellt.

2.1 Bundesweit durchgeführte und geplante Monitoringaktivitäten

2.1.1 Bundesweit repräsentative Stichprobenflächen

Die bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen (BRSF) wurden im Jahr 2004 im Hinblick auf ein bundesweites Vogelmonitoring installiert. Federführend war dabei der Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA), der das Statistische Bundesamt (StBA) mit der Aufgabe betraute, die Lage der Stichprobenflächen mit Hilfe definierter statistischer Verfahren zu ermitteln. Darüber hinaus war das Bundesamt für Naturschutz (BfN) in die weiteren Planungen, wie beispielsweise die Festlegung der Stichprobenumfänge, mit eingebunden. Ein Ziel für die Einrichtung der Flächen war die Schaffung eines flächendeckenden Stichprobennetzes, das eine für ganz Deutschland repräsentative Abdeckung aller Regionen und Lebensräume, insbesondere in der Normallandschaft, gewährleistete. Demzufolge wurde für die Ziehung der zukünftigen Monitoringflächen vorab ein geschichtetes System entwickelt, das auf einer flächendeckenden Einteilung der Landschaft in Nutzungstypen (Ackerland, Grünland, Wald etc.) sowie in Standorttypen („längerfristig stabile abiotisch charakterisierte räumliche Einheiten“, ähnlich den Naturräumen Deutschlands, vgl. Mitschke et al. 2005; S. 127-136) basierte. Entsprechend dieser Kriterien wurden für ein bundesweites Monitoring 1000 quadratische Stichprobenflächen mit einer Kantenlänge von 1 km ermittelt. Diese fungierten als Unterstichprobe von insgesamt 2637 Flächen (Gesamtstichprobe) (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Diese weiteren 1637 Flächen wurden gezogen, um den 16 Bundesländern eigene, für das entsprechende Bundesland repräsentative Probeflächen zu bieten. In den Ländern Niedersachsen, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen wurden bereits bestehende Monitoring-Flächen aus anderen Stichprobenkonzepten, wie z. B. in Nordrhein-Westfalen der Ökologischen Flächenstichprobe (ÖFS), in das neue Stichprobennetz integriert. Zudem wurden Ersatzflächen ermittelt, die verwendet wurden, wenn eine Fläche nicht nutzbar war, wie beispielsweise bei der Ziehung nicht öffentlich begehbarer Truppenübungsplätze. Auf den Stichprobenflächen wurde in der Brutsaison 2004 mit einem Brutvogel-Monitoring begonnen (Mitschke et al. 2005), später folgten weitere Datenerhebungen, wie beispielsweise der High Nature Value Farmland-Indikator und das Ökosystem-Monitoring. Eine Sonderstellung nehmen die Länder Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg ein, die über die bundesweit durchgeführten

Monitorings hinaus weitere regelmäßige Untersuchungen durchführen. Diese bundes- und landesweiten Aktivitäten werden im Folgenden dargestellt (siehe auch Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.).

Abbildung 1: Lage der bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen



Quelle: Bundesamt für Naturschutz

2.1.1.1 Bundesweites Brutvogel-Monitoring

Im Anschluss an die Einrichtung der Stichprobenflächen im Jahr 2004 wurde mit dem bundesweiten Monitoring häufiger Brutvogelarten begonnen. Dabei werden Brutvogelbestände mit Hilfe einer Linienkartierung erfasst, indem beiderseits einer ca. 3 km langen Route innerhalb der Probefläche viermal pro Brutsaison möglichst alle Brutvögel erfasst werden. Die Route wird so gewählt, dass alle flächenmäßig bedeutsamen Lebensräume innerhalb des Quadrats berührt werden. Die Erfassung erfolgt mit Hilfe ehrenamtlicher Bearbeiter, die unter dem DDA organisiert sind. Die Organisation auf Landesebene übernehmen insgesamt 16 Länderkoordinatoren, weitere Akteure sind die Staatlichen Vogelschutzwarten bzw. Länderfachbehörden sowie die ornithologischen Landesfachverbände. Die Ziele des Monitorings sind eine repräsentative Abdeckung der verschiedenen Regionen und Lebensräume Deutschlands, die Erhebung belastbarer Daten aufgrund standardisierter Feld- und Auswertungsmethoden sowie die Analyse von Bestandstrends und Bestandshochrechnungen heimischer Brutvogelarten (BfN 2019a, DDA 2019, Heidrich-Riske 2004, Mitschke et al. 2005, Sudfeldt et al. 2012).

2.1.1.2 High Nature Value Farmland-Indikator (HNV)

Etwa die Hälfte der Fläche Deutschlands unterliegt einer landwirtschaftlichen Nutzung, so dass die Qualität dieser Agrarflächen ein wichtiger Faktor für den Erhalt der Biodiversität darstellt. Seit etwa den 1950er Jahren hat eine Intensivierung in der landwirtschaftlichen Praxis stattgefunden, die einen Rückgang von Offenlandarten zur Folge hat. Dem gegenüber stehen Agrarflächen mit einem hohen naturschutzfachlichen Wert, wie beispielsweise artenreiche Magerwiesen und extensiv bewirtschaftete Äcker sowie strukturierende Landschaftselemente, wie u. a. Gräben, Hecken oder Feldgehölze. Um diese Flächen erhalten zu können, ist in einem ersten Schritt eine Erfassung notwendig. Der neu eingeführte HNV-Indikator ist einer von 35 EU-weit erfassten Indikatoren zur Integration von Umweltbelangen in die gemeinsame Agrarpolitik. Er ist somit ein Pflichtindikator, dessen stichprobenbasierter, deutschlandweit einheitlicher Ansatz durch das BfN, in Abstimmung mit dem BMEL, dem BMUB und den Bundesländern, umgesetzt wurde. Hierzu werden seit dem Jahr 2009 Transektbegehungen auf 900 der BRSF durchgeführt. Die Bundesländer beauftragen Planungsbüros, um die Flächen in einem zeitlichen Abstand von vier Jahren zu untersuchen. Die Bewertung erfolgt anhand eines regional differenzierten Sets an Pflanzen-Kennarten, die als Indikatoren für die Qualität der Flächen dienen. Dabei werden die Flächen drei Qualitätsstufen zugeordnet, von 1 = äußerst hoher Naturwert bis 3 = mäßig hoher Naturwert. Die standardisierten Auswertungen werden sowohl auf Bundes- als auch auf Landesebene durchgeführt, aus denen statistisch belastbare Ergebnisse resultieren. Der HNV-Indikator ist zudem Teil weiterer Indikatorensets, wie beispielsweise dem der nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Die übergeordnete Koordination übernimmt das BfN (BfN 2019b).

2.1.1.3 Ökosystem-Monitoring

Das Ökosystem-Monitoring wurde eingerichtet, um die Datenlage zur Situation der Biodiversität in Deutschland, insbesondere in der Normallandschaft, zu verbessern und Defizite sowie die Wirksamkeit naturschutzfachlicher Maßnahmen aufzuzeigen. Hintergrund der Bestrebungen ist die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (BMUB 2007), in der die Bundesregierung Ziele, Leitbilder und Maßnahmen zum Erhalt der biologischen Vielfalt formuliert hat. Beim Ökosystem-Monitoring werden auf den BRSF systematisch, flächendeckend und wiederholt die vorhandenen Biotoptypen erfasst. Durch die Verschneidung dieser erhobenen Flächendaten mit bereits bestehenden Daten anderer

Monitoringkonzepte werden Informationen zu Häufigkeit, Verteilung, Zustand und Veränderungen von Ökosystemen sowie Erkenntnisse zu Ursachen des Rückgangs der Artenvielfalt gewonnen. Dies soll die Bewertung der Auswirkungen verschiedener Faktoren, wie u. a. Landnutzungs- und Klimawandel sowie die Intensivierung der Landwirtschaft, ermöglichen. Eine Machbarkeitsstudie im Jahr 2015, an der mehrere interessierte Bundesländer beteiligt waren, zeigte, dass eine sinnvolle Bearbeitung der Kernziele und Fragen mit Hilfe des Ökosystem-Monitorings möglich war. Seit 2016 läuft eine mehrjährige Erprobungsphase, in der ein bundesweit einheitlicher Kartierungsschlüssel sowie geeignete Bewertungsverfahren entwickelt werden. Zudem werden Synergieeffekte mit anderen Monitorings genutzt und übergreifende Kausalitätsanalysen durchgeführt (BfN 2019c).

2.1.1.4 Bundesweites Insekten-Monitoring

Mit dem langfristigen Ziel, den vielfach beobachteten Rückgang von Insektenarten und –beständen zu erfassen und zu bewerten, war die Universität Osnabrück, Abteilung für Biodiversität und Landschaftsökologie, damit beauftragt, ein bundesweit einsetzbares Konzept für ein Monitoring terrestrisch lebender Insekten zu erstellen (Projektlaufzeit: 08/2018-01/2020). Auftraggeber für das BMU-geförderte Projekt war das BfN. Durch die enge Kooperation mit Museen/wissenschaftlichen Sammlungen, Fachverbänden und entomologischen Vereinen werden Möglichkeiten der Einbindung von Ehrenamtlern in das Insekten-Monitoring angestrebt. Das geplante Monitoring steht in Bezug zu weiteren, bereits installierten oder in der Erprobung befindlichen Aktivitäten des BfN, wie beispielsweise das HNV-, Ökosystem- oder Brutvogel-Monitoring, und soll ebenfalls auf den BRSF durchgeführt werden. Bei der Konzept-Entwicklung stand zu Anfang im Fokus, die wichtigsten Fragestellungen an ein solches Monitoring zu formulieren, verschiedene Insektengruppen auf ihre Eignung hin zu prüfen sowie die notwendige räumliche und zeitliche Auflösung der Datenerfassung zu analysieren. Durch eine Verschneidung mit den Daten anderer Monitorings sollen Kausalanalysen ermöglicht werden (BfN 2019d). Während der Projektlaufzeit wurde ein einheitlicher Methodenleitfaden „Insektenmonitoring“ erarbeitet und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, der Empfehlungen für ein Minimalprogramm sowie Bausteine für ein erweitertes Programm vorstellt und die entsprechende Standardmethodik erläutert (BfN 2019f).

Tabelle 1: Geplante/bestehende Monitoringaktivitäten auf den bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen bzw. der ökologischen Flächenstichproben in NRW

Monitoring	BW	NRW	D
Brutvögel	x	x	x
Heuschrecken	x	x*	
Laufkäfer	x		
Schwebfliegen (optional)	x		
Tagfalter und Widderchen	x	x*	
Wildbienen (optional)	x		
Biomasse flugaktiver Insekten	x	x	
Biomasse Bodenarthropoden	x		
Gefäßpflanzen/Pflanzengesellschaften		x	
Nutzungs-/Biotoptypen	x	x	x
FFH-Lebensraumtypen		x	
Biototypenspez. Strukturparameter		x	
Biotopwert		x	
High Nature Value Farmland-Indikator	x	x	x
Gentechnisch veränderte Organismen		x	

*derzeit als Pilotprojekt durchgeführt

2.1.1.5 Die Ökologische Flächenstichprobe in Nordrhein-Westfalen

Im Bundesland NRW wird das Netz der BRSF in besonderem Maße genutzt, indem auf diesen Flächen die Ökologische Flächenstichprobe (ÖFS) als wichtiger Baustein des Biodiversitätsmonitorings umgesetzt wird. Neben den bundesweiten Monitorings (HNV-Indikator, Brutvögel, Ökosysteme) werden auf insgesamt 191 Flächen verschiedene weitere Parameter aufgenommen, wie beispielsweise die Nutzungs- und Biotoptypen (parzellenscharf), Pflanzengesellschaften und verschiedene faunistische Zielarten aus unterschiedlichen taxonomischen Gruppen (z. B. ausgewählte Säugetiere, Reptilien oder Amphibien, siehe Tabelle 1). Einige der Tiergruppen, d. h. die Heuschrecken und Tagfalter, wurden bislang nur in Form von Pilotstudien bearbeitet. Zudem werden weitere 29 Referenzflächen in Naturschutzvorranggebieten untersucht. Die landesweiten Monitorings werden in einem sechsjährigen Turnus durchgeführt, so dass jährlich 1/6 aller Flächen kartiert werden. Für die Auswertungen wird der „Gleitende Mittelwert“ verwendet, in den zur Errechnung der Jahreswerte jeweils die Werte des aktuellen Jahres sowie die der fünf vorherigen Jahre einfließen. Für die Kartierungen gibt es standardisierte Kartierungsanleitungen und Erfassungsbögen sowie regelmäßige Schulungen der Kartierer. Die eingehenden Daten durchlaufen eine umfangreiche Plausibilitätskontrolle. Verantwortlich für die ÖFS ist das Landesamt für Natur, Umwelt- und Verbraucherschutz (LANUV), das für die Geländearbeiten Biologische Stationen oder Fachbüros beauftragt (LANUV 2019a). Seit dem Jahr 2017 wird

auf insgesamt 120 Flächen (60 ÖFS, 60 in nahegelegenen Naturschutzgebieten), ebenfalls im Rahmen einer Pilotstudie, ein Monitoring flugaktiver Insekten mit Hilfe von Malaise-Fallen durch den Entomologischen Verein Krefeld durchgeführt. Gemessen wird dabei in erster Linie die Biomasse, teilweise werden ausgewählte Organismengruppen auf Artniveau bestimmt (Dr. Matthias Kaiser 2019, mündlich).

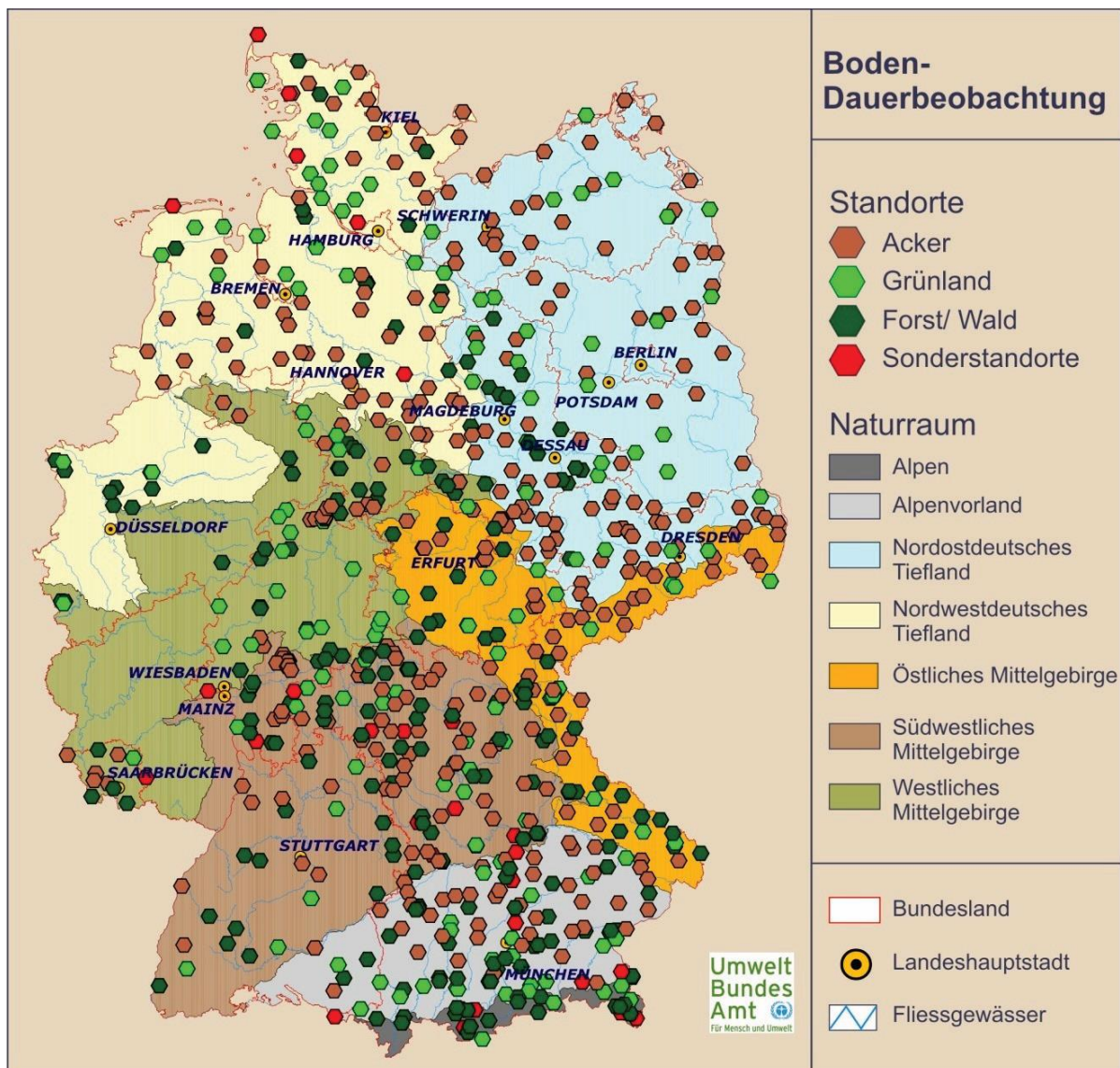
2.1.1.6 Monitorings auf bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen in Baden-Württemberg

Seit dem Jahr 2018 führt die Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) auf der gesetzlichen Grundlage eines Sonderprogramms zur Stärkung der biologischen Vielfalt ein landesweites Insekten-Monitoring durch (z. B. Heuschrecken und Tagfalter); im Jahr 2019 folgten weitere Datenerhebungen, wie beispielsweise der Laufkäfer und der Biomasse der Bodenarthropoden. Zudem werden die Biotop- und Nutzungstypen der Flächen aufgenommen (siehe Tabelle 1). Darüber hinaus finden auf den BRSF in Baden-Württemberg das bundesweite Brutvogelmonitoring und die Erfassung des HNV-Indikators statt (Dr. Florian Theves 2018, schriftliche Mitteilung, LUBW & UM 2018, LUBW 2019).

2.1.2 Bodendauerbeobachtungsflächen

Das zentrale Ziel des deutschlandweiten Bodendauerbeobachtungsprogramms ist die Charakterisierung des Bodenzustands sowie dessen Veränderungen aufgrund äußerer Einflüsse. Hierzu wurden seit der Mitte der 1980er Jahre ca. 800 Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) eingerichtet, die deutschlandweit verteilt auf Äckern, Grünland, Wald und Sonderstandorten liegen (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Für diese Flächen sind die Bundesländer verantwortlich, die Auswertung der erhobenen Daten erfolgt durch Arbeitsgruppen, denen Vertreter und Vertreterinnen aus Bundes- und Landesbehörden angehören. Die Daten werden beim Umweltbundesamt in einem Fachinformationssystem zusammengeführt, so dass länderübergreifende Auswertungen möglich sind. Eine Anfrage durch einen Vertreter des UBA (Dr. Marc Marx, Fachgebiet II 2.7 "Bodenzustand und europäischer Bodenschutz") am 07.09.2018 an die zuständigen Landesbehörden ergab Informationen zu bodenbiologischen Datenerhebungen, die auf den BDF durchgeführt werden (siehe Tabelle 2, ergänzt durch Römbke et al. 2012; S. 38). Es ist zu berücksichtigen, dass die Daten in den einzelnen Bundesländern mit einer deutlich unterschiedlichen Intensität erhoben werden. So sind beispielsweise einige Vorhaben nur geplant oder wurden einmalig durchgeführt. Tabelle 2 enthält eine Übersicht darüber, zu welchen Tiergruppen oder Parametern in den Bundesländern Erfahrungen vorliegen, auf die ggfls. zurückgegriffen werden könnte. Auf den mindestens 1000 m² großen BDF werden zudem verschiedene physikochemische Parameter, die Vegetation, die Nutzung (z. B. Pflügen, Düngung, Fruchtart, Ertrag) und einige Schadstoffe (u. a. Chlorpestizide, PCBs, PAKs) untersucht. Eine gemeinsame Abstimmung, welche bodenbiologischen Daten auf den BDF erhoben werden, existiert bislang zwischen den Bundesländern nicht (Römbke et al. 2012; S. 35-38, UBA 2019).

Abbildung 2: Bodendauerbeobachtungsflächen in den verschiedenen deutschen Naturräumen, differenziert nach Landnutzung



Quelle: Römbke et al. (2012)

Tabelle 2: Bodenbiologische Datenerhebungen auf Bodendauerbeobachtungsflächen in den Bundesländern Deutschlands

	Lumbrici- dae	Kleinan- nelidae (z. B. Enchytrae- idae)	Collembola	Nematoda	Mikrobielle Parameter (verschie- dene)	Enzymaktivität (verschie- dene)
Brandenburg	x				x	
Berlin			x			
BW	x		x		x	
Bavarn	x		x	x	x	x
Bremen	Keine Information					
Hamburg	x	x			x	
Hessen	Keine bodenbiologische Datenerhebung					
Meckl.-Vorp.	x	x	x	x	x	x
Niedersachsen					x	
NRW	x	x			x	
Rheinland-	x	x	x	x	x	
Saarland	Keine Datenerhebungen					
Sachsen					x	
Sachsen-	x				x	x
Schl.-Holstein	x	x			x	x
Thüringen	x	x	x	x	x	x

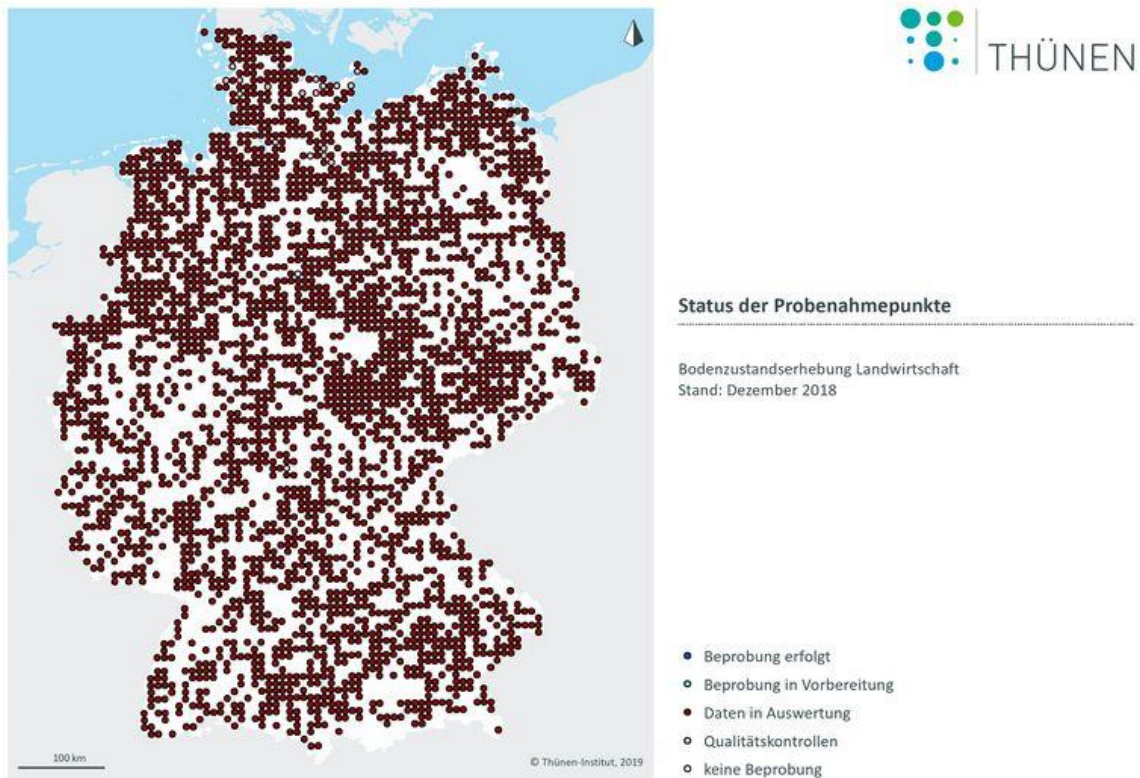
BDF aller Bundesländer: Aufnahme physikochemischer Parameter, Vegetation, Nutzung, Messungen von Chlorpestiziden und sonstigen Schadstoffen; deutlich unterschiedliche Bearbeitungsintensität in den Bundesländern: Einige Datenerhebungen wurden nur einmal durchgeführt oder sind nur geplant.

2.1.3 Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW)

Das Ziel der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW) ist eine Inventur der Kohlenstoffvorräte in der obersten Schicht landwirtschaftlich genutzter Böden. Der Hintergrund ist die Ratifizierung der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC – United Nation Framework Convention on Climate Change), wodurch Deutschland sich verpflichtet, Informationen zu Umsetzungen von Treibhausgasen und Kohlenstoffvorräten in Böden und Biomasse zu melden. Zur Umsetzung der BZE-LW wurden mittels eines zufallsbasierten Verfahrens und auf der Basis eines 8 x 8 km²-Rasters deutschlandweit über 3000 Standorte ausgewählt (siehe Abbildung 3). Die Standorte liegen dabei auf Acker-, Grün- und Gartenland oder Sonderkulturen und gelten als repräsentativ für die Verteilung landwirtschaftlicher Nutzflächen in den Bundesländern sowie für deutsche Boden-Klima-Räume. Die Probenahmen erfolgten von 2011 bis 2017, indem Bodenkerne bis in eine Tiefe von 100 cm gestochen und im Labor hinsichtlich ihrer Kohlenstoffkonzentration

sowie weiterer physikalischer Parameter untersucht wurden. Darüber hinaus wurden die Landwirte und Landwirtinnen zur Nutzungs- und Bewirtschaftungsgeschichte der Flächen befragt, wobei die Daten und Informationen anonymisiert verarbeitet werden. Die Ergebnisse sollen dabei helfen, den Zusammenhang zwischen Klima, Nutzung, Management und Bodeneigenschaften zu verstehen (TI 2019).

Abbildung 3: Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW)



Quelle: Thünen-Institut/AK

2.1.4 Umweltprobenbank

Die Umweltprobenbank (UPB) ist ein Archiv, in dem sowohl Proben (Umweltproben, Humanproben) als auch daraus gewonnene Daten langfristig aufbewahrt werden. Die Ziele und Aufgaben umfassen dabei

- ▶ die Messung von Schadstoffen in der Umwelt (Umweltbeobachtung; von Pestiziden wird nur eine kleine Auswahl untersucht),
- ▶ die Erfassung von Veränderungen der Schadstoffkonzentrationen im Laufe der Zeit,
- ▶ eine ökotoxikologische und toxikologische Beweissicherung: Bei später auftretenden Fragestellungen können mit teilweise verbesserter Methodik weitere Untersuchungen durchgeführt werden,
- ▶ die Bereitstellungen von Daten, die eine Bewertung von Entwicklungen und Maßnahmen ermöglichen bzw. die Notwendigkeit gesetzlicher Maßnahmen aufzeigen ("Vorsorgepolitik").

Erste Pilotprojekte zur Einrichtung einer Probenbank wurden in den 1970er Jahren durchgeführt, im Jahr 1985 wurde die Errichtung der "Umweltprobenbank des Bundes" beschlossen. Die Gesamtverantwortung für das Projekt trägt das BMU, das UBA übernimmt die Koordination sowie die zentrale Datenhaltung und Bewertung der Ergebnisse. Das UBA wird bei der Durchführung des Projekts durch verschiedene Partner unterstützt, die aus Behörden (z. B. Bundesamt für Gewässer), Instituten (u. a. Fraunhofer-Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME, Eurofins), Universitäten (z. B. FU Berlin) sowie dem Universitätsklinikum Münster bestehen.

Die Umwelt-Probenahmen erfolgen in insgesamt 14 Probenahmegebieten innerhalb verschiedener Ökosysteme in ganz Deutschland. Dabei werden die Hauptökosysteme (terrestrisch, marin, limnisch) sowie wesentliche Belastungstypen (z. B. urban, landwirtschaftlich) abgedeckt. Durch eine räumliche Verteilung der Gebiete und gegenseitige Ergänzungen soll eine möglichst hohe Repräsentativität erreicht werden. In den Probenahmegebieten wurden dauerhafte Probenahmeflächen eingerichtet, deren Abgrenzungen auf der Basis von Wassereinzugsgebieten basieren. Die Probenahmen erfolgen hinsichtlich definierter "Kernprobenarten" regelmäßig alle ein- bis zwei Jahre durch die Entnahme von Stichproben. Je nach Gebiet wurden die turnusmäßigen Untersuchungen zwischen 1994 und 2003 begonnen.

Die Proben werden aus verschiedenen Kompartimenten und Trophieebenen, d. h. aus dem Boden, aus Schwebstoffen, Pflanzen, Tieren und dem Menschen entnommen, wobei die routinemäßig zu beprobenden Arten (z. B. Fichten, Regenwürmer) festgelegt sind. Anschließend erfolgt eine biometrische Charakterisierung (Alter, Gewicht, Gesundheitszustand etc.) der untersuchten Organismen und das Einfrieren der Proben bei -150 °C über Flüssigstickstoff. Die Proben werden tiefgekühlt zermahlen und in Teilproben verpackt. Einige dieser Teilproben werden hinsichtlich bestimmter Schadstoffe (u. a. verschiedene anorganische Stoffe, PAK, CKW) gescreent, die anderen werden dauerhaft eingefroren. Zur Qualitätssicherung existieren für die verschiedenen Arbeitsschritte Standard Operating Procedures (SOPs), die befolgt werden müssen.

Die gewonnenen Daten werden im Informationssystem der Umweltprobenbank zusammengeführt und archiviert. Sowohl die Proben als auch die Analyseergebnisse sind Eigentum des

BMU, deren Abgabe an Dritte ist jedoch unter bestimmten Bedingungen möglich (UPB 2014, UPB 2019).

2.1.5 Monitoring gemäß FFH-Richtlinie

Die Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (FFH-Richtlinie) ist eine Naturschutz-Richtlinie der Europäischen Union (EU), die 1992 erlassen wurde. Ihr Ziel ist es, wildlebende Arten sowie deren Lebensräume und die europaweite Vernetzung dieser Lebensräume zu sichern. Zusammen mit den Gebieten der EU-Vogelschutzrichtlinie sind sie Teil des europaweiten Schutzgebietsnetzes Natura 2000.

In Deutschland sind rund 15,5 % der terrestrischen Fläche als Natura 2000 Gebiet ausgewiesen. Die insgesamt 4.544 FFH-Gebiete verteilen sich auf die drei biogeografischen Regionen alpin, atlantisch und kontinental, hinzu kommen 742 Vogelschutzgebiete. In den FFH-Gebieten werden 93 verschiedene natürliche und naturnahe Lebensraumtypen, die nach der FFH-Richtlinie von gemeinschaftlicher Bedeutung sind, geschützt. Dazu hören Meeres- und Küstengebiete, Dünen, Süßgewässer, Heide- und Buschvegetation, Hartlaubgebüsche, natürliches und naturnahes Grasland, Hoch- und Niedermoore, felsige Lebensräume und Höhlen sowie Wälder. Aufgrund ihrer europaweiten Gefährdung und Verbereitung sind insgesamt mehr als 1000 Arten durch die FFH-Richtlinie geschützt, von denen etwa 280 in Deutschland vorkommen.

Die Mitgliedstaaten der EU sind verpflichtet, den Zustand der durch die FFH-Richtlinie geschützten Arten und Lebensraumtypen zu überwachen. Dazu wurde in Deutschland ein bundesweites Monitoring mit einheitlichen Standards etabliert. Das Monitoring umfasst nicht nur alle Natura 2000 Gebiete, sondern auch Gebiete außerhalb der Schutzgebiete, da dies zur Abschätzung des Erhaltungszustandes der Lebensraumtypen und Arten nötig ist. Die Koordination des Monitorings wird vom BfN übernommen, während das Monitoring selbst in der Verantwortung der einzelnen Bundesländer liegt. Für das Monitoring wurde festgelegt, dass 63 Untersuchungsflächen (Stichproben) pro Schutzgut und biogeografischer Region für eine statistisch hinreichende Bewertung genügen. Lebensraumtypen und Arten mit weniger als 63 Vorkommen werden vollständig erfasst (Totalzensus). Für einige Arten wird der Erhaltungszustand nur anhand von Experteneinschätzungen bewertet. Für die Lebensraumtypen werden die Parameter „Verbreitungsgebiet“, „Fläche“, „Spezifische Strukturen und Funktionen“ sowie „Zukunftsaussichten“ erhoben und einer Bewertung des Erhaltungszustandes der Arten werden die Parameter „Verbreitungsgebiet“, „Population“, „Habitat“ sowie „Zukunftsaussichten“ zugrunde gelegt. Alle Parameter werden anhand einer dreistufigen Skala jeweils als „günstig“, „ungünstig-unzureichend“ oder „ungünstig-schlecht“ gewertet. Sollte die Datengrundlage für eine Bewertung nicht ausreichen, wird der Parameter als „unbekannt“ eingestuft. Der Erhaltungszustand wird durch die schlechteste Bewertung eines Einzelparameters bestimmt.

Zur Datenerhebung werden auch Daten aus anderen Monitoring-Projekten, wie z. B. der Biotopkartierung und Bundeswaldinventur, genutzt. Ebenso können bestehende Untersuchungsprogramme der Bundesländer integriert werden.

Die EU-Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, alle sechs Jahre einen Bericht über den Erhaltungszustand der durch die FFH-Richtlinie geschützten Lebensraumtypen und Arten zu erstellen und an die EU-Kommission zu übergeben. Der erste umfassende Bericht wurde im Jahr 2007 erarbeitet (Berichtszeitraum 2001-2006), damals noch ohne ein bundeseinheitliches Monitoring, das erst im Jahr 2008 fertig ausgearbeitet war. Weitere FFH-Berichte folgten in den Jahren 2013 und 2019 (Berichtszeitraum 2007-2012 bzw. 2013-2018).

Die Ergebnisse dieser Berichte werden auf der Homepage des BfN veröffentlicht (BfN 2020, Sachtleben & Behrens 2010).

2.1.6 Sonstige Monitoringansätze und -vorhaben

Neben den in Kap. 2.1.1.-2.1.4. beschriebenen bundesweiten Monitoring-Konzepten existieren verschiedene weitere Dauerbeobachtungen der Biodiversität oder Landschaft mit unterschiedlichen Hintergründen und regionalen Bezügen. Da auch diese Initiativen bzw. deren Akteure wichtige Informationen zu Möglichkeiten und Grenzen unterschiedlicher Monitoring-Systeme liefern können, werden sie im Folgenden zusammenfassend aufgelistet.

- ▶ Arbeitskreis Wildbienen-Kataster am Staatl. Museum für Naturkunde Stuttgart, Datenerhebung v.a. in Baden-Württemberg, Führung einer Datenbank (<http://www.wildbienen-kataster.de/>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ Biodiversitäts-Exploratorien: Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) wurden in drei Regionen Deutschlands wissenschaftliche Infrastrukturen eingerichtet, die für verschiedene Forschungsgruppen zugänglich sind. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Erforschung der funktionellen Biodiversität in Verbindung mit Ökosystemprozessen und anthropogenen Einflüssen (<http://www.biodiversity-exploratories.de/startseite/>, aufgerufen am 20.02.2019).
- ▶ Biodiversitäts-Monitoring Schweiz des Bundesamts für Umwelt (CH): Einrichtung eines systematischen Stichprobenrasters in der Normallandschaft, Beobachtung eher häufiger Tier- und Pflanzenarten, Errichtung einer Datenbank bei InfoSpecies (Schweizerisches Informationszentrum für Arten) (<https://www.biodiversitymonitoring.ch/de/home.html>, <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/boden-gewaesser-naehrstoffe/nabo/service/nabo-bdm.html>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ PSM-Monitoring Schweiz - Konzept für eine langfristige Überwachung von Rückständen von Pflanzenschutzmitteln im Boden (CH): Ziel ist die Etablierung eines Langzeit-Expositionsmonitoring von PSM-Rückständen. Zusätzlich sollen die Auswirkungen der PSM-Rückstände auf die Bodenqualität untersucht werden. (<https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/en/home/topics/environment-resources/soil-bodies-water-nutrients/nabo/supplementary-studies/plant-protection-products%20.html>, aufgerufen am 05.11.2020)
- ▶ Biodiversity Multi-Source Monitoring System (BIO_SOS), Gemeinschaftsprojekt von 16 Universitäten und Institutionen mehrerer Europäischer Staaten: Nutzung von Fernerkundungsdaten für Monitorings insbesondere in Natura 2000-Gebieten in Süd- und Westeuropa (<http://www.biosos.eu/>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ Deutschlandweites "Monitoring Fledermauszug" verschiedener Arbeitskreise: Systematische Sammlung von Fledermaus-Funddaten zur Ermittlung der Wanderungsbewegungen (<https://www.fledermauszug-deutschland.de>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ Deutsches Bienenmonitoring mehrerer bienenwissenschaftlicher Forschungsinstitute in Zusammenarbeit mit Imkern; eine Förderung erfolgt durch das BMEL (<https://bienenmonitoring.uni-hohenheim.de/>, aufgerufen am 19.11.2019).
- ▶ Deutsches Zentrum für Biodiversitätsmonitoring (BioM-D) der Leibniz-Gemeinschaft: Im Aufbau befindliche Infrastruktur, Nutzung moderner Technologie zur Dauerbeobachtung,

enge Zusammenarbeit mit dem BfN. Zusammenschluss verschiedener Institute mit spezialisierten Aufgaben unter dem Dach des BioM-D (<https://www.leibnizgemeinschaft.de/infrastrukturen/leibniz-roadmap/biom-d/>, aufgerufen am 14.02.2019).

- ▶ Dialog- und Demonstrationsprojekt F.R.A.N.Z. (Für Ressourcen, Agrarwirtschaft & Naturschutz mit Zukunft): Entwicklung und Erprobung praxistauglicher und wirtschaftlich tragfähiger Naturschutzmaßnahmen und Bewirtschaftungskonzepte, Ableitung geeigneter ordnungs- und förderrechtlicher Rahmenbedingungen. Das Projekt wurde durch die Michael Otto Stiftung für Umweltschutz und den Deutschen Bauernverband durchgeführt und durch die Thünen-Institute für Ländliche Räume, Betriebswirtschaft und Biodiversität sowie die Universität Göttingen und das Michael-Otto-Institut im NABU wissenschaftlich begleitet (<http://www.franz-projekt.de/>, aufgerufen am 14.02.2019). Es werden regelmäßige Fachtagungen zu diesen Themengebieten ausgerichtet (ExpertenDialog 2019, Umweltstiftung Michael Otto 2019). Seit 2019 moderiert die Heinz Sielmann Stiftung den Dialog.
- ▶ Edaphobase: Das vom BMBF geförderte ökologisch-taxonomische Informationssystem wurde als Repositorium bodenzoologischer Daten entwickelt und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Es beinhaltet Bodentierdaten in Verbindung mit Informationen zum Fundort (Boden, Vegetation etc.) und sonstigen Metadaten. Dies macht Abfragen zu Standortansprüchen und Verbreitung von Bodentieren sowie von Referenzzönosen bestimmter Lebensraumtypen möglich. Projektkoordinator ist das Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz (Burkhardt et al. 2014, <https://portal.edaphobase.org/>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ Fernerkundung am LANUV NRW: „Natur- und Umweltschutzmonitoring NRW“ (NUMO NRW) in Kooperation mit der EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, untersucht Potentiale zur Integration von Fernerkundungsdaten (Copernicus) in Ergänzung und zur Optimierung von in-situ-Kartierungen (u. a. Biotopkartierung, ökologischer Gewässerzustand, Stoffeintragsmodellierung Gewässer) (https://www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Forum_2017/NUMO-NRW_Schuster.pdf, aufgerufen am 14.02. 2019). Das Copernicus-Programm ist eine Initiative der EU, in der eigene Satelliten in verschiedenen Fernerkundungs-Programmen zu Klimaüberwachung, Umweltschutz oder weiteren gesellschaftlichen Aufgaben eingesetzt werden. Es bestehen bereits Ansätze für ein satellitenbasiertes Umweltmonitoring am Umweltbundesamt (UBA), Koordinator am UBA ist zurzeit Dr. Christian Schweitzer. Die Verwendung der Copernicus-Daten ist generell kostenlos (Copernicus 2019, ESA 2019, Schweitzer 2015).
- ▶ Krefelder Entomologischer Verein, Dr. Martin Sorg: Langzeit-Messungen der Biomasse von Fluginsekten mit Hilfe von Malaise-Fallen in Naturschutzgebieten (<http://www.entomologica.org/>, <https://www.nabu.de/news/2017/10/23291.html>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI): Arbeitsgemeinschaft von Umweltfachbehörden (Bund/Länder) zur Entwicklung, Pflege und Dokumentation der 24 umweltspezifischen Nachhaltigkeitsindikatoren (<https://www.lanuv.nrw.de/liki/index.php?mode=home>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ Landwirtschaftliche Dauerfeldversuche: Kontinuierliche Untersuchung landwirtschaftlicher Fragestellungen wie z. B. zur Düngung, zu Stoffkreisläufen oder ökologischem Landbau durch Universitäten und Agrarwissenschaftliche Forschungseinrichtungen des Bundes und der Länder

(<https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/bodenschutz/boden-beobachten-bewerten#textpart-1>, aufgerufen am 14.02.2019).

- ▶ Projekte der Stiftung Rheinische Kulturlandschaft: „Summendes Rheinland – Landwirte für Ackervielfalt“ und „Unkraut vergeht nicht – stimmt nicht!“ zum Schutz von Ackerwildkräutern und Wildbestäubern in landwirtschaftlich intensiv genutzten Regionen mit einem projektbegleitenden faunistischen Monitoring (<https://www.rheinische-kulturlandschaft.de/themen-projekte/kulturlandschaft-erhalten-und-foerdern/summendes-rheinland-landwirte-fuer-ackervielfalt/>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ Projekt „Landwirtschaft für Artenvielfalt“, Entwicklung, Einführung und Nutzung eines Bewertungssystems für Naturschutzleistungen im ökologischen Landbau, durchgeführt und begleitet durch den WWF Deutschland, BIOPARK und das Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. (<https://www.landwirtschaft-artenvielfalt.de/>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ Regionale Rebhuhnschutzprojekte in Niedersachsen, Prüfung der Eignung der Agrarumweltmaßnahme „Blühstreifen“ zur Sicherung von Lebensräumen für das Rebhuhn, durchgeführt und begleitet von der Biologischen Schutzgemeinschaft Göttingen e. V. und der Universität Göttingen (Abteilung Naturschutzbiologie) (<http://www.rebhuhnschutzprojekt.de/>, <https://www.uni-goettingen.de/de/rebhuhnschutzprojekt+im+landkreis+g%C3%B6ttingen/117389.html>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ Rote Listen gefährdeter Pflanzen-, Pilz- und Tierarten: Sowohl auf Bundes- als auch auf Länderebene werden Listen verschiedener taxonomischer Gruppen (Pflanzen, Pilze, verschiedene Tiergruppen) erstellt, in denen den Arten Gefährdungskategorien zugeordnet werden. Die Listen werden von Expertinnen und Experten erarbeitet, die, je nach Datenlage der Organismengruppen, entweder eine Einschätzung anhand ihres Fachwissens zur Bestandsentwicklung vornehmen oder aber die Bewertung anhand eines standardisierten Schemas durchführen. Auf Bundesebene wurden zudem Rote Listen der Pflanzengesellschaften und Biotoptypen herausgegeben. Die Roten Listen dienen der Information der Öffentlichkeit zur Gefährdungssituation heimischer Arten, sind eine Argumentationshilfe im Naturschutz, in der Umweltpolitik und Raumplanung, und weisen auf weiteren Forschungsbedarf hin. Die Roten Listen werden regelmäßig (geplant: Alle 10 Jahre) aktualisiert und zeigen dadurch die Änderungen der Gefährdungssituation verschiedener Organismengruppen im Laufe der Zeit an (u. a. BfN 2019e, LANUV 2019b).
- ▶ Tagfaltermonitoring in Deutschland, koordiniert und wissenschaftlich begleitet durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department Biozönoseforschung in Halle in Kooperation mit der Gesellschaft für Schmetterlingsschutz e. V. (GfS). Weitere Akteure: BUND, NABU, ehrenamtliche Vereine (<http://www.tagfalter-monitoring.de/>, aufgerufen am 14.02.2019).
- ▶ TERENO (Terrestrial Environmental Observatories): Messungen von Stoffkreisläufen vor dem Hintergrund verschiedener Umweltveränderungen (Klimawandel, landwirtschaftliche Produktivität); die Untersuchungen finden in vier Regionen Deutschlands statt und werden von sechs Zentren der Helmholtz-Gemeinschaft durchgeführt (<http://www.tereno.net/overview-de>, aufgerufen am 19.02.2019).

2.2 Bestehende konzeptionelle Ansätze mit Bezug zum Vorhaben

2.2.1 MonViA – Das Bundesweite Monitoring der biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft

Das nationale Monitoring der biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft (MonViA) ist ein Verbundprojekt im Auftrag des BMEL, an dem das Thünen-Institut, das Julius Kühn-Institut sowie das Informationszentrum für Biologische Vielfalt der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung beteiligt sind. Es hat zum Ziel, den Zusammenhang zwischen dem Zustand und der Veränderung der Biodiversität und der Art und Weise der landwirtschaftlichen Nutzung und Ausgestaltung der Agrarlandschaft in Deutschland wissenschaftlich zu untersuchen. Dazu stehen folgende Fragen im Fokus des Projektes:

- ▶ „Wie entwickelt sich die biologische Vielfalt in offenen Agrarlandschaften unter dem Einfluss der landwirtschaftlichen Produktion, des Landnutzungs- und des Agrarstrukturwandels?
- ▶ Wie wirkt sich die Veränderung der biologischen Vielfalt auf die Leistungsfähigkeit und Stabilität der landwirtschaftlichen Produktionssysteme aus?
- ▶ Wie wirken agrar- und umweltpolitische Maßnahmen auf die biologische Vielfalt, und welche Maßnahmen sollten der Politik empfohlen werden?“ (BMEL 2020)

Das Monitoring soll die Vielfalt und Qualität von Agrarlandschaften und landwirtschaftlich genutzter Böden sowie verschiedene Organismengruppen umfassen. Der Schwerpunkt der Organismengruppen liegt dabei auf Insekten und den von diesen erbrachten Ökosystemdienstleistungen. Im besonderen Fokus stehen dabei Bestäuber, Schädlinge und Nützlinge sowie die Gemeinschaft der Bodenorganismen.

Die Struktur des Monitorings ist modular aufgebaut und besteht aus den drei Kernbereichen (a) generelles Trendmonitoring auf nationaler Ebene, (b) vertiefendes Monitoring zu agrarräumlichen und regionalen Fragestellungen und (c) Citizen-Science basiertes Monitoring. Der modulare Aufbau führt dazu, dass verschiedene Skalenebenen abgedeckt werden, die von regionalen Fallstudien über das Monitoring einzelner Agrarräume bis hin zur Erfassung nationaler Trends reichen. Dabei sollen bereits bestehende Dauerbeobachtungen in die Umsetzung einbezogen und durch agrarraum-spezifische Module ergänzt werden.

Für das Trendmonitoring der Lebensräume ist es das Ziel, eine flächendeckende Zustandsanalyse der Landschaftsstrukturen und Nutzungssysteme durchzuführen, wozu bereits existierende Quellen der Agrarstatistik mit neuen Methoden der Fernerkundung und Vor-Ort-Erhebungen auf Stichprobenflächen verknüpft werden sollen. Im Trendmonitoring der Insektenbestände geht es darum, geeignete Schnittstellen mit den bereits bestehenden agrarlandschaftsbezogenen Monitoringsystemen, die außerhalb des Geschäftsbereiches des BMEL entwickelt wurden, zu schaffen, um die Ergebnisse für übergreifende Analysen nutzbar zu machen. Diese sollen durch weitere Monitoring-Komponenten, die aus agrarpolitischer Sicht einen notwendigen Teil eines nationalen Insektenmonitorings darstellen, ausgebaut werden.

Im zweiten Kernbereich, dem vertiefenden Monitoring, sollen erweiterte Indikatorsätze entwickelt werden, um gezielt spezielle Fragestellungen im komplexen Wirkungszusammenhang der biologischen Vielfalt in der Agrarlandschaft zu beantworten. Dazu soll ein regionales und zeitlich begrenztes Design gewählt werden, wodurch eine höhere Flexibilität gegeben ist.

Der dritte Baustein, das Citizen-Science basierte Monitoring, soll verschiedene Berufsgruppen, z. B. aus Landwirtschaft, Imkerei oder Jagdgewerbe, auf freiwilliger Basis in das Monitoring einbeziehen, um so das Verständnis der Zusammenhänge zwischen Bewirtschaftung und Artenvielfalt zu verbessern und eine Motivation zur aktiven Biodiversitätsförderung zu schaffen. Darüber hinaus kann es das professionelle Trendmonitoring mit wertvollen Daten ergänzen.

Das Projekt startete im März 2019 und befindet sich noch in der Pilotphase, in der standardisierte Erfassungsmethoden und Indikatoren entwickelt werden. Aktuell werden noch keine Daten erhoben; es ist eine langfristige Umsetzung auf nationaler Ebene angestrebt (BMEL 2020, Dauber et al. 2016).

2.2.2 DNA-Barcoding-Initiativen & Methodik

Die genetische Identifikation von Arten mittels kurzer DNA-Sequenzen hat sich in den letzten Jahren zu einer Alternative zur morphologischen Artbestimmung entwickelt. Ein großer Vorteil dieser Methode ist, dass Arten in jeder Lebensphase, z. B. auch in Larval- und Juvenilstadien, identifiziert werden können, auch wenn die morphologische Bestimmung zu diesen Zeitpunkten oft nur schwer möglich ist (Keller et al. 2016). Automatisierbare Abläufe sollen im Zuge des DNA-Metabarcodings die Artidentifikation schnell und kosteneffizient ermöglichen (Decaens et al. 2013, Keller et al. 2016). Somit verschiebt sich mit dem DNA-Barcoding die benötigte Expertise von der morphologischen Bestimmung hin zur molekulargenetischen Analyse (Jalali et al. 2015), allerdings ist zu beachten, dass zumindest bislang die Individuenzahlen der nachgewiesenen Organismen nicht automatisiert erfassbar sind (Keller et al. 2016).

Das German Barcode of Life (GBOL)-Projekt, koordiniert durch das Zoologische Forschungsmuseum König, ist eines der größten deutschen Projekte im Bereich DNA-Barcoding und Netzwerkbildung (2013-2018). Es hatte u. a. zum Ziel, eine genetische Referenzdatenbank für die deutsche Flora und Fauna aufzubauen und in der zweiten Phase Standards für Anwendungsbeispiele zu entwickeln (ZFMK 2019, GBOL 2019). Zu diesen Anwendungsbeispielen gehören u. a. die Etablierung von Metabarcoding zur Langzeitbeobachtung und Bewertung von Fließgewässern (UDE 2019).

2.2.3 Pflanzenschutzmittel-Erhebungen und -Indices

Die PAPA-Erhebungen (Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen) finden seit dem Jahr 2011 im Rahmen der Umsetzung des NAP (Nationaler Aktionsplan zur nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln) statt. Sie sind ein Nachfolgeprogramm der NEPTUN-Erhebungen (Netzwerk zur Ermittlung der Pflanzenschutzmittelanwendung in unterschiedlichen, landwirtschaftlich relevanten Naturräumen Deutschlands), die seit dem Jahr 2000 durchgeführt werden und dienen der deutschlandweiten Datenerfassung zur Anwendung von Pestiziden in den wichtigsten landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturen. Zuständig für die Erhebungen ist das Julius Kühn-Institut (JKI), das mit verschiedenen landwirtschaftlichen Verbänden zusammenarbeitet. In Kooperation mit Landwirtinnen und Landwirten, die zu einer freiwilligen Zusammenarbeit bereit sind, werden in Erhebungsbetrieben jährlich kulturspezifische Daten zu verwendeten Pestiziden, Aufwandmengen und behandelten Flächen erhoben, die anonymisiert ans JKI übermittelt werden. Aus diesen erhobenen Daten wird ein sogenannter Behandlungsindex berechnet (JKI 2019, Roßberg 2013; S. 141–151). Die Informationen zu den Behandlungsindices, der Behandlungshäufigkeit, einem Wirkstoffranking und den Wirkstoffmengen für ganz Deutschland sind über die PAPA-Homepage (papa.julius-kuehn.de) frei zugänglich. Die PAPA-

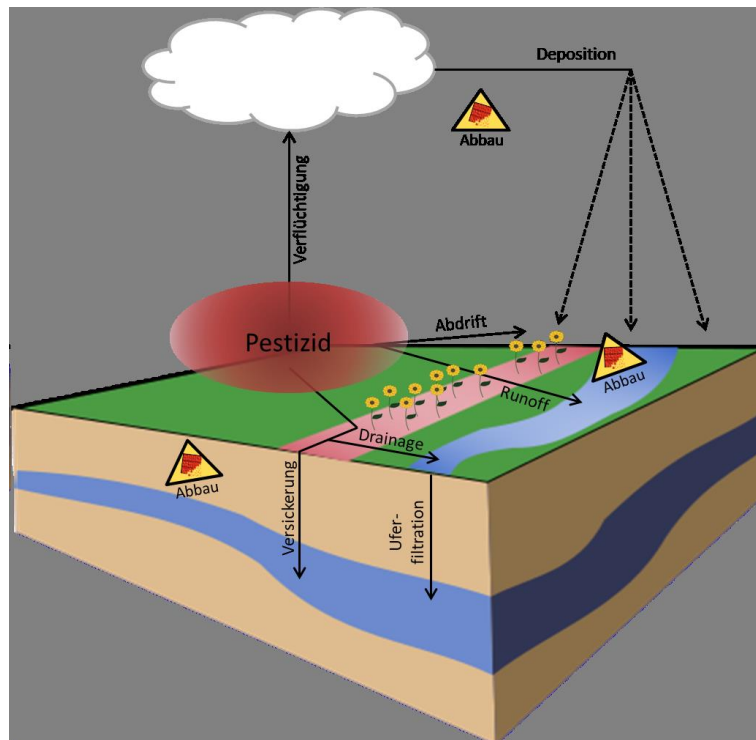
Informationen stehen für neun verschiedene Anbaukulturen zur Verfügung (siehe Tabelle A1 im Anhang). Darüber hinaus existieren die sogenannten NAP-Erhebungen (Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz) welche auch vom JKI veröffentlicht werden (Roßberg et al. 2018). Die NAP-Erhebungen enthalten ebenfalls Informationen zu Behandlungsindices verschiedener Anbaukulturen für Gesamtdeutschland und zusätzlich bei einigen Kulturen auch Informationen für sogenannte Großregionen. Für Winterweizen beispielsweise sind die Behandlungsindices auch auf der Ebene der sogenannten „Großregion Ackerbau“ verfügbar, die sich in abgrenzbare Gebiete für Norden, Süden, Westen und Osten Deutschlands aufteilt. Im Vergleich zu der PAPA-Erhebung werden hier auch noch weitere Kulturen, wie beispielsweise Möhren, Spargel oder Zwiebeln, erfasst (Dachbrodt-Saaydeh et al. 2018). Zur kultur- und flächenspezifischen Verwendung dieser Daten auf Ebene der BRSF werden zusätzlich noch die sogenannten Schlaggeometrien benötigt, welche allerdings nicht frei zugänglich sind (Datenhoheit idR. bei den Landwirtschaftskammern der Länder). Dabei könnten die Behandlungsindices aus den PAPA- und NAP-Erhebungen anhand der Schlaggeometrien innerhalb eines Quadratkilometers proportional zu ihrem Flächenanteil zu einem Behandlungsindex pro km² umgerechnet werden. Diese Berechnung könnte zusätzlich auch auf der Ebene der „bundesweiten Agrarfenster“ (BAF, siehe Kap. 4.3) erfolgen. Allerdings wäre zum einen nur ein Behandlungsindex als Maß für die mögliche Exposition verfügbar und zum anderen könnten regionale Unterschiede bei der Pflanzenschutzanwendung nicht berücksichtigt werden, da die meisten PAPA- und NAP-Daten nur für Gesamtdeutschland zur Verfügung stehen. Eine Verfeinerung der Expositionsabschätzung könnte mittels einer Erhebung von anonymisierten Spritzserien pro km² erfolgen. Die Erfassung der Spritzserien pro km² würde sowohl die regionalen Unterschiede bei der Pflanzenschutzmittelanwendung berücksichtigen können, als auch einen datenschutzrechtlichen Vorteil bieten. Zudem stünden Informationen zu den ausgebrachten Produkten und Wirkstoffmengen zur Verfügung. Exakte Informationen zur Exposition der jeweiligen Ackerfläche wären jedoch nur durch Angaben des Landwirts zur angewendeten Spritzserie erhältlich. Dabei stünden Informationen zu allen ausgebrachten Produkten, Wirkstoffen, Applikationszeitpunkten und -mengen zur Verfügung. Die Informationen zu den Spritzserien sind zurzeit allerdings noch nicht verfügbar. Die einzelnen Erhebungen werden in Tabelle A1 (Anhang) zusammenfassend dargestellt.

2.2.4 Ansätze zu Pestizidmessungen in der Landschaft

Pestizide werden gezielt und regelmäßig in die Umwelt eingebracht, um Erträge, Qualität und Sicherheit (z. B. Schutz vor Pilzbefall und der damit eingehenden Synthese natürlicher Gifte, Mykotoxine) der Erntegüter zu gewährleisten. Der chemische Pflanzenschutz bietet zudem eine erhebliche Arbeits- und Zeitersparnis im Vergleich zu mechanischen Pflanzenschutzmaßnahmen. Aufgrund ihrer Wirksamkeit auf Nichtziel-Organismen gibt es inzwischen jedoch zahlreiche Hinweise, dass der gegenwärtige Einsatz dieser Wirkstoffe erhebliche schädliche Auswirkungen auf Ökosysteme und biologische Vielfalt hat (Boatman et al. 2004, Geiger et al. 2010, Hart et al. 2006).

Ein großer Teil der angewendeten Pestizide gelangt in den Boden der behandelten Flächen. Die Exposition, also das Ausmaß, in dem Nichtzielorganismen mit Pestiziden in Kontakt kommen, hängt von der Aufwandmenge, dem Anwendungszeitpunkt, der Anwendungstechnik, der zu behandelnden Kultur sowie den Eigenschaften des Bodens und der Wirkstoffe ab.

Abbildung 4: Verteilung und Umweltverhalten von Pestiziden in einem Landschaftsausschnitt zur Abschätzung der Exposition



Quelle: eigene Darstellung, Institut für Umweltforschung, RWTH University

Die Exposition kann anhand verschiedener Modellszenarien und Versuche ermittelt werden, die auch die im Lauf der Zeit stattfindenden Umwandlungs- und Bindungsprozesse der Substanzen berücksichtigen (vgl. Abbildung 4). Die im Rahmen der Zulassung von PSM modellierend und experimentell ermittelte Verweilzeit von Pestiziden wird genutzt, um die Auswirkung dieser Stoffe auf die Bodenorganismen und -prozesse zu beurteilen. Allerdings wird ein Teil der Substanzen durch Bindung an die Bodenmatrix und durch Bildung nicht extrahierbarer Rückstände über lange Zeiträume stabilisiert, so dass Pestizide auch Jahrzehnte nach ihrer Anwendung immer noch im Boden nachzuweisen sind. So suchten Chiaia-Hernandez et al. (2017) von 421 Pestiziden, die von 1995 bis 2008 auf 14 Schweizer Äckern appliziert wurden, gezielt nach 80 Wirkstoffen und deren Metaboliten. Ein Großteil dieser Stoffe ist noch heute in 1-330 µg/kg Konzentrationen in den Ackerböden nachzuweisen, typischerweise jeweils 10-15 Aktivsubstanzen sowie Transformationsprodukte auf den untersuchten Flächen. Daher ist für ein Pestizid Monitoring im Boden zu überlegen, ob das analytische Spektrum erweitert werden sollte, um Pestizidrückstände und relevante Metaboliten umfassend zu erkennen.

In die gleiche Richtung zielten Untersuchungen von Silva et al. (2019) an 76 Pestiziden in 317 Ackerböden in 11 Ländern der EU. Mehr als 80 % der getesteten Böden enthielten Pestizidrückstände in niedrigen Konzentrationen, am häufigsten Glyphosat und den Metabolit AMPA, die Fungizide Boscalid, Epoxiconazol und Tebuconazol sowie (immer noch!) DDT und DDT-Metaboliten. Beide Studien belegen ohne Zweifel, dass in landwirtschaftlichen Böden auch Jahrzehnte nach den Anwendungen in der Regel komplexe Mischungen von Pestizidrückständen vorliegen.

300 Bodenproben der Studie von Silva et al. (2019) stammten von der LUCAS-Erhebung 2015 (Silva et al. 2019). LUCAS (Land Use and Coverage Area frame Survey) ist eine EU-weite

Erhebung zur Untersuchung der Auswirkungen der Bodenbewirtschaftung auf die Bodenbeschaffenheit (Orgiazzi et al. 2018). Seit 2006 wird diese Erhebung in Abständen von drei Jahren von Eurostat durchgeführt (EUROSTAT 2018). Neben der Kartierung und Dokumentation mit Fotos werden von einigen Untersuchungspunkten ebenfalls Bodenproben (0-20 cm, 500 g) entnommen, um diese in Bezug auf Bodenqualität und andere Parameter, wie beispielsweise Partikelgröße (Ton-, Schluff- und Sandgehalt), pH-Wert oder Phosphorgehalt zu untersuchen (EUROSTAT 2018). Die Erhebung im Jahr 2018 sollte zusätzliche Parameter, wie beispielsweise die Bodenbiodiversität, berücksichtigen (Orgiazzi et al. 2018). Dieser Parameter sollte zunächst an 1000 Messpunkten mit Hilfe des DNA-Metabarcodings untersucht werden. Zudem könnte zukünftig die Erhebung der Pestizidbelastung im Boden integriert werden (Orgiazzi et al. 2018).

Pestizide können mit dem Sickerwasser oder durch Infiltration von Oberflächenwasser ins Grundwasser gelangen. Bei der Passage von Sickerwasser werden die Chemikalien zu einem Teil im Boden zurückgehalten und abgebaut, so dass Pestizidkonzentrationen im Grundwasser in der Regel niedriger sind als in Oberflächengewässern, es sei denn, dass die Bodenschicht, wie beispielsweise in Karstgebieten, gering ausgebildet ist (Kalhor et al. 2019).

In Deutschland existieren keine routinemäßigen und umfassenden Boden-Monitoring-Programme für Pestizide und deren Metaboliten, obwohl der Boden für das Leben auf der Erde unverzichtbare Ökosystemdienste leistet, wie z. B. die Nährstoffversorgung von Pflanzen als Basis der Nahrungsketten, Grundwasserbereitstellung, Filtration von schädlichen Umweltchemikalien, Stoffkreisläufe und Klimaregulation. Von den wenigen Bodenstichproben-Flächen, die im Rahmen der Betreuung der Umweltprobenbank (UPB) untersucht werden, liegen nur vereinzelte in Agrarräumen. Zudem ist das für die UPB untersuchte Wirkungsspektrum, gemessen an der Zahl der in Deutschland eingesetzten Produkte, sehr klein (vgl. Kap. 2.1.4, UPB 2014, 2019).

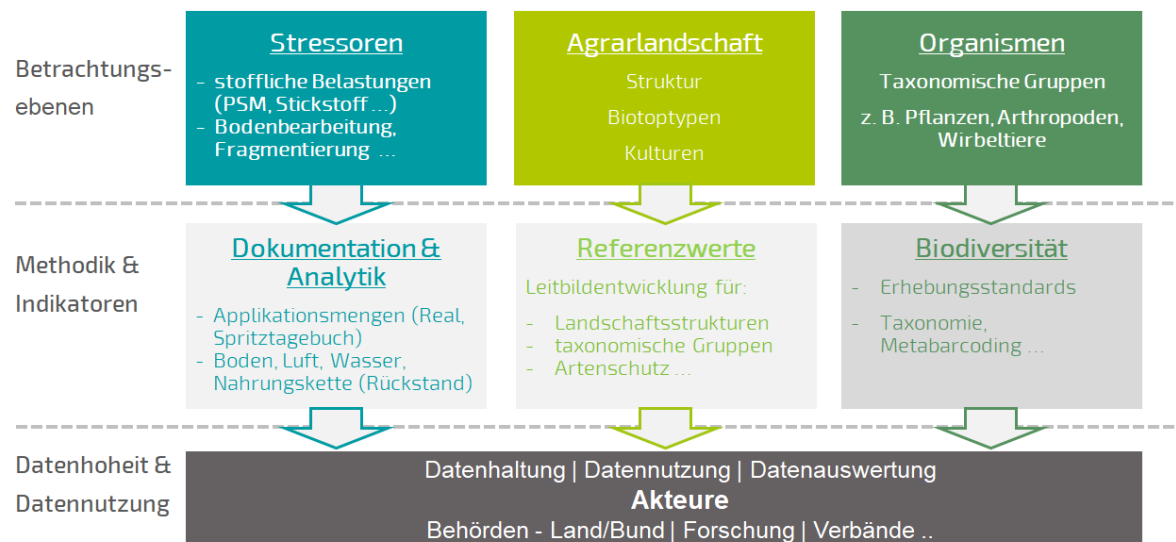
In den Niederlanden werden schon seit Jahrzehnten alle sechs Jahre ca. 300 Standorte im Hinblick auf Nährstoffe und Schadstoffe, insbesondere Schwermetalle, analysiert. In geringerem Umfang werden dabei auch PAK- und Pestizidbelastungen untersucht. In jüngerer Zeit bereitet sich die Schweiz verstärkt darauf vor, ein Bodenmonitoring für Pestizide zu etablieren, um die Bodenfruchtbarkeit und Nichtzielorganismen zu schützen (SBR 2017).

Während in Deutschland der Boden bezüglich der Kontamination mit Pestiziden kaum – d. h. völlig unzureichend in Bezug auf die Anzahl an Standorten, der zeitlichen Auflösung und bezüglich des Wirkungsspektrums – untersucht wird, sieht es bei der Untersuchung der Belastung von Gewässern mit Pestiziden wesentlich besser aus, obwohl auch hier Defizite herausgearbeitet wurden (UBA 2017). Im Rahmen eines Forschungsprojekts werden derzeit umfangreiche, auch Regenereignis-bezogene Messungen durchgeführt, bei dem auch das Wirkungsspektrum verglichen mit dem derzeitigen Standardprogramm erheblich erweitert wird.

3 Theoretische Anforderungen und fachliche Voraussetzungen zur Erfassung des Einflusses chemischer Pflanzenschutzmittel auf die Biodiversität

Das Ziel des integrierten Monitorings ist es, die Auswirkungen chemischer Pflanzenschutzmittel auf die Biodiversität in der Agrarlandschaft zu erfassen und zu beurteilen. In der Agrarlandschaft werden PSM weitestgehend auf sogenannten in-crop Flächen, d. h. auf den Nutzflächen, zielgerichtet ausgebracht. Nicht ausgeschlossen sind dabei direkte oder indirekte Wirkungen auf angrenzende Lebensräume, wie z. B. Ackerfeldraine, Hecken, Gewässerränder und Gewässer. Ursachen sind neben dem direkten Overspray u. a. auch Abdrift oder Run-off Prozesse (vgl. Abbildung 4). Jeder dieser angrenzenden Lebensräume besitzt eine dem Lebensraum (Biotop) angepasste Lebensgemeinschaft (Biozönose) aus u. a. Pflanzen und Tieren, die typisch und charakterisierbar ist (vgl. Abbildung 6, Dierschke 1994, Lennartz 2003, Lennartz & Roß-Nickoll 1999, Roß-Nickoll et al. 2004, Toschki 2008). Zur Bewertung des Einflusses von PSM ist es daher erforderlich, sowohl auf der Zielfläche als auch auf den räumlich angrenzenden Nicht-Zielflächen etwaige Wirkungen des PSM-Einsatzes biotoptypspezifisch zu untersuchen. Dabei ist es notwendig, die Aufwandsmengen der verschiedenen PSM sowie deren etwaige Rückstände im Boden und in den Organismen mit den biotoptypspezifischen (bzw. biotopkomplextypischen) Veränderungen der Lebensgemeinschaft im räumlichen sowie zeitlichen Zusammenhang zu untersuchen. Da neben den PSM auch andere Wirkfaktoren (Düngung, Bodenbearbeitung, Bewirtschaftungsform etc.) eine Veränderung der Lebensgemeinschaften hervorrufen können, ist es erforderlich, diese ebenfalls zu erfassen.

Abbildung 5: Struktureller Aufbau eines integrierten Monitorings von Pflanzenschutzmitteln (PSM) im Freiland



Quelle: eigene Darstellung, gaiac Forschungsinstitut / Institut für Umweltforschung, RWTH University

Um die beobachtete Biodiversität mit den entsprechenden Belastungen in Beziehung setzen und Ursachen von Veränderungen der Lebensgemeinschaften aufdecken zu können, ist ein gemeinsamer räumlicher sowie ökologischer Bezug der verschiedenen Messungen notwendig (siehe Abbildung 5). Die Einrichtung bzw. Nutzung eines Erhebungsrasters, das

die Verknüpfung der verschiedenartigen Messungen gewährleistet, ist daher als essentielle Basis anzusehen.

3.1 Anforderungen an das Messsystem

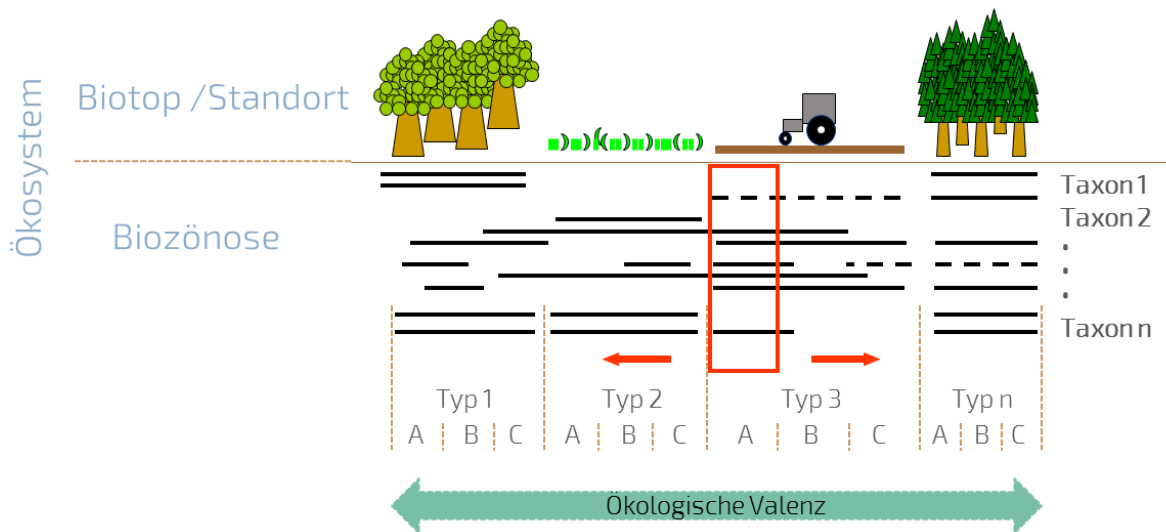
Mit Hilfe des Erhebungsrasters müssen räumliche-ökologische sowie zeitliche Verbindungen zwischen Stressoren und Biodiversität abgebildet werden. Während der räumliche und zeitliche Bezug durch die Erfassung am gleichen Ort in einer unmittelbaren zeitlichen Abfolge gewährleistet ist, wird der räumlich-ökologische Bezug dadurch gesichert, dass die Erhebungen auch im selben Biotoptyp (Pflanzengesellschaft, Nutzungstyp, Landschaftstyp etc.) stattfinden. Dies ist erforderlich, da Lebensgemeinschaften von Pflanzen und/oder Tieren sich je nach Biotoptyp deutlich unterscheiden und damit auch hinsichtlich einer Beurteilung von Veränderungen gegenüber einem „guten ökologischen Zustand“ unterschiedliche Referenzen gelten müssen (Abbildung 6, vgl. Römbke et al. 2012, Ruf et al. 2013, Rutgers et al. 2010, Toschki 2008).

Für die Auswahl eines Stichprobennetzes ist zu berücksichtigen, dass in einem integrierten Monitoring in der Agrarlandschaft aus kleinräumigen Datenerhebungen auf einer größeren Skalenebene allgemeine Trends abgeleitet werden sollen. Dazu ist es erforderlich, die Agrarlandschaftstypen in den verschiedenen Regionen repräsentativ abzubilden. Die Repräsentativität ist so zu gewährleisten, dass sowohl räumliche Aspekte (Regionen, Großlandschaften, Bundesländer) als auch ökologische Aspekte (Biotoptypen, Nutzungstypen etc.) abgedeckt werden (vgl. Mitschke et al. 2005).

3.2 Fachliche Voraussetzungen für die Aufnahme biozönotischer Daten

Um die Auswirkungen des PSM-Einsatzes auf die Lebensgemeinschaften aufzeigen zu können, ist es wichtig, diese in direktem Bezug zu ihrem Lebensraum (Biotop: z. B. Bodenorganismen, Laufkäfer, Tagfalter) bzw. zum jeweiligen Lebensraumkomplex (Biotopkomplex: z. B. Vögel, Amphibien, Fledermäuse) zu erfassen. Ändern sich durch die Anwendung von PSM Merkmale des Biotops bzw. des Biotopkomplexes, wie z. B. die Zusammensetzung der Pflanzenarten, wirkt sich dies auf die Zusammensetzung der Arten anderer trophischer Ebenen aus (Lennartz 2003, Lennartz & Roß-Nickoll 1999, Roß-Nickoll et al. 2004, Toschki 2008).

Abbildung 6: Schematische Darstellung der biotopspezifischen Biodiversität – der rote Rahmen kennzeichnet die charakteristische Artenverbindung am Standorttyp



Quelle: verändert nach Römbke et al. 2012

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Taxa müssen daher solche gewählt werden, die stellvertretend für die Artengemeinschaften in Agrarlebensräumen sind. Sie sollten sowohl die vorhandenen wesentlichen Landschaftsstrukturen (Acker, Grünland, Hecke etc.) besiedeln, als auch, um möglichst viele Funktionen innerhalb der komplexen Nahrungsnetze abzudecken, unterschiedlichen trophischen Ebenen angehören (vgl. VDI Richtlinie 2014, Ruf et al. 2013). Des Weiteren sollten die natürlichen Arealgrenzen, die Seltenheit sowie der naturschutzfachliche Wert von Arten in die Auswahl der Indikatorgruppen einbezogen werden (vgl. BfN 2019f, einheitlicher Methodenleitfaden „Insektenmonitoring“).

Bei der Auswahl der Artengruppen fällt auch der Erfassungsmethodik eine herausragende Bedeutung zu, wobei insbesondere auf die Nutzung praktikabler und standardisierter Methoden zu achten ist. Dies ist besonders bei quantitativen Datenerhebungen über mehrere Jahre erforderlich, um die Ergebnisse reproduzieren und vergleichbar machen zu können. Außerdem unterliegen biologische Systeme bzw. Populationen einer phänologischen Entwicklung im Jahresverlauf, an die entsprechende Erfassungsmethoden angepasst werden müssen (vgl. BfN 2019f).

Zu den praktischen Voraussetzungen gehört zudem der zeitliche und finanzielle Aufwand, der in einem Abwägungsprozess an die Anforderungen der Erhebungen angepasst werden muss. Insgesamt sollten die fachlichen Anforderungen an die Erfassungsmethodik den finanziellen Belastungen vorangestellt sein, wobei die Möglichkeiten einer Zeit- und Kostenminimierung in die Weiterentwicklung von Standardmethoden eingebunden werden (BfN 2019f).

Insgesamt sind bei der Auswahl der zu untersuchenden Organismen nach dem Methodenleitfaden des BfN (BfN 2019f) folgende Kriterien zu berücksichtigen:

1. Guter Kenntnisstand bezüglich der Lebensweise und Ökologie
2. Vorliegen geeigneter Daten zur Verbreitung von Arten
3. Hohe Indikator- und Stellvertreterfunktion
4. Breites Spektrum ökologischer Funktionen
5. Sympathiegrad der Artengruppe

6. Standardisierbarkeit der Erfassungsmethode
7. Verfügbarkeit etablierter Erfassungsmethoden
8. Erfüllung praktischer Anforderung an die Erfassungsmethode
9. Erfassungsmethoden erlauben räumliche Zuordnung der Nachweise
10. Möglichst geringe Invasivität der Erfassungsmethode
11. Möglichkeit quantitativer Aussagen
12. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

13. Begrenzter zeitlicher und finanzieller Aufwand
14. Möglichkeit mittelfristiger Ergebnisdarstellung
15. Verfügbarkeit von Experten und Expertinnen

3.3 Fachliche Voraussetzungen für die Aufnahme von Pestiziddaten

Methodische Aspekte

Während beim Gewässer-Monitoring auch neuere Ansätze der Probenahme – mit polaren und unpolaren Passivsammlern und automatisierten ereignisbezogenen Sammlern (z. B. Münze et al. 2015) – möglich sind, werden bei der Analytik von Boden- und Organismenproben vermutlich auch in der Zukunft klassische Extraktionsverfahren eingesetzt werden. Passivsammler in Böden nehmen beispielsweise während längerer Trockenperioden und am Boden fest gebundenem Porenwasser Schadstoffe nur langsam und unvollständig auf. Automatische, ereignisbezogene Probenahmen, wie z. B. nach Run-off Ereignissen bei starken Regenfällen, die zur Belastung von Nichtzielflächen führen können, sind in festen Probenmatrizes kaum vorstellbar. Selbstverständlich kann jedoch eine zeitlich-applikationsbezogene Probenahme erfolgen, sofern diese Information vorliegt. Für einen pragmatischen Ansatz, mit dem möglichst viele Wirkstoffe analysiert werden können, eignen sich generell anwendbare Extraktionsmethoden wie die QuEChERS Methode und die „pressurized liquid extraction“ (PLE) mit einem Standard-Lösungsmittelgemisch. Sensitive Analytikmethoden, z. B. mittels hochauflösender Massenspektrometrie (LC-HRMS), erreichen heute extrem niedrige Quantifizierungsgrenzen, für ein komplettes Wirkstoffspektrum müssen jedoch verschiedene Extraktions- und Analytikansätze genutzt werden (s. Wirkstoffspektrum).

Räumliche Aspekte

Idealerweise sind die Standorte und die Probenart (Boden, Vegetation, Insekten und andere Organismen) für das chemische und das biologische Monitoring zu koppeln, um einen Wirkungszusammenhang mit den Belastungen herstellen zu können (s. o.). Dabei sollten sowohl direkt exponierte Flächen (hpts. Ackerflächen und Sonderkulturen, *in-crop*), als auch indirekt belastete Landschaftselemente (Gehölze, Feldraine, Uferstreifen, *off-crop*) berücksichtigt werden. Bei der Beprobung dieser Landschaftselemente sollten die jeweiligen, relevanten Eintragungspfade elementspezifisch abgedeckt werden (s. Abbildung 4). Neben dem Overspray der *in-crop*-Flächen wird so auch die Drift und Run-Off auf benachbarte *off-crop*-Elemente berücksichtigt.

Es ist zu überlegen, ob in Bereichen, in denen Effekte auf die Biodiversität deutlich erkennbar werden, eine Probenahme-Strategie mit höherer räumlicher Auflösung sinnvoll wäre, die auch mit mehr Probenahmen im Verlauf einer Saison gekoppelt werden sollte. Die räumliche Auflösung sollte unter Berücksichtigung relevanter Eintragungspfade (z. B. Overspray, Drift, Runoff) erfolgen.

Zeitliche Aspekte

Da in der typischen chemischen Agrarpraxis mehrere Pestizid-Applikation erfolgen – oftmals bis zu zwanzig Anwendungen in einer Saison, zuweilen auch häufiger (s. Abschlussbericht des UBA-Projekts FKZ 3715634070) – erscheint es sinnvoll, mehrere Zeitpunkte der chemischen Analytik innerhalb der Wachstumsperiode unter Berücksichtigung der Anwendungszeiten der Wirkstoffe einzuplanen. Der hierbei anfallende finanzielle und personelle Aufwand ist bei den Planungen zu berücksichtigen. Probenahme-Abstände von sechs Jahren, wie sie etwa in den Niederlanden praktiziert werden (UBA 2012), scheinen in der Einzelbetrachtung sehr lang.

Probenahmeaspekte

Boden: Zum Schutz der Biodiversität im Boden sind Erkenntnisse eines UBA Projekts (FKZ 3710 67 410, Toschki et al. 2020) zum Verbleib und zu den Effekten zweier Pestizide (Lindan, Imidacloprid) im Boden zu berücksichtigen. In diesem Projekt wurde festgestellt, dass beide Wirkstoffe trotz ihrer sehr unterschiedlichen Lipophilie überwiegend in den obersten Schichten verblieben. In Lysimeter-Versuchen wurden über ein Jahr in verschiedenen Bodenschichten Rückstände analytisch bestimmt und gleichzeitig organismische Analysen der Bodenfauna erhoben. Es zeigte sich, dass in tieferen Bodenschichten, in denen die Pestizidrückstände niedriger waren als die jeweilig zu erwartenden Effektkonzentrationen auf die Bodenfauna, dennoch Auswirkungen z. B. auf Collembolen festgestellt wurden, die bis zu einem Jahr andauerten. Als Erklärung kann die Wanderung der Bodenorganismen im Bodenprofil mit zeitweisem Aufenthalt in den höher belasteten oberen Schichten angenommen werden. Als Konsequenz ergibt sich, dass Probenahmen nicht nur in der obersten Bodenschicht, sondern auch in tieferen Schichten (bis 50 cm) überlegenswert sind. Proben für die chemische Analytik sollten daher aus dem Oberboden (0 cm bis 10 cm Tiefe) und den darunterliegenden Schichten (10 cm bis 50 cm Tiefe) entnommen werden. Da vor allem lipophile Substanzen in den oberen Bodenschichten verbleiben, in denen üblicherweise gleichzeitig die höchste Organismendichte zu finden ist, sollte auch über eine detailliertere Zonierung nachgedacht werden, s. Kap. 5.1.

Organismen: Terrestrische Nichtzielorganismen können über pestizidbelastete Nahrung (Pflanzen, Samen, Pollen, Nektar, Nahrungskette) oder durch Overspray mit Pestiziden direkt geschädigt werden. Dies gilt auch für Bodenorganismen. Durch Pestizideffekte können die Nahrungsnetze bis hin zu höheren trophischen Ebenen wie beispielsweise Vögeln und Säugern gestört werden. Eine weitere Gruppe von Organismen sind in diesem Zusammenhang die Amphibien, die bei einem Aufenthalt in pestizidbehandelten Flächen die Wirkstoffe stärker über die Haut aufnehmen als andere Tiere (EFSA 2018, Brühl et al. 2011, 2013). Ein chemisches Monitoring im Agrarraum sollte auch Stellvertreter aus den Gruppen der Pflanzen, Arthropoden, Vögel, Säuger und Amphibien umfassen.

Wirkstoffspektrum

Das zu untersuchende Stoffspektrum sollte die Art der Landnutzung und die Bandbreite der eingesetzten Pestizide im Einzugsgebiet der jeweiligen Messstelle widerspiegeln. Zumindest sollten Wirkstoffe, die ubiquitär oder vorwiegend in den Hauptanbau-Kulturen eingesetzt werden, in jedem Fall analysiert werden. Allerdings belegen neuere Arbeiten, dass eine Erweiterung des Stoffspektrums sinnvoll erscheint. Moschet et al. (2014) konnten durch eine gezielte Suche zeigen, dass in Flüssen von fast 90 % aller polaren Pestizide (inkl. Hauptabbauprodukte), die insgesamt in der Schweiz eingesetzt werden, mehr als 100 Wirkstoffe und 40 Metaboliten detektiert wurden. Bei den üblichen Monitoring-Programmen, die auf erheblich weniger Wirkstoffe zielen, wären diese unentdeckt geblieben. Eine Erweiterung des Stoffspektrums würde auch dem Auffinden von Rückständen aus vorjährigen Applikationen dienen.

Heutzutage kann eine Screening-Methode einen Großteil der in Deutschland eingesetzten Pestizide erfassen, wobei schätzungsweise ca. 70 % aller Wirkstoffe mittels LC-MS nachgewiesen werden können. Etwa 20 % der Pestizide, die nicht für flüssigchromatographische Untersuchungen geeignet sind, können mittels GC-MS detektiert werden. Für die restlichen ca. 10 % sind Spezialmethoden notwendig, da sie sich einer allgemeinen Routineanalytik entziehen (analytisch „schwierige“ Wirkstoffe wie z. B. Glyphosat, das für die Analyse chemisch derivatisiert werden muss) (Botero-Coy et al., 2013).

Es wäre wünschenswert, das im Monitoring zu untersuchende Wirkstoffspektrum möglichst breit anzulegen. Wenn es gelänge, detaillierte Informationen der Anwendungen durch die Landwirte und Landwirtinnen zu erhalten, diese also ihre Aufzeichnungen in den „Spritztagebüchern“ digital eintragen und die Datenbank unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. für Behörden oder Forschungseinrichtung zur Beantwortung spezifischer Fragestellungen) einsehbar wäre, könnte das Wirkstoffspektrum regional verkleinert und angepasst werden. Mit einer solchen verbesserten Transparenz könnten gezielte Forschungsprojekte zur PSM-Belastung der der Umwelt in Agrarräumen konzipiert werden.

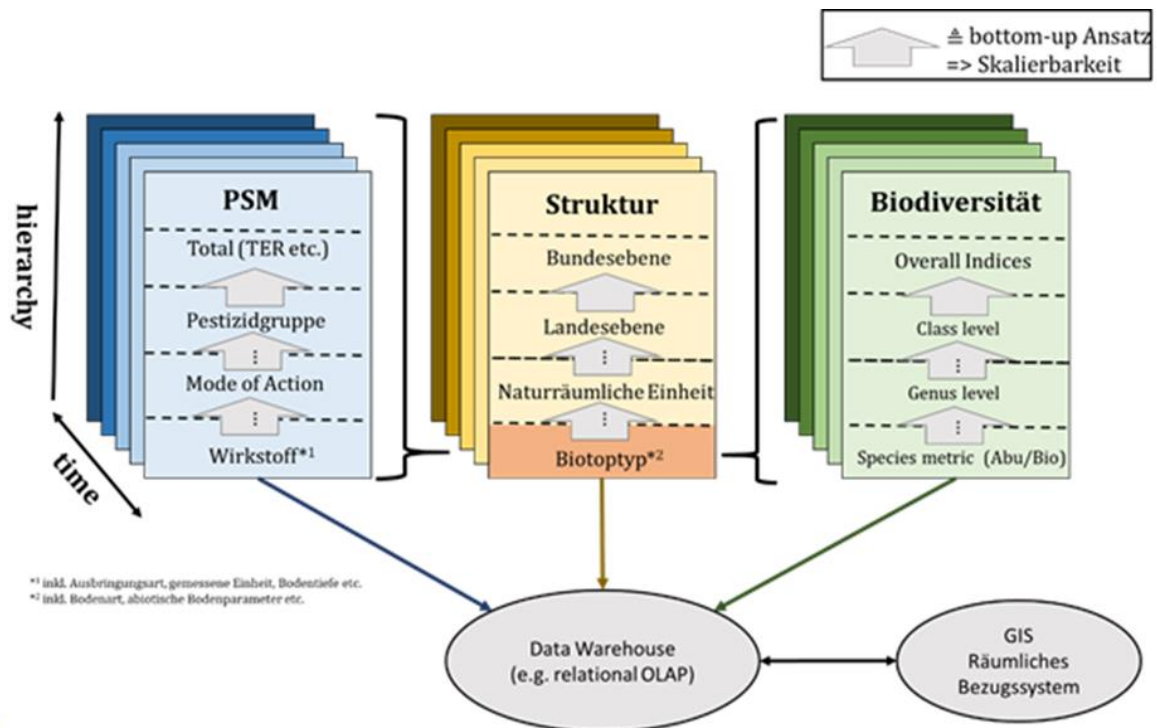
3.4 Anforderungen an ein einheitliches Datenmanagement

Die Basis für die Auswertungen der erhobenen Daten ist deren einheitliche Erfassung, Speicherung und Bearbeitung, die eine überregionale und umfassende Auswertung der Ergebnisse z. B. mit Hilfe multivariater Analysen ermöglicht. Der Aufbau eines solchen Informationssystems ist daher die Voraussetzung für ein integriertes Monitoring von PSM in der Agrarlandschaft.

Monitoring-Daten liegen häufig in äußerst heterogenen Strukturen, Formaten und Skalierungen vor, eine nationale Zustandsbeschreibung der Biodiversität in Agrarlandschaften wird dadurch erschwert. Aus diesem Grund werden innerhalb des zu entwickelnden Datenmanagements für das Monitoring-Konzept Mindestanforderungen der Qualität einer harmonisierten Datenerhebung, Datenspeicherung und Datenbereitstellung erarbeitet und als datentechnische Anforderungen in das Konzept integriert. Wichtige Kriterien für die Anwendung einer harmonisierten Datenbankstrategie eines integrierten Monitoring-Konzepts sind im Folgenden zusammengefasst:

- ▶ Unabhängig von rechtlichen Fragen der Datenhoheit und der physischen Verortung von informationstechnischer Ausstattung zur Speicherung der Daten, ist für die Umsetzung eines bundesweiten Monitoring-Programms zwingend notwendig, dass die Daten von allen Einrichtungen in einer harmonisierten Form gespeichert und zur Verfügung gestellt werden. Durch diese Vereinigung der Standards lassen sich übergreifende Analysen zum Zustand der Biodiversität und ihrer Faktorenkomplexe darstellen. Dies ermöglicht nicht nur eine wissenschaftlich belastbare Bestandsaufnahme und eine differenzierte Beurteilung von Trendentwicklungen auf nationaler Ebene, sondern verbessert durch ein Zusammenlegen der Informationen auch die Datenbasis für einzelne agrarstrukturelle Komponenten der Landschaft. Die Betrachtung und Bewertung von Biotoptypen oder naturräumlichen Einheiten, für die einzelne Landesbehörden über zu geringe räumliche und zeitliche Replikate der Biodiversitätsaufnahmen verfügen (z. B. auf BRSF), sind auf diese Weise im Zuge von multifaktoriellen Analyseverfahren möglich. Diese Nutzbarmachung der Einzeldaten steigert den Wert der Datenbanken und -aufnahmen, somit lassen sich Synergieeffekte entwickeln.
- ▶ Ein integriertes Monitoring, das heißt die Betrachtung bzw. Erfassung der Exposition und der Rückstände von PSM in der Agrarlandschaft und deren Effekte auf unterschiedliche Ebenen der Biodiversität, setzt ein einheitliches räumliches Bezugs- und Struktursystem voraus. Daten zu dem Verbleib von Pflanzenschutzmitteln in der Agrarlandschaft sollten räumlich explizit erhoben und in unmittelbarer Nähe zu den Erhebungen des Biodiversitäts-Monitorings gewonnen werden. Diese Datenverfügbarkeit ist eine notwendige Grundlage zur Durchführung einer kausalanalytischen Bewertung hinsichtlich aufgewendeter PSM und des Zustands der Biodiversität in der Agrarlandschaft.
- ▶ Daten aus den Biodiversitätserhebungen müssen räumlich explizit einem Biotoptyp zugeordnet werden (Abbildung 7). Eine Zuordnung zu Flächenbeschreibungen in geringerer Auflösung, wie zum Beispiel für BRSF oder naturräumliche Einheiten, sind für die explizite ökologische Zustandsanalyse unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses von PSM ungeeignet. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Daten aus dem PSM- und Biodiversitäts-Monitoring einheitlich für definierte Biotoptypen nachzuhalten.
- ▶ Innerhalb der Datenbank sollte durch entsprechende Zuordnung eine hierarchische Skalierbarkeit für die drei angestrebten Datenpakete (Struktur, PSM, Biodiversität) gewährleistet werden (Abbildung 7). Das bedeutet, dass eine Eingruppierung in höher aggregierte Klassen der verschiedenen Datenpakete innerhalb eines bottom-up-Prozesses möglich ist. Auf diese Weise lassen sich Zustandsanalysen auf unterschiedlichem Aggregationsniveau und aus verschiedenen Perspektiven durchführen. Voraussetzung hierfür ist aber eine konsequente Datenbereitstellung in einheitlicher, nicht-aggregierter Skalierung.

Abbildung 7: Hierarchisches Schema des strukturellen Aufbaus der notwendigen Daten eines nationalen PSM- & Biodiversitätsmonitorings in der Agrarlandschaft



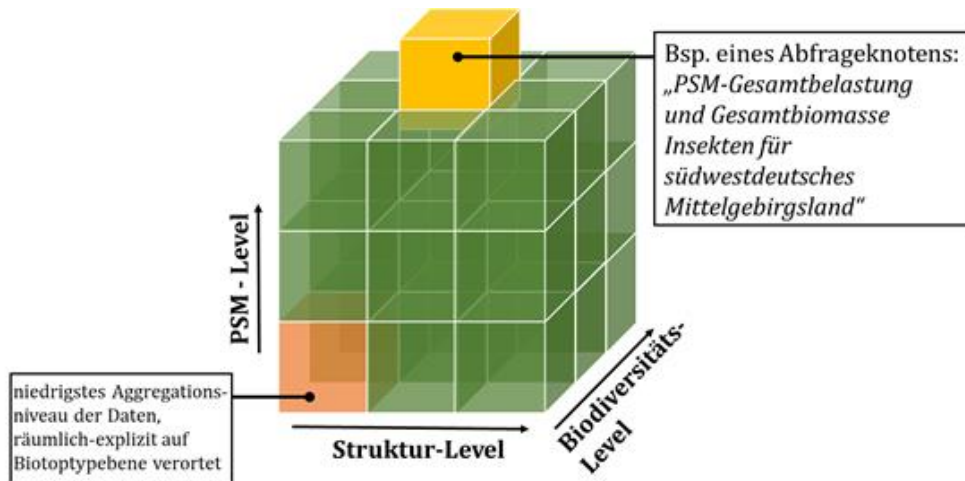
Quelle: eigene Darstellung, Institut für Umweltforschung, RWTH University

- ▶ Die Datenhaltung und -sicherung muss auch im Hinblick auf langfristige Zugangsmöglichkeiten gewährleistet werden. Diese Aufgabe erfordert eine konsistente Überprüfung der Daten und Metadaten sowie der Verwertbarkeit und des langfristigen Zugangs zu den Datensätzen. Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung ist hier der Austausch mit möglichen Kooperationspartnern (BfN, JKI, TI, Landesbehörden).
- ▶ Im Sinne einer transparenten Darstellung und Nutzbarkeit sollte die Möglichkeit einer offenen Datenverfügbarkeit (Open Data-Prinzip) geprüft werden. Aktuell sind weniger als ein Prozent der Biodiversitätsdaten aus Forschungsergebnissen nach der Publikation noch frei zugänglich (Reichman et al. 2011). Es ist dementsprechend in Erwägung zu ziehen, einen Teil der Monitoring- bzw. Metadaten, die von der personenbezogenen Datenschutzgrundverordnung unberührt bleiben, für Wissenschaft und Öffentlichkeit einsehbar und nutzbar darzustellen. Hier könnten die „FAIR-Data Principles“ (Wilkinson et al. 2016) (FAIR= Findable, Accessible, Interoperable, Re-usable) als Rahmenstrategie für die Architektur der Monitoring-Daten-Infrastruktur dienen.

Für die technische Realisierung eines harmonisierten Datenbanksystems mit langfristiger Datenhaltung, -sicherung und Datenzugang bietet sich die Einrichtung eines Data Warehouse für alle betrachteten Datenpakete eines integrierten Monitoring-Konzepts an. Im Zuge der Datenauswertung und -verwertung werden voraussichtlich die in der Ökologie häufig genutzten multidimensionalen Analysemethoden zur Anwendung kommen. Zudem sollten Auswertungsroutinen aus unterschiedlichen Perspektiven (PSM, Biodiversität, Struktur) im Sinne einer multidimensionalen Anwendbarkeit möglich sein (Abbildung 8). Die Gewährleistung dieser funktionalen Transparenz wäre zum Beispiel auf Basis von OLAP-Systemen (Online Analytical Processing) gegeben. Die Nutzung der OLAP-Technologie (McGuire et al. 2008) in Verbindung mit einem relationalen Aufbau des Datenbanksystems

(ROLAP) scheint zum aktuellen Stand ein praktikables Werkzeug für die harmonisierte Ablage der Monitoring-Daten zu sein.

Abbildung 8: Darstellung der drei identifizierten Datenpakete „Struktur“, „PSM“ und „Biodiversität“ als Dimensionen eines integrierten Monitoring-Datenmanagements. Durch die hierarchisch konsistente Datennachhaltung in Form einer relationalen Datenbankstruktur lassen sich Abfragen und hypothesengestützte Analysen aus unterschiedlichen Perspektiven bzw. Dimensionen und auf verschiedenen Skalenebenen der Dimensionen durchführen. Grundlage des multidimensionalen Ansatzes ist ein OLAP-System (Online Analytical Processing)



Quelle: eigene Darstellung, Institut für Umweltforschung, RWTH University

Die Mindestanforderungen an das Datenmanagement eines nationalen Monitoring-Konzepts sind die Grundlage für die entwickelte Strategie der datentechnischen Umsetzung des Vorhabens. Die praktische Datenzusammenführung und -haltung, unter Berücksichtigung der strukturellen Möglichkeiten einer koordinierenden Stelle bzw. Institution (Beispielszenario), sind in Kapitel 5.5 dargestellt.

4 Konzept und Ausgestaltung eines integrierten Monitorings von Pflanzenschutzmitteln in der Agrarlandschaft

Den beschriebenen generellen Anforderungen und Voraussetzungen aus Kapitel 3 zufolge ergeben sich für das Design eines „integrierten Monitorings in der Agrarlandschaft zur ökologischen Wirkung von Pflanzenschutzmitteln“ (IMoP) folgende Minimalanforderungen:

1. Betrachtung räumlicher Biotop-Komplexe

Zur Messung und Bewertung des Einflusses von PSM auf Zielflächen sowie benachbarte Nichtzielflächen werden, basierend auf der Unterschiedlichkeit der Lebensraumtypen, Äcker in Verbindung mit drei verschiedenen Randstrukturen als minimal erforderlich eingestuft: Gehölzstrukturen mit vertikaler Ausrichtung, angrenzende Grünlandstrukturen (z. B. grasige Feldraine) und Gewässer begleitende Hochstauden und Feuchtgrünlandstrukturen.

2. Erfassung der Vegetation zur Bestimmung des Biotoptyps

Die Erfassung der Vegetation ist als zentraler Baustein in eine ökosystemare Analyse einzubinden. Die Vegetation integriert die Standortverhältnisse und ist Bindeglied der verschiedenen abiotischen (z. B. Feuchte, pH-Wert, Temperatur) und biotischen Erhebungswerte (u. a. die Präsenz und Abundanz der verschiedenen Taxa). Die qualitative Bewertung einer Veränderung auf der Basis zoologischer Erfassungen muss immer vor dem Hintergrund eines Erwartungswertes (Referenz) im spezifischen Biotoptyp oder vor dem Hintergrund historischer Daten im selben Biotop bzw. am selben Ort geschehen.

3. Biotoptypengenaue Erfassung ausgewählter und repräsentativer Indikatoren der Biozönose sowie allgemeiner Standortdaten

Ausgewählte Gruppen von Arten (Indikatorartengruppen, vgl. Kap. 3.2) müssen aufgrund ihres biotoptypenspezifischen Auftretens auch in den verschiedenen Biotoptypen gesondert erfasst werden, um qualitative Bewertungen von Biozönosen und deren Veränderungen zu ermöglichen. Darüber hinaus müssen Standortdaten zu Bewirtschaftung, Düngung, Bodenparametern etc. als sogenannte Kopfdaten des Standortes ermittelt werden.

4. Spezifische Mindestanforderungen an die PSM-Messung

Für die Beprobung des chemischen Pflanzenschutzes müssen Boden-, Vegetations- und Organismenproben flächenscharf für die einzelnen Landschaftselemente der Agrarlandschaft, sowie in räumlicher und zeitlicher Nähe zu den Biodiversitätsmessungen entnommen werden. Ein besonderes Augenmerk bei der Auswahl dieser Proben liegt auf der adäquaten Berücksichtigung aller möglichen Eintrags- (Abbildung 4) und Expositionspfade für die betrachteten Lebensgemeinschaften. Zudem soll das Spektrum der gemessenen Wirkstoffe alle relevanten PSM in Deutschland beinhalten.

5. Gewährleistung einer für die Agrarlandschaft repräsentativen Stichprobe

Um bundesweit gültige Ergebnisse zu gewinnen, die Trends und Veränderungen fundiert aufzeigen, ist eine repräsentative Stichprobe für die gewünschte Skalenebene, d. h. für das Biotop, die Landschaft etc., erforderlich. Hierbei sind räumliche sowie zeitliche Aspekte zu berücksichtigen.

6. Modularer Aufbau

Um die Messungen von PSM in der Agrarlandschaft mit den Biodiversitätserhebungen und Standortcharakterisierungen in Beziehung zu setzen, sollten möglichst Synergien mit anderen Monitoring-Aktivitäten genutzt werden. Dabei ist es notwendig, unterschiedliche Messungen, die nach standardisierten Methoden und ggf. durch verschiedene Institutionen durchgeführt werden, in das integrierte Monitoring einzubeziehen. Zudem sollte ein anfängliches Minimalprogramm in einem gestuften Ansatz sukzessive um weitere Erhebungen bzw. Module erweitert werden können (siehe Kapitel 5).

4.1 Die bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen als geeignetes Mess-Netz

Aus den in Kapitel 2 vorgestellten Stichprobennetzen und Initiativen ergeben sich im Zusammenhang mit dem vorliegenden Projekt in Bezug auf die genannten Mindestanforderungen (s. o., Kap. 4) hohe Synergien mit den BRSF:

zu 1.: Da es sich bei den BRSF um 1 x 1 km² große Ausschnitte in der Landschaft handelt, ist es möglich, Biotopkomplexe, wie oben beschrieben, gezielt auszuwählen.

zu 2.: Im Rahmen des Ökosystem-Monitorings (vgl. Kap. 2.1.1) sind standardisierte Biotopkartierungen geplant. Dazu notwendige vorherige Abgleiche mit den verschiedenen Biotoptypenschlüsseln aus den verschiedenen Bundesländern sind vorgesehen, so dass im IMoP hierauf zurückgegriffen werden kann.

zu 3.: Im Rahmen des bundesweit ausgelegten Insekten-Monitorings ist die Erfassung verschiedener Insektengruppen und Spinnen konkret angedacht bzw. wurde in einigen Bundesländern bereits gestartet. Untersuchungen existieren bereits in Nordrhein-Westfalen sowie in Baden-Württemberg. Diesen Erhebungen liegt ein abgestimmter Methodenstandard (BfN 2019f) für die jeweiligen Taxa zugrunde, so dass sowohl methodische Grundlagen als auch erhobene Daten im IMoP genutzt werden können. Da auch das Monitoring des HNV-Indikators auf diesem Stichprobennetz basiert, sind bereits nutzbare Standortdaten verfügbar (Benzler et al. 2015, Hüning et al. 2019, vgl. Kap. 2.1.1).

zu 4.: Die PSM-Messungen können aufgrund der erfassten Biotoptypen bzw. Landschaftselemente auf den BRSF flächenscharf und in unmittelbarer Nähe zu den Biodiversitätserhebungen durchgeführt werden. Die Repräsentativität der BRSF und die damit verbundene Betrachtung der relevanten Kulturpflanzen (sowie Sonderkulturen) und ihrer spezifischen Wirkstoff- und Expositionsmuster sorgt zudem für eine adäquate Berücksichtigung der anzunehmenden PSM-Anwendungs-Variabilität in der Agrarlandschaft.

zu 5.: Die BRSF beruhen auf einer geschichteten Zufallsstichprobe mit 1000 bundesweiten Stichprobenflächen und weiteren 1.637 bundeslandspezifischen Flächen, siehe Kap. 2.1.1.). Die Stichprobenauswahl wurde im Zuge des Monitorings häufiger Brutvögel entwickelt und ist auch für weitergehende raumbezogene Dauerbeobachtungsprogramme geeignet und nutzbar (Heidrich-Riske 2004).

zu 6.: Auf den BRSF werden bereits verschiedene Datenerhebungen durchgeführt oder befinden sich in der Planung, wie beispielsweise der HNV-Indikator oder das bundesweite Insekten-Monitoring (Kap. 2.1.1.). Um den Zeit- und Kostenaufwand für das integrierte Monitoring zu minimieren, ist es sinnvoll, auf diese Erhebungen bzw. Module zurückgreifen zu können.

4.2 Notwendige strukturelle Verfeinerung – Entwicklung *Bundesweiter Agrarfenster (BAF)*

Für die Erhebungen von Artengruppen, die einen größeren Raumbezug aufweisen, wie beispielsweise Vögel, Fledermäuse und Amphibien, sind vor dem Hintergrund des IMoP keine strukturellen Anpassungen erforderlich. Diese Erhebungen können somit, wie bereits teilweise erprobt, auf den BRSF stattfinden. Für die Erfassung von Taxa mit einem konkreten standörtlichen Bezug zum Biotop werden folgende Anpassungen vorgeschlagen: Die Stichprobenfläche wird nicht in ihrer Gänze (1 x 1 km²) untersucht, sondern es wird je Fläche nur ein räumlicher Biotop-Komplex in einem konkret definierten Ausschnitt betrachtet. Als Minimalprogramm werden folgende Biotop-Komplexe untersucht:

► Acker – Gehölz (Hecke, Gebüsch, Waldrand etc.)

Es wird der Einfluss von Pestizidanwendungen auf Äckern sowie in Gehölzstrukturen mit vertikaler Ausrichtung untersucht

► Acker – Grünland (z. B. grasige Feldraine)

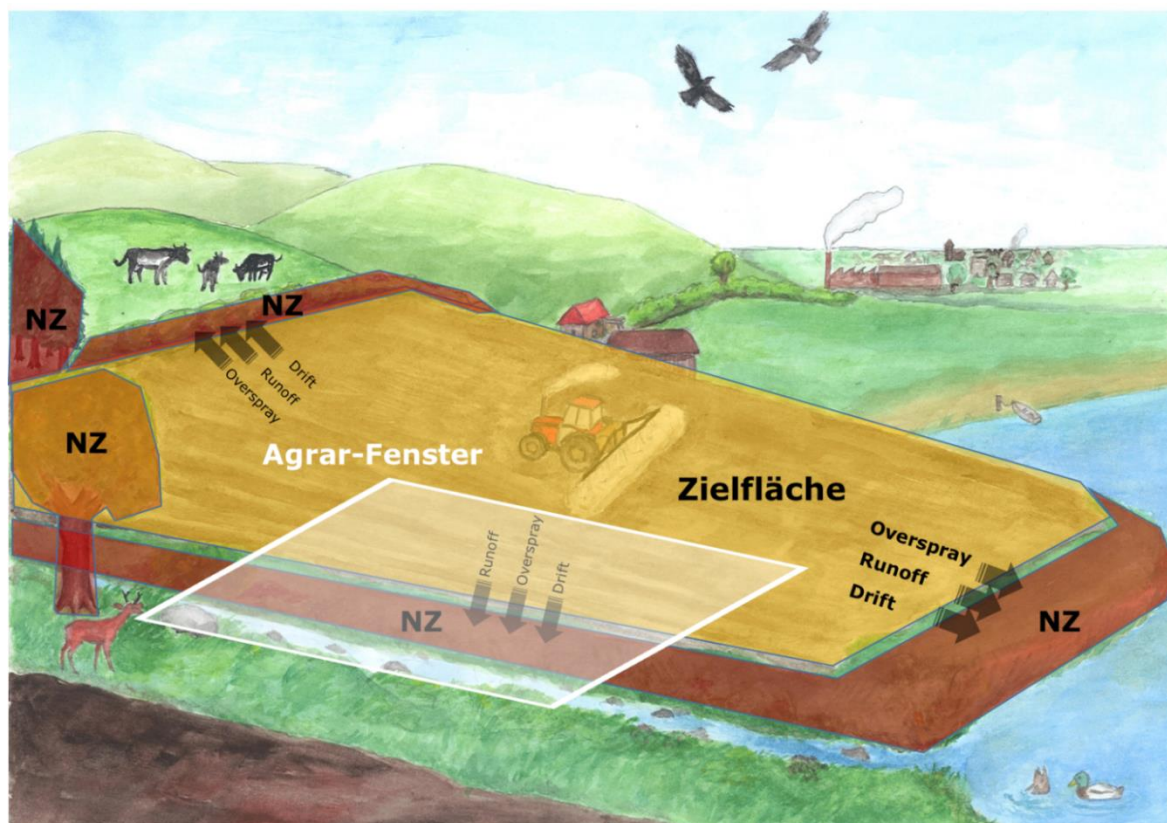
Es wird der Einfluss von Pestizidanwendungen auf Äckern und angrenzenden Grünlandstrukturen untersucht

► Acker – Uferstreifen

Es wird der Einfluss von Pestizidanwendungen auf Äckern und in Gewässer begleitenden Hochstauden- und Feuchtgrünlandstrukturen untersucht

Der jeweilige Ausschnitt innerhalb der Stichprobenfläche wird folgend als „**Bundesweites Agrar-Fenster (BAF)**“ bezeichnet (Siehe Abbildung 9). Eine Auswahl von Flächen wird zudem als **intensive Bundesweite Agrar-Fenster (iBAF)** für Forschungs- und Entwicklungsarbeiten vorgehalten und intensiver untersucht. Diese sollen für die Erprobung und Entwicklung neuer Methoden für das Monitoring, zeitliche Verdichtungen der Beprobungen und Bearbeitung von Forschungsfragen verwendet werden. Analog hierzu werden die BRSF, in denen sich ein iBAF befindet, als „**iBRSF**“ bezeichnet.

Abbildung 9: Schematische Darstellung der räumlichen Lage Bundesweiter Agrar-Fenster (BAF); NZ = Nicht-Zielfläche



Quelle: eigene Darstellung, gaiac Forschungsinstitut

4.3 BAF - Bundesweite Agrar-Fenster

Auf den bundesweit zur Verfügung stehenden BRSF werden zunächst die Stichprobenflächen identifiziert, die Ackerflächenanteile beinhalten. Nach früheren Analysen wird von etwa 735 Stichprobenquadraten bundesweit ausgegangen (Mischke et al. 2005), auf denen jeweils ein BAF eingerichtet werden soll. Dieses besteht aus einem der drei o. g. Biotopkomplexe Acker – Gehölz, Acker – Feldrain oder Acker – Uferstreifen¹. Dazu müssen zur praktischen Umsetzung Luftbilder gesichtet und entsprechende Flächen (Schläge, Flurstück, Besitzer, Pächter) identifiziert werden (siehe hierzu Kapitel 6.1: Einrichtung der BAF und iBAF).

Innerhalb der BAF wird durch gezielte Erhebungen in einem konkreten räumlichen Zusammenhang sowohl die Biodiversität (durch die Erfassung der verschiedenen Taxa) als auch die Menge der aufgewendeten Pestizide (z. B. durch Abfrage der Aufwandmengen beim Bewirtschafter oder durch Rückstandsanalytik) gemessen und analysiert. Ergänzend sind auch Bewirtschaftungsdaten der Nichtzielflächen zu erheben, wie z. B. die Mahd-Häufigkeit des Randstreifens oder das Alter der Hecke.

Alle Flächen sollen in einem sechsjährigen Turnus in enger Abstimmung mit anderen Erhebungsprogrammen einmalig beprobt werden, so dass ein gleitender Mittelwert aller

¹ In diesem Kontext ist ‚Acker‘ als übergeordneter Begriff für alle in-crop Anbaukulturen inclusive Sonderkulturen zu verstehen. Entsprechend steht ‚Gehölz‘ für alle Gehölze, wie z. B. Wald, Hecken und Baumreihen. ‚Feldraine‘ beinhalten sowohl linienförmige grasige Feldraine als auch angrenzende flächige Nichtzielhabitate. ‚Uferstreifen‘ stehen für alle Gewässer begleitenden Biotope.

Flächen über diesen Zeitraum errechnet werden kann. Daraus ergibt sich bundesweit eine Anzahl von etwa 123 Flächen bzw. BAF, die jährlich zu beproben sind.

Durch die beschriebene Vorgehensweise bei der Ermittlung der BAF wird eine repräsentative Mischung aus Kulturen bzw. Fruchtfolgen erzielt. Die Größe der BAF wird durch die verwendeten Methoden festgelegt und sollte den konkret zu untersuchenden Raum repräsentativ abbilden. Zielführend wäre es, dafür die Lage der Vegetationsaufnahmen und die darin platzierten Fanggeräte, wie z. B. Bodenfallen zur Erfassung der epigäischen Raubarthropoden, als räumliche Rahmen der Untersuchungen zu nutzen.

Für Sonderkulturen gilt, diese länderspezifisch mit entsprechenden Flächenanteilen besonders zu berücksichtigen. Auf Bundeslandesebene können ebenfalls die landesspezifischen, zusätzlichen Stichprobenquadrate zur Generierung einer landesweit repräsentativen Stichprobenkulisse in das Monitoringprogramm integriert werden. Dies befähigt die Bundesländer zusätzlich zur Ableitung landesspezifischer Indikatoren und Schlußfolgerungen hinsichtlich der Konsequenzen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes.

4.4 iBAF - Intensive Bundesweite Agrar-Fenster

iBAF werden zur Forschung, Weiterentwicklung und Erprobung von Methoden eingerichtet und sind als kontinuierliches, begleitendes Intensiv-Monitoring in das IMoP eingebunden. Sie stellen dabei eine Auswahl der BAF dar, auf denen neben dem auf den BAF durchgeführten Standard-Monitoring auch weitere ergänzende Vorhaben durchgeführt sowie neue methodische Vorgehensweisen erprobt werden sollen. Des Weiteren sollte auf diesen Flächen eine höhere zeitliche Verdichtung des Standard-Monitorings stattfinden, indem auf den iBAF eine jährliche Beprobung durchgeführt wird.

Zu diesem Zweck sind aus der Gesamtheit der BAF für jeden der drei Biotopkomplexe Acker – Gehölz, Acker – Feldrain und Acker – Uferstreifen insgesamt 10 Flächen als iBAF festzulegen, woraus eine Gesamtzahl von 30 iBAF resultiert.

5 Gestufter Ansatz – die schrittweise Umsetzung des Monitoringkonzepts

Die Umsetzung der Monitoringmodule auf den BAF und iBAF bzw. auf der gesamten BRSF ist in verschiedenen Stufen geplant (siehe Abbildung 10).

Stufe 1: Hier sind solche Module in den BAF vorgesehen, die ohne weitere bzw. aufgrund ihrer bereits erfolgten Erprobung (Insekten-Monitoring in Baden-Württemberg, Aktivitäten auf den ÖFS in NRW, Ökosystem-Monitoring des BfN) direkt umgesetzt werden können. Methodenstandards existieren bereits und können verwendet und angepasst werden (BfN 2019f).

Begleitend werden in den iBAF erste Anwendungsversuche für weitere Indikatorgruppen vorgenommen und entsprechende Methodenstandards erarbeitet, die in Stufe zwei umgesetzt werden sollen. Zudem kann z. B. durch die zeitliche Verdichtung der Datenerfassung ein komprimierter Datensatz für die iBAF erstellt werden.

Stufe 2: In Stufe zwei werden in den BAF solche Indikatorgruppen ergänzend eingebunden, die in der ersten Stufe in den iBAF erprobt wurden.

Auf den iBAF werden ausgeweitete und für die Fragestellungen notwendige Zusatzmodule erarbeitet. Diese können sich auf weitere Erhebungsmodule beziehen oder auch auf die Entwicklung und Erprobung moderner Methoden, wie beispielsweise das DNA-Metabarcoding.

Stufe 3: Entsprechend der Stufe 2 werden die zuvor erprobten Erhebungsmethoden in dieser Stufe umgesetzt.

Die Untersuchungen in den iBAF verstehen sich in dieser Stufe als „work in progress“, so dass notwendige Veränderungen den wechselnden Anforderungen im zeitlichen Verlauf kontinuierlich angepasst werden können.

Abbildung 10: Schematische Darstellung der stufenweisen Umsetzung von Monitoringmodulen im Rahmen des integrierten Monitorings zur Erfassung der Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes

Monitoring Elemente	Stufe 1	sofort umsetzbar	BAF
		durch Kooperationen/Erweiterungen mit/von bestehenden Programmen	
	Stufe 2	Erprobung von bestehenden/etablierten Methoden	iBAF
		<i>z. B. etablierte Biodiversitätsmessungen und zeitliche Verdichtung von PSM-Messungen</i>	
	Stufe 2	nach kurzer Erprobungszeit umsetzbar	BAF
		Ergänzung des bestehenden BAF-Monitorings durch die in Stufe 1 erprobten Elemente	
Stufe 3	Entwicklung/Erprobung neuer Methoden	iBAF	
	<i>z. B. DNA Barcoding in weiteren Kombination mit PSM Messungen in Organismen</i>		
Stufe 3	nach längerer Entwicklungs-/Erprobungszeit umsetzbar	BAF	
	Ergänzung des bestehenden BAF-Monitorings durch die in Stufe 2 erprobten Elemente		
Stufe 3	Weiterentwicklung bestehender Methoden Untersuchung aktueller PSM Fragestellungen	iBAF	
	<i>Etablierung kosteneffizienterer Methodiken mit neuem Stand der Technik; Ergänzung des BAF-Monitorings durch neue Forschungserkenntnisse im Bereich PSM-Einfluss auf Biodiversität (z. B. neue Sampling Methoden; Messung zusätzlicher Kompartimente ...)</i>		

Quelle: eigene Darstellung, gaiaec Forschungsinstitut

Die in diesem Kapitel beschriebenen Endpunkte (d. h. biologische und chemische Messungen sowie verschiedene Standortparameter) werden für eine Erfassung des ökologischen Einflusses von PSM als Mindeststandard angesehen.

5.1 Monitoring-Module - Stufe 1

In der ersten Umsetzungsstufe wird empfohlen, neben der Vegetation Daten solcher Organismengruppen zu erheben, die bereits in bundesweit etablierten Monitoring-Programmen erfasst werden und für die bereits methodische Standards zur Verfügung stehen. Für die Messungen der PSM-Rückstände wird hingegen ein umfassendes Screening erarbeitet, mit dem möglichst alle relevanten PSM und ihre wirksamen Metaboliten flächendeckend quantifiziert werden können.

5.1.1 Biodiversität

Der Methodenleitfaden, der im Jahr 2019 durch das BfN veröffentlicht wurde (BfN 2019f), beinhaltet Standardmethoden für die Erfassung von Laufkäfern und Spinnen, Tagfaltern und Widderchen sowie Heuschrecken. Das Monitoring von Gefäßpflanzen wird bereits in NRW seit dem Jahr 1997 durch das LANUV durchgeführt (LANUV 2019a), so dass auch hierzu entsprechende Methoden existieren, und in Baden-Württemberg wurde zudem bereits mit einem Monitoring u. a. der Biomasse von Bodenarthropoden begonnen (siehe Kap. 2.1.1.6). Um Synergieeffekte nutzen zu können, sollten daher diese Tiergruppen sowie die Vegetation in die erste Stufe des Monitorings in den BAFs aufgenommen und auf jeder Fläche in einem 6-jährigen Turnus untersucht werden (siehe Tabelle 3, vgl. Kap. 4.3). Zum Monitoring von Bodenorganismen existieren bereits langjährige Aktivitäten auf den BDF (siehe Kap. 2.1.2.). Um die Bodenorganismen in das IMoP einzubeziehen, sollte in der ersten Stufe untersucht werden, welche Bodenorganismen in welchem Probenumfang und mittels welcher Methodik geeignet sind, die Auswirkungen von PSM in der Agrarlandschaft abzubilden. Zudem soll auf den iBRSF die probeweise Nutzung der Daten aus dem Monitoring häufiger Brutvögel stattfinden.

Vegetation

Synergien: ÖFS LANUV NRW, Ökosystem-Monitoring BfN

Mit Hilfe der Vegetation lassen sich ökologische Räume definieren und klassifizieren, die für die Bewertung von Biodiversität notwendig sind. Des Weiteren können aus der Zusammensetzung der Vegetation ökologisch relevante Umweltbedingungen (z. B. Feuchtebedingungen) abgeleitet werden. Nicht zuletzt dienen Pflanzen anderen Organismen als spezifische oder unspezifische Nahrungsquellen (Dierschke 1994, Lennartz 2003, Lennartz & Roß-Nickoll 1999).

Auf den BRSF sowie auf den darin beinhalteten BAF sollte eine flächendeckende Erhebung der Vegetation erfolgen mit dem Ziel, alle Pflanzenarten, Biotoptypen und Vegetationseinheiten in der Fläche zu bestimmen und räumlich zu verorten. Je Einheit sollten die Deckungsgrade jeder Pflanzenart erfasst werden. Um die bereits in NRW auf den ÖFS durchgeführten Vegetationsaufnahmen und Biotoptypenkartierungen in das PSM-Monitoring zu integrieren, wird empfohlen, auch bundesweit diese bereits erprobte Methodik zu verwenden (Kartierungs-Anleitungen: LANUV 2019c). In NRW sollten die bereits bestehenden Daten der ÖFS bzw. des Ökosystemmonitorings verwendet werden, so dass für das IMoP keine neuen Daten erhoben werden müssen.

Tabelle 3: Biologische Endpunkte und Messgrößen im Rahmen des integrierten Monitorings – Stufe 1

Nr.	Skala	Gruppe	Methode	Endpunkt
1	BRSF, BAF	Vegetation	Vegetationsaufnahme, Biotoptypenkartierung	Artenzusammensetzung, Vergesellschaftungen, Deckungsgrade
2	BAF	Laufkäfer, Spinnen, Bodenarthropoden	Bodenfallen	Artenzusammensetzung, Individuenzahl, Biomasse
3	BAF	Tagfalter & Widderchen	Transektbegehung	Artenzusammensetzung, Individuenzahl
4	BAF	Heuschrecken	Isolationsquadrate	Artenzusammensetzung, Individuenzahl

Methodenentwicklung

5	iBRSF	Vögel	Linienkartierung	Artenzusammensetzung, Individuenzahlen
6	iBAF	Bodenorganismen, z. B. Springschwänze, Regenwürmer	z. B. Bodenkerne	Artenzusammensetzung, Individuenzahl, Biomasse (Regenwürmer)

Laufkäfer & Spinnen

Synergien: Insektenmonitoring Baden-Württemberg, Konzept des bundesweiten Insektenmonitorings BfN

Laufkäfer (Carabidae) und Spinnen (Araneae) gehören generell zu den epigäischen Raubarthropoden (wenige Carabidenarten ernähren sich phytophag) und sind z.T. als Nützlinge in allen Agrarbiotopen individuen- und artenreich vertreten. Ihre Zönosen weisen einen starken Bezug zu den örtlichen Standortbedingungen, wie z. B. Bodentyp, Feuchte und Biotoptyp, auf. Beide Tiergruppen werden häufig als Indikatorgruppen genutzt und Informationen zur Ökologie und Verbreitung der Arten in Deutschland sind weitgehend bekannt. Vertreter beider Artengruppen werden im „Standard Risk Assessment“ bei der Zulassung von PSM als Testorganismen verwendet; zudem lassen sich beide Tiergruppen gleichermaßen mit sogenannten Bodenfallen (BF) einfach und standardisiert erfassen. Spezialistinnen und Spezialisten zur Artbestimmung der Tiere sind in Vereinen bzw. bundesweiten Fachgesellschaften organisiert (Gesellschaft für Angewandte Carabidologie e.V., Arachnologische Gesellschaft e.V.) (BfN 2019f, Blick 1999, Heimbach et al. 2000, Holland 2002, Mühlenberg 1993, Pekár 2012, Rainio & Niemela 2003, Trautner 2017, Trautner et al. 2014).

Erhebungen sollen in jedem BAF innerhalb der Biotopkomplexe Acker – Gehölz, Acker – Feldrain und Acker – Uferstreifen in beiden Landschaftselementen erfolgen. Es wird empfohlen, im Rahmen des IMoP je BAF acht Bodenfallen zu verwenden (vier pro Acker + vier pro Gehölz, Feldrain oder Uferstreifen) und diese in zwei Zeitperioden (Frühjahr und Herbst) jeweils für sechs Wochen zu exponieren. Weiterhin sollte auch die Gesamtbiomasse

der Insekten als Beifang aus den Bodenfallenfängen erfasst werden. Informationen zu Flächenauswahl, Probenahme-Design, Fangmethodik, Probenaufbereitung und Determination werden im Methodenleitfaden ausführlich beschrieben (BfN 2019f). Für die Ackerstandorte sollte dieser Methodenstandard weitestgehend übernommen werden, um Synergien nutzen zu können. Aufgrund der linearen Struktur der beprobten Randflächen ist jedoch hier eine Anpassung des Probenahme-Designs notwendig. Wie auf den Äckern sollten die vier Fallen auch in den Gehölz- und Uferstrukturen sowie den Felldrains in einem Transekt angeordnet werden. Hier ist es allerdings häufig nicht möglich, den Mindestabstand zum nächsten Nutzungstyp (vgl. BfN 2019f) einzuhalten, so dass die Fallen derart in der Randstruktur ausgebracht werden, dass sie deren Artenspektrum möglichst genau erfassen.

Tagfalter & Widderchen

Synergien: Tagfalter-Monitoring Baden-Württemberg 2018, Tagfalter-Monitoring Nordrhein-Westfalen, Konzept des bundesweiten Insekten-Monitorings BfN, Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD)

Tagfalter (Lepidoptera: Hesperioidea und Papilionoidea) und Widderchen (Zygaenidae) gehören hinsichtlich ihrer Ökologie und Verbreitung mit zu den am besten untersuchten Tiergruppen in Europa. Systematisch gehören die Widderchen in die Gruppe der Nachtfalter; aufgrund ihrer den Tagfaltern ähnlichen Lebensweise werden sie jedoch häufig zusammen mit diesen untersucht (Fartmann & Hermann 2006). Viele Arten zeigen eine spezifische Bindung an Pflanzenarten bzw. -familien sowie Habitat-Eigenschaften und reagieren empfindlich auf Veränderungen ihrer Umweltbedingungen, was sie als gute Indikatorgruppe auszeichnet. Aufgrund ökologisch vielfältiger Einnisungen im Zuge ihres Lebenszyklus - larvale Entwicklung, Verpuppung und Imagines - sind sie auf verschiedene Weise direkt oder indirekt gegenüber PSM-Anwendungen exponiert bzw. werden dadurch beeinflusst. Die meisten Arten sind gut im Gelände bestimmbar, wodurch ihre Erfassung wenig zeit- und kostenintensiv ist. Es muss jedoch beachtet werden, dass sich die Arten hinsichtlich ihrer meist nur wenige Wochen andauernden Flugzeiten unterscheiden, so dass mehrere Begehungen innerhalb der Vegetationsperiode unerlässlich sind. Es existiert eine große Anzahl Experten und Expertinnen, die in verschiedenen Arbeitskreisen organisiert sind (z. B. AK Tagfalter-Monitoring NRW, Gesellschaft für Schmetterlingsschutz e.V.). Durch ihre Attraktivität und Beliebtheit in der Bevölkerung eignen sich die Schmetterlinge gut als „Flaggschiff-Tiergruppe“ im Natur- und Artenschutz (BfN 2019f, Fartmann 2017, Fartmann & Hermann 2006, Lang et al. 2016, Thomas 2005, Thomas et al. 2011).

Erhebungen zu Tagfaltern und Widderchen sollten in der Stufe 1 biotoptypenspezifisch innerhalb der BAF durchgeführt werden, um einen möglichst hohen Bezug zu den entsprechenden PSM-Aufwandmengen zu erzielen. Es wird empfohlen, die Biotoptypen innerhalb eines BAF separat und zeitlich festgeschrieben zu erfassen. Somit soll sichergestellt werden, dass alle Arten mit einer vergleichbaren Abundanz innerhalb eines Biotoptyps nachgewiesen werden. Entsprechend des Leitfadens zum Tagfalter-Monitoring Deutschland sollte durch den Acker und entlang der Randstruktur eines BAF jeweils eine 50 m lange Strecke auf ihre Tagfalter- und Widderchen-Fauna hin untersucht werden (GfS 2014). Auch wenn Falter flugfähig sind und ihren Aufenthaltsort zwischen den verschiedenen Biotoptypen wechseln, wird auf diese Weise eine größtmögliche Koppelung des gemessenen bzw. erfragten PSM-Einsatzes mit dem Aufenthaltsort der gefangenen Individuen erreicht. Tiere, die nicht direkt optisch bestimmbar sind, sollten mit dem Kescher gefangen und determiniert werden. Weitere Hinweise zu Begehungshäufigkeit und entsprechend notwendigen Rahmenbedingungen (Wetter, Tageszeit etc.) sollten entsprechend der

Standardisierungsvorgaben im Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD) bzw. des BfN-Methodenleitfadens berücksichtigt werden (BfN 2019f, GfS 2014).

Heuschrecken

Synergien: Heuschrecken-Monitoring Nordrhein-Westfalen, Heuschrecken-Monitoring Baden-Württemberg, Konzept des bundesweiten Insekten-Monitorings BfN

Heuschrecken (Saltatoria) gehören zu den Insektengruppen, von denen umfangreiche Kenntnisse zu den ökologischen Ansprüchen und zur Verbreitung der verschiedenen Arten vorliegen. Sie gelten als gute Indikatoren für Änderungen von beispielsweise Landnutzung, Umweltbedingungen und Mikroklima und kommen in verschiedenen Offenland-Habitaten vor. Allerdings werden sie aufgrund der heutigen hohen landwirtschaftlichen Nutzungsintensität auf Äckern in Deutschland kaum noch nachgewiesen. Aufgrund der Ernährungsweise – es existieren rein herbivore und überwiegend carnivore Arten sowie Gemischtköstler – deckt diese Artengruppe verschiedene Trophieebenen im Nahrungsnetz ab und ist gleichzeitig eine wichtige Nahrungsquelle für Artengruppen höherer Ebenen, wie beispielsweise Vögel. Von Vorteil für die Bearbeitung dieser Tiergruppe ist ihre Phänologie: Da die meisten Arten im Hochsommer aktiv sind, ist eine Begehung innerhalb der Vegetationsperiode meist ausreichend, darüber hinaus sind die Heuschrecken sowohl optisch als auch akustisch im Gelände bestimmbar. Es existieren viele Expertinnen und Experten für diese Tiergruppe, die in der Deutschen Gesellschaft für Orthopterologie e. V. organisiert sind (BfN 2019f, Fartmann et al. 2012, Kratochwil & Schwabe 2001, Wilson et al. 1999).

Im Methodenleitfaden des bundesweiten Insekten-Monitorings ist eine quantitative Erfassung der Heuschrecken mit Hilfe eines Isolationsquadrats als Standardmethode dargestellt (BfN 2019f). Hierbei wird ein Rahmen mit einer Grundfläche von 2 m² und einer Seitenrandhöhe von 80 cm 15 Mal in der betrachteten Fläche aufgesetzt, wobei alle Heuschrecken, die sich innerhalb des Quadrats befinden, registriert werden. Die Methodik wird jedoch für Grünland-Standorte vorgeschlagen. Um zu klären, ob sie auch in den BAF einsetzbar ist (z. B. in den Feldrainen oder den Uferstreifen) oder ob für das IMoP eine andere Methode, wie z. B. eine Transektbegehung in Verbindung mit einer akustischen Erfassung, eingesetzt werden sollte, ist zu empfehlen, vor Beginn der Monitoring-Aktivitäten Spezialisten und Spezialistinnen zu befragen.

Vögel

Synergien: Bundes- und landesweites Monitoring häufiger Brutvögel

Wie bereits in Kapitel 2.1.1.1 beschrieben, wird auf den landes- und bundesweiten BRSF ein Monitoring häufiger Brutvögeln (Aves) durchgeführt. Bei den Brutvögeln handelt es sich um eine gut untersuchte Tiergruppe, die von zahlreichen ehrenamtlichen und hauptamtlichen Ornithologen erfasst wird. Neben verschiedenen einzelnen Gutachten, die zu bestimmten Fragestellungen durchgeführt werden, existieren regionale und überregionale staatlich geförderte und durch verschiedene Vereine und Verbände koordinierte Programme (vgl. Kap. 2.1.1.1, Sudfeldt et al. 2012). Daher liegen aus Deutschland bereits seit dem Beginn der 1990er Jahre Daten zu häufigen und einigen mittelhäufigen Spezies vor, aus denen sich Bestandstrends ablesen lassen. Auch wenn für einige Arten Schutzmaßnahmen Erfolge erzielen, zeigen die aktuellen Bestandstrends, dass insbesondere die Arten der offenen Kulturlandschaft im Rückgang begriffen sind. Ihr Gefährdungsgrad ist dabei eng an ihre Lebensweise gekoppelt: Artengruppen, die sich von Großinsekten ernähren, Samenfresser, Fels- und Bodenbrüter sowie Langstreckenzieher sind dabei besonders gefährdet. Als

wichtige Gründe hierzu werden beispielsweise Habitatverluste und -verschlechterungen sowie ein vermindertes Nahrungsangebot auf verschiedenen trophischen Ebenen (Samen, Insekten) genannt (Grüneberg et al. 2013, 2015, 2016, Sudmann et al. 2011). Insbesondere PSM-Anwendungen wirken sich sowohl über indirekte Effekte (Reduktion des Nahrungsangebots) als auch über eine direkte Aufnahme und Exposition (z. B. behandelte Samenkörner, Biomagnifikation) negativ auf die Vogelfauna aus (Gill & Garg 2014). Da ein enger Zusammenhang zwischen menschlichen Aktivitäten und den Bestandsentwicklungen der Brutvögel besteht und zudem Synergieeffekte zwischen dem IMoP sowie dem Brutvogel-Monitoring genutzt werden können, ist die Aufnahme dieses Moduls sehr zu empfehlen.

Die in Kap. 2.1.1.1 für das Monitoring häufiger Brutvögel beschriebene Methodik erfasst die Brutvögel entlang einer ca. 3 km langen Strecke, die alle relevanten Biotoptypen einer BRSF berührt. Vögel sind jedoch durch ihre Aktivitäten nicht ausschließlich an einen Biotoptyp bzw. an eine Untersuchungsfläche gebunden, so dass eine Korrelation mit PSM-Messgrößen eines einzelnen BAF nicht möglich ist. Aus diesem Grund sollen in Stufe 1 zunächst die Brutvogel-Daten der iBRSF verwendet und mit näherungsweise berechneten PSM-Expositionsdaten korreliert werden. Hierbei werden die Daten der PAPA-Erhebungen genutzt und über die Schlaggeometrien flächen- und kulturbezogene Behandlungsindices pro km² errechnet (siehe Kap. 5.1.2.). Eine wichtige Grundlage dazu sind flächengenaue Nutzungs- und Biotoptypkartierungen in den BRSF, Angaben der Landwirtschaftskammern der Länder sowie ggf. die Verwendung von Daten aus dem Copernicus-Programm (siehe Kap. 2.1.6 und 2.2.3).

Bodentiere – Methodenentwicklung auf iBAF

Synergien: Boden-Dauerbeobachtung; auf den BRSF werden bislang keine Datenerhebungen zu Bodentieren durchgeführt, Pilotstudien in der Schweiz

Böden und die darin lebenden Organismengemeinschaften erfüllen wichtige Ökosystem-Dienstleistungen, wie beispielsweise die Förderung der Bodenfruchtbarkeit, die Regulation des Klimas durch ihren Kohlenstoffumsatz oder den Abbau von Schadstoffen (Gisi et al. 1997, Römbke et al. 2012). Die im Boden lebenden Organismen sind systematisch in die Bodenflora (Pilze, Algen, Bakterien und unterirdische Pflanzenzeile) sowie die Bodenfauna (verschiedene Bodentiergruppen) unterteilt. Letztere unterscheiden sich wiederum u. a. hinsichtlich ihrer Größe (Mikro-, Meso- und Makrofauna), ihrer Lebensweise im Boden (endogäische Arten) oder auf der Bodenoberfläche (epigäische Arten) sowie ihrer Stellung im Nahrungsnetz (mikrophytophage, makrophytophage oder zoophage Taxa). Sie nehmen daher, je nach Art oder taxonomischer Gruppe, unterschiedliche Funktionen in den Bodenprozessen ein (Gisi et al. 1997, Römbke et al. 2012, VDI 2014). In einer Richtlinie des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI 2014) wird mit Hilfe einer Matrix ein Verfahren vorgestellt, anhand dessen Bodentiergruppen zur Beantwortung ökologischer Fragestellungen innerhalb verschiedener Lebensraumtypen ausgewählt werden können. Die Grundlagen hierzu sind, neben deren o. g. Eigenschaften und Funktionen, der Kenntnisstand hinsichtlich ihrer Ökologie und Taxonomie, ihre Handhabung im Zuge ihrer Untersuchung oder das Vorhandensein von Standard-Erfassungsmethoden. Für die Bearbeitung einiger Bodentiergruppen, wie z. B. der Springschwänze (Collembola), Hornmilben (Oribatida), Enchytraeiden und Regenwürmer (Lumbricidae), wurden bereits Standardmethoden entwickelt (ISO 2006a, b, 2007).

Aufgrund ihrer Lebensweise im oder auf dem Boden sind Bodentiere direkt durch PSM-Anwendungen betroffen. Zudem werden Bodenorganismen sowohl in Form von Einzelartentests (z. B. *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), *Lumbricus terrestris* Linnaeus, 1758,

Folsomia candida Willem, 1902, *Gaeolaelaps aculeifer* (Canestrini, 1883)) als auch in höherstufigen Verfahren („higher tier“-Studien, Terrestrische Modellökosysteme (TME), Feldversuche) in der Risikobewertung von PSM eingesetzt (Füll et al. 2003, Scholz-Starke et al. 2011, 2013, 2017, Toschki et al. 2020). So ist beispielsweise bereits bekannt, dass PSM auf verschiedenen Organisationsebenen (z. B. Enzymaktivitäten, Mortalität, Wachstum, Fruchtbarkeit, Nahrungsaufnahme, Artenzusammensetzung) negative Einflüsse auf Regenwürmer aufweisen (Pelosi et al. 2014).

Die Auswirkungen von PSM auf Bodentiere werden somit für die Festlegung der Grenzwerte bzw. Konzentrationen, die ein PSM in der Umwelt erreichen darf, berücksichtigt. Aus diesem Grund ist es besonders sinnvoll, die Bodentiere im Rahmen des integrierten Monitorings zu erfassen. Hierdurch könnte ermittelt werden, inwieweit die im Rahmen der prospektiven Risikobewertung im PSM-Zulassungsverfahren festgelegten Grenzwerte das angestrebte Schutzniveau tatsächlich gewährleisten. Es ist geplant, in Stufe 1 auf den iBAF zu untersuchen, welche Bodentiergruppen für das integrierte Monitoring aufgrund ihrer Aussagekraft sowie ihrer Praktikabilität besonders geeignet sind. Darüber hinaus soll eruiert werden, welche Standard-Methode (z. B. Bodenkernentnahme, ISO 2006b, 2007) in welcher räumlichen und zeitlichen Dichte (z. B. 8 Parallelen, dreimalige Entnahme pro Vegetationsperiode) zur Anwendung kommen wird. Bei der Methodenauswahl ist zu beachten, dass in Stufe 2 das DNA-Barcoding zur Determination der Bodentierarten erprobt werden soll. Da nicht jede Fang- und Konservierungsflüssigkeit eine anschließende Verwendung der DNA gewährleistet, ist diese entsprechend auszuwählen (Höfer et al. 2015). Neben den eigens auf den iBAF durchgeführten Untersuchungen sollte bei der Auswahl auch auf Erfahrungen aus der Boden-Dauerbeobachtung zurückgegriffen werden, indem beispielsweise Befragung von Ländervertretern durchgeführt oder veröffentlichte Ergebnisse berücksichtigt werden. Zudem wird auch in der Schweiz ein Monitoring-Konzept für Pflanzenschutzmittel in Böden erarbeitet, so dass zu diesem Thema ggf. ein fachlicher Austausch mit der bearbeitenden Institution stattfinden kann (Oekotoxzentrum 2019).

5.1.2 Pflanzenschutzmittel-Messungen und -Erhebungen

Eine Übersicht über die in der ersten Stufe durchzuführenden Messungen und Erhebungen der Pflanzenschutzmittelrückstände in den beprobten räumlichen Biotop-Komplexen (Siehe Kapitel 4.2.) ist in

Tabelle 4 dargestellt.

Für die BAF soll im Zuge der ersten Stufe der PSM-Messungen folgende räumliche Situation identifiziert und beprobt werden:

Innerhalb der BRSF wird jeweils ein Biotop-Komplex (Siehe Kapitel 4.2) getestet. Auf dem entsprechenden Ackerlandelement (*in-crop*, Biotoptyp "Acker") dieses definierten Landschaftsausschnitts soll das Bodenkompartment hinsichtlich der PSM-Rückstände observiert werden, hierfür sollen pro Probezeitpunkt fünf Bodenproben in räumlicher Nähe zu den ausgebrachten Bodenfallen des Biodiversitäts-Monitorings (s. o.) entnommen werden.

Das unmittelbar an das beprobte Ackerland anschließende Landschaftselement des Biotop-Komplexes (Gehölz, Feldrain, Uferstreifen) wird ebenfalls untersucht, die Probenahme-Stellen sollten jeweils im Abstand von ca. 2-4 m zum Ackerrand platziert werden. In dieser *off-crop*-Situation wird sowohl eine Beprobung des Bodens (5 Replikate) als auch eine Beprobung der Vegetation (5 Replikate) angestrebt (

Tabelle 4).

Tabelle 4: Endpunkte und Messgrößen für PSM-Rückstände und -Aufwandmengen im Rahmen des integrierten Monitorings – Stufe 1

Nr.	Skala	Landschaftselement im Biotop-Komplex	Methode	Endpunkt
1	BAF	Acker	Boden- & Vegetations-Beprobung, Multiscreening, 6 Jahres-Turnus pro Fläche	Konzentration relevanter PSM (mg a.i./kg Boden)
2	BAF	Acker	Behandlungsindex pro Kultur (Kalkulation anhand der PAPA-Daten und Schlaggeometrien)	Behandlungsindex pro Ackerfläche
3	BAF	Gehölz/Feldrain/Ufer	Boden- & Vegetations-Beprobung Multiscreening, 6 Jahres-Turnus pro Fläche	Konzentration relevanter PSM (mg a.i./kg Boden)
<i>Methodenentwicklung</i>				
4	<i>iBRSF</i>	<i>Acker</i>	<i>Behandlungsindex pro km² (anhand der PAPA-Daten und den Schlaggeometrien) Aufwandmengen, flächen- und kulturbezogen</i>	<i>Behandlungsindex pro km²</i>
5	<i>iBAF</i>	<i>Acker</i>	<i>Vertikal-Beprobung Boden Multiscreening org. PSM, Metaboliten & Metalle (jährliche Messung)</i>	<i>Konzentration relevanter PSM (mg a.i./kg Bodenschicht)</i>
6	<i>iBAF</i>	<i>Gehölz/Feldrain/Ufer</i>	<i>Horizontal-Beprobung Boden Abstandsintervalle zum Acker Multiscreening org. PSM, Metaboliten & Metalle (jährliche Messung)</i>	<i>Konzentration relevanter PSM (mg a.i./kg Bodenschicht)</i>
7	<i>iBAF</i>	<i>Gehölz/Feldrain/Ufer</i>	<i>Vegetations-Beprobung Multiscreening org. PSM, Metaboliten & Metalle (jährliche Messung)</i>	<i>Konzentration relevanter PSM (mg a.i./kg)</i>
8	<i>iBAF</i>	<i>Acker</i>	<i>Aufwandmengen, Produktname & Applikationszeitpunkte (flächen- und kulturbezogen)</i>	<i>g a.i./ha Ackerland & Anbaukultur</i>

Die Monitoring-Aktivitäten für Pflanzenschutzmittel in jedem BAF finden in der ersten Stufe turnusmäßig in einem Rhythmus von sechs Jahren (jährliche Fortschreibung auf 1/6 aller BAF) statt. In ähnlicher Vorgehensweise wie bei der Indikatorwertbildung (Flächenparameter, HNV-Werte, strukturelle Vielfalt etc.) für die ÖFS in NRW (LANUV 2019a) kann so ein gleitender Mittelwert über sechs Jahre für die beprobten Pflanzenschutzmittel gebildet werden.

Innerhalb eines Jahres wird vorgeschlagen, die PSM-Messungen pro BAF-Standort zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten durchzuführen. Ein möglichst aussagekräftiges Muster der PSM wird unter dieser Voraussetzung bei einer Boden-Beprobung vor der Applikation der PSM (März), einer Beprobung kurz nach der erwarteten Hauptapplikation der PSM (Juni, Juli)

und eine Beprobung unmittelbar vor dem Umbruch der Bodenmatrix (Spätsommer) erwartet. Dies zeigen die Applikationsmuster von Pflanzenschutzmittel-Spritzserien in der Agrarlandschaft (UBA 2020).

Für die chemische Analytik der zu bewertenden Pflanzenschutzmittel wird innerhalb dieser Monitoringstufe folgende Methodik empfohlen: Die Substanzen sollen basierend auf einem Multiscreening-Verfahren von Chiaia-Hernandez et al. (2017) untersucht werden. In dieser Studie wurden 80 verschiedene polare Wirkstoffe und etwa 90 Metaboliten analysiert, wobei anorganische oder durch Elektrospray-Ionisation nicht ionisierbare Substanzen nicht berücksichtigt wurden. Die Auswahl der Substanzen basierte auf einer Liste von Pflanzenschutzmitteln der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO), die zwischen 1995 und 2008 auf Böden angewendet wurden.

Zusätzlich zu der von Chiaia-Hernandez et al. (2017) beschriebenen Analytik sollen im Rahmen des IMoP auch anorganische Substanzen untersucht werden. Anorganische Wirkstoffe, wie beispielsweise Kupferhydroxid, werden sowohl im ökologischen Landbau als auch in einigen Anbaukulturen der konventionellen Landwirtschaft angewendet (BVL 2019b). Daher ist die Berücksichtigung dieser Substanzen, je nach Anbaumethode und Anbaukultur, wichtig.

Im Rahmen des IMoP sollen alle zugelassenen aktiven Wirkstoffe aus der aktuellen Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe des Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) analysiert werden (BVL 2019a). Es gibt aktuell (Stand: Juli 2019) 296 verschiedene zugelassene Wirkstoffe. Biologische Wirkstoffe, wie beispielsweise *Bacillus thuringiensis*, sollen dabei von der Analyse ausgeschlossen werden. Zudem existieren weitere Kriterien, die bei der Auswahl der zu untersuchenden Pflanzenschutzmittel zu beachten sind:

- ▶ Wirkstoffe aus allen drei Haupt-Anwendungsklassen (Fungizide, Herbizide, Insektizide) müssen vertreten sein. Zusätzlich muss die Berücksichtigung weiterer Anwendungsklassen, wie beispielsweise Wachstumsregler, Additive, Molluskizide oder Rodentizide in Abhängigkeit von der Anbaukultur geprüft werden.
- ▶ Es werden alle Substanzen aus den Wirkstoffrankings der PAPA-Erhebung berücksichtigt, um sicher zu stellen, dass häufig angewendete Substanzen detektiert werden (vgl. Roßberg & Harzer 2015).
- ▶ Relevanter Metaboliten der am häufigsten angewendeten Wirkstoffe werden analysiert.
- ▶ Einige häufig angewendete anorganische Substanzen werden ebenfalls untersucht.

Tabelle 5 kombiniert die Informationen des PAPA-Wirkstoffrankings, der von Chiaia-Hernandez et al. (2017) untersuchten Substanzen und der zugelassenen Wirkstoffe des BVL (Stand: Juli 2019). Dabei wurden alle vom BVL zugelassenen Wirkstoffe, die entweder im Wirkstoffranking der PAPA-Erhebung vorkommen oder in der Studie von Chiaia-Hernandez et al. (2017) untersucht wurden, aufgelistet. Dabei wurden zunächst 87 relevante Wirkstoffe zusammengestellt, zusätzlich sollten jedoch noch wichtige Metaboliten berücksichtigt werden.

Tabelle 5: Auswahl wichtiger Wirkstoffe für das PSM-Monitoring

(BVL 2019, Roßberg 2016, Chiaia-Hernandez et al. 2017, Roßberg et al., 2017, Roßberg & Harzer 2015, Roßberg & Ipach 2015, Roßberg & Portner 2018)

Wirkstoff-klasse	BVL-Code	Wirkstoffname	PAPA-Erhebungen					Chiaia-Hernandez et al., 2017
			Kartoffel 2013	Weinbau 2013	Apfel 2013	Zucker-rüben 2015	Hopfen 2016	
Herbizid	27	2,4-D						x
Insektizid	679	Abamectin					x	
Insektizid	1046	Acequinocyl			x		x	
Insektizid	1010	Acetamiprid			x			
Fungizid	1152	Ametoctradin		x				
Fungizid	1094	Amisulbrom		x				
Fungizid	902	Azoxystrobin	x	x			x	x
Fungizid	1032	Benthiavalicarb	x	x				
Herbizid	537	Bifenox						x
Fungizid	1023	Boscalid	x	x	x		x	
Herbizid	264	Bromoxynil						x
Fungizid	12	Captan			x			
Insektizid	1095	Chlorantraniliprole			x			
Herbizid	864	Clomazone						x
Herbizid	446	Clopyralid				x		
Fungizid	1012	Cyazofamid	x	x				
Fungizid	1045	Cyflufenamid		x				
Fungizid	513	Cymoxanil	x	x			x	x
Fungizid	907	Cyprodinil		x	x			x
Herbizid	415	Desmedipham				x		x
Herbizid	218	Dicamba						x
Fungizid	865	Difenoconazol	x	x	x			
Herbizid	698	Diflufenican						x
Herbizid	413	Dimethachlor						x
Herbizid	988	Dimethenamid-P				x		x
Fungizid	841	Dimethomorph	x	x			x	x
Fungizid	45	Dithianon		x	x		x	
Fungizid	48	Dodin			x			
Herbizid	383	Ethofumesat				x		
Fungizid	944	Famoxadone	x					
Fungizid	956	Fenhexamid		x				
Fungizid	881	Fenpropidin						x

Wirkstoff- klasse	BVL- Code	Wirkstoffname	PAPA-Erhebungen					Chiaia- Herna ndez et al., 2017
			Kartof- fel 2013	Wein- bau 2013	Apfel 2013	Zucker- rüben 2015	Hop- fen 2016	
Insektizid	880	Fenpyroximat			x			
Insektizid	1054	Flonicamid			x		x	
Fungizid	849	Fluazinam	x					x
Fungizid	887	Fludioxonil		x	x			x
Fungizid	1058	Fluopicolide	x	x				
Fungizid	1134	Fluopyram		x	x			
Fungizid	91	Folpet		x				
Fungizid	522	Fosetyl		x			x	
Herbizid	405	Glyphosat				x		
Insektizid	779	Hexythiazox					x	
Insektizid	866	Imidacloprid			x			
Insektizid	966	Indoxacarb			x			x
Fungizid	968	Iprovalicarb		x				
Fungizid	1042	Kaliumhydrogen- carbonat					x	
Fungizid	1041	Kaliumphosphonat (Kaliumphosphit)		x				
Fungizid	904	Kresoxim-methyl		x				x
Fungizid	347	Kupferhydroxid		x	x		x	
Fungizid	147	Kupferoxychlorid		x	x			
Insektizid	751	lambda- Cyhalothrin					x	
Herbizid	237	Lenacil				x		x
Fungizid	10	Mancozeb	x	x				
Fungizid	1085	Mandipropamid	X	x			x	
Herbizid	74	MCPA						x
Herbizid	772	Mecoprop-P						x
Fungizid	517	Metalaxyl						x
Fungizid	933	Metalaxyl-M	x	x				
Herbizid	456	Metamitron				x		x
Herbizid	617	Metazachlor						x
Fungizid	81	Metiram		x				
Fungizid	1040	Metrafenone		x			x	
Herbizid	337	Metribuzin						x
Insektizid	1017	Milbemectin					x	
Fungizid	776	Myclobutanil		x	x		x	x

Wirkstoff- -klasse	BVL- Code	Wirkstoffname	PAPA-Erhebungen					Chiaia- Herna ndez et al., 2017
			Kartof- fel 2013	Wein- bau 2013	Apfel 2013	Zucker- rüben 2015	Hop- fen 2016	
Herbizid	367	Napropamid						x
Fungizid	655	Penconazol		x	x			
Herbizid	404	Pendimethalin						x
Herbizid	233	Phenmedipham				x		x
Insektizid	309	Pirimicarb			x			x
Fungizid	631	Prochloraz						x
Fungizid	516	Propamocarb	x					x
Fungizid	1053	Proquinazid		x				
Herbizid	763	Prosulfocarb						x
Fungizid	1013	Pyraclostrobin	x	x	x		x	x
Fungizid	900	Pyrimethanil			x			x
Herbizid	867	Quinmerac				x		
Fungizid	184	Schwefel		x	x			
Herbizid	963	S-Metolachlor						x
Insektizid	1031	Spirodiclofen			x		x	
Fungizid	914	Spiroxamine						x
Fungizid	784	Tebuconazol		x	x			
Insektizid	905	Tebufenozid			x			x
Insektizid	982	Thiacloprid			x			x
Fungizid	605	Triadimenol						x
Fungizid	972	Trifloxystrobin		x	x			x
Herbizid	882	Triflursulfuron				x		

Extraktion, Aufarbeitung, und Analytik

Die chemische Analytik der einzelnen Replikate der Bodenproben erfolgt für polare PSM angelehnt an die Methode von Chiaia-Hernandez et al. (2017). In der Arbeit von Silva et al. (2019) wurden mit einer leicht modifizierten Methode auch unpolare Pestizide extrahiert.

Zunächst durchläuft der getrocknete Boden zwei statische Extraktionszyklen mit Aceton und Ethylacetat im Verhältnis 30:70. Zur Freisetzung saurer Verbindungen aus dem Boden werden erneut zwei statische Extraktionszyklen mit Aceton und 1 % Phosphorsäure im Verhältnis 70:30 durchgeführt. Die daraus folgenden Extrakte werden mit einer Mischung aus 28 internen Standards versetzt. Durch Rotationsverdampfung werden die organischen Lösungsmittel entfernt und die wässrige Phase wird anschließend mit HPLC-Wasser verdünnt. Zum Aufschluss des Bodens und zur Reinigung der mitextrahierten Matrixbestandteile wird die „QuEChERS“-Methode mit anschließender Filterung des Extrakts verwendet (Niessner & Schäffer 2017). Die Auswahl der Extraktionsmethode für Vegetationsproben sollte unbedingt eine direkte Vergleichbarkeit mit anderen

Probendatenbanken gewährleisten. Daher wird die Auswahl der Methode in Absprache mit anderen Probendatenbanken, wie beispielsweise der Umweltprobenbank des Bundes (siehe Kapitel 2.1.4.) erfolgen.

Die Analyse des gewonnenen Extrakts kann mittels „Liquid Chromatography Tandem High Resolution Mass Spectrometric Detection“ und Elektrospray-Ionisation (ESI) im Positiv- und Negativmodus erfolgen. Dazu wird ein linearer Tandem-Ionenfallen-Orbitrap-Massenspektrometer verwendet. Diese Analyse-Methode von Chiaia-Hernandez et al. (2017) ist für 64 Pflanzenschutzmittel und 29 Transformationsprodukte validiert. Die Analytik von Metallen sollte mittels „Inductively coupled plasma optical emission spectrometry“ (ICP OES) erfolgen (Topalidis et al. 2017).

Generell wird angestrebt, bereits in der ersten Stufe des Monitorings ein Messsystem für alle relevanten PSM und ihre wirksamen Metaboliten flächendeckend auf allen BAF-Flächen zu etablieren, um die Erfassung der ökologischen Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes in seiner Gesamtheit zu gewährleisten. Die in diesem zu etablierenden Konzept eingesetzten analytischen Methoden sollen dabei hinsichtlich der Durchführbarkeit und Präzision dem aktuellen Stand der Wissenschaft entsprechen. Die hier dargestellten Ansätze sind demnach gegebenenfalls in der Zukunft entsprechend anzupassen.

In der ersten Stufe des forschungsbezogenen iBAF-Monitorings (siehe Kapitel 4.4.) liegt ein besonderer Forschungsschwerpunkt auf dem Vergleich der gemessenen PSM-Rückstände (retrospektive PSM-Daten) mit tatsächlich aufgetragenen Pflanzenschutzmitteln auf den Untersuchungsflächen (prospektive PSM-Daten). Deshalb sollen für die iBAF neben den chemisch-analytischen Daten flächendeckend „prospektive“ Daten zur PSM-Exposition erhoben werden. Dies erfordert eine aktive Beteiligung von Landwirtinnen und Landwirten als eine notwendige Voraussetzung dieses Ansatzes. Die messbaren Rückstände können auf diese Weise mit den berechneten Rückständen der aufgetragenen PSM-Konzentrationen im Jahresverlauf quantitativ verglichen und somit Aussagen zu Unsicherheiten in der PEC-Bewertung abgeleitet werden. Die Untersuchungsergebnisse sollen in einem Quervergleich ebenfalls Aufschluss über die Datenqualität von gesammelten PSM-Monitoring-Daten, unter anderem auf den BAF, liefern. Die Bearbeitung dieser wissenschaftlichen Fragestellung auf den iBAF erscheint erforderlich, um die tatsächliche Wirkung des chemischen Pflanzenschutzes in seiner Gesamtheit auf die Biodiversität der Agrarlandschaft abschätzen zu können (Schäffer et al. 2018). Lücken in den statisch gemessenen PSM-Mustern auf den BAF aufgrund schneller Abbauraten von Wirkstoffen im Jahresverlauf können auf diese Weise identifiziert werden.

Bodenproben

In-crop findet auf den iBAF eine Vertikalbeprobung der Bodenschichten in den Bereichen 0-1,0 cm, 1,0-2,5 cm, 2,5-5,0 cm, 5,0-20 cm und 20-50 cm Tiefe statt. Auf diese Weise wird die inhaltliche Verknüpfung zur aktuellen Vorgehensweise in der Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln gewährleistet. Die Vertikal-Beprobung in einem Bereich bis 1,0 cm Bodentiefe kann als Vergleich mit der PEC-Berechnung von Substanzen mit hohem Sorptionsvermögen ($K_{oc} > 500$) im regulatorischen Vollzug genutzt werden (Fent et al. 1999). Der Konzentrationswert bis 2,5 cm erfüllt die Anforderungen der spezifischen, initialen PEC-Berechnung in Deutschland für den Großteil der PSM ($K_{oc} < 500$) (Fent et al. 1999). Die Bodentiefen bis 5,0 cm (Dauerkulturen) bzw. 20 cm (Ackerbau) werden als Bodenbearbeitungstiefen für die PEC-Berechnung langsam abbauender Substanzen verwendet ($DT_{90field} > 365$ Tage) und sind damit ebenfalls Bestandteil des IMoP. Die Konsequenzen der Bodenbearbeitung auf die Verteilung der PSM wird auf diese Weise berücksichtigt. Dieses

Monitoring-System soll die Frage hinsichtlich der Plausibilität aktuell genutzter PEC-Modellannahmen in der Risikobewertung von PSM überprüfen.

Die Bodenmessungen in den *off-crop*-Landschaftselementen der iBAF-Biotop-Komplexe werden im Vergleich zum BAF nicht nur in einem Abstand von 2-3 m zum Ackerelement, sondern in den Abständen 1 m, 2 m, 5 m und 10 m durchgeführt. Dies soll ein präziseres Verständnis über die Eintragspfade und -mengen in Grenzsituationen zwischen *in-crop* und *off-crop*-Landschaftselementen liefern. Zusätzlich wird, parallel zu den BAF, eine Analyse der PSM-Konzentrationen in der jeweiligen Vegetationseinheit geleistet.

Zeitliche Aspekte

Die Untersuchungen in allen iBAF finden jährlich statt, auf diesen Flächen sollte während der Vegetationszeit eine regelmäßige Messung der PSM-Konzentrationen stattfinden, insbesondere in den Zeiträumen unmittelbar nach einer PSM-Applikation. Aus diesem Grund sollte die Beprobung zwischen März und September in einem turnusmäßigen Abstand von vier Wochen stattfinden.

Die chemische Analytik der Boden- und Vegetationsproben erfolgt entsprechend der Analytik auf den BAF. Auf den iBAF werden zusätzlich zu den bereits auf den BAF untersuchten Substanzen auch alle relevanten Metaboliten der laut Landwirt in den letzten zwei Jahren auf dem iBAF ausgebrachten Substanzen untersucht. Dadurch wird ein Vergleich der prospektiven PSM-Anwendungsinformation des Landwirts mit den retrospektiv gefundenen Rückständen ermöglicht. Zusätzlich können durch diese gezielte Analyse ebenfalls relevante Substanzen, wie Metaboliten, detektiert werden, die in hohen Konzentrationen im Boden vorkommen, aber durch die limitierte Analyse auf den BAF nicht detektiert werden konnten.

Pflanzenschutzmittelerhebung

Zur prospektiven Abschätzung der Pflanzenschutzmittelbelastung auf den BAF-Flächen wird der Behandlungsindex verwendet. Dazu werden die Behandlungsindices aus den PAPA- und NAP-Erhebungen zu der entsprechenden Anbaukultur auf dem jeweiligen BAF genutzt.

Auf Ebene der iBRSF wird ein sogenannter Behandlungsindex pro km² erhoben. Dieser wird anhand der PAPA-Behandlungsindices und den Anbaukulturen innerhalb der iBRSF berechnet. Dabei dient die Kultur und deren Flächenanteil innerhalb der iBRSF als Berechnungsgrundlage für den Behandlungsindex pro km². Dieser Behandlungsindex dient zunächst als prospektives Maß zur Abschätzung der Pflanzenschutzmittelbelastung auf Ebene der iBRSF. Die frei verfügbaren Informationen der regelmäßigen Erhebungen zur Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel (PAPA-Daten) werden nur für die Berechnung auf Ebene der iBRSF genutzt. Die Daten werden anhand von einigen Erhebungsbetrieben für Gesamtdeutschland erhoben und sind daher nicht für regionale Abschätzungen der Pflanzenschutzmittelbelastung geeignet. Daher sollen die PAPA-Daten nur für eine erste Beurteilung der möglichen Belastungssituation auf Ebene der iBRSF genutzt werden.

Die Information über die explizit angewendete Spritzserie auf einer Ackerfläche ist für eine gesicherte, prospektive Belastungsabschätzung unbedingt notwendig. Für die iBAF-Flächen werden dahergenaue Informationen zu der Pflanzenschutzmittelbelastung auf der untersuchten Fläche benötigt. Deshalb wird auf diesen Flächen die Information zu der gesamten Spritzserie, die auf dieser spezifischen Ackerfläche des Biotopkomplexes angewendet wurde, erhoben. Es stehen somit Informationen zu allen ausgebrachten Produkten, Wirkstoffen, sowie Applikationszeitpunkten und -mengen zur Verfügung.

5.1.3 Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren

Neben den Datenerhebungen zur Biodiversität und dem PSM-Einsatz müssen die BAF hinsichtlich verschiedener Standortparameter untersucht und charakterisiert werden. Dies ist sinnvoll und notwendig, um Einflüsse wesentlicher Umweltfaktoren bei der Datenauswertung berücksichtigen zu können. Die Parameter, die ab Stufe 1 integriert werden sollen, sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zusammengefasst.

Tabelle 6: Standortparameter, die im Rahmen des IMoP aufgenommen werden

Nr.	Skala	Standortparameter	Art der Datenerhebung
1	BAF	Bodentyp/Bodenart/Bodendichte	Bodenkarten
2	BAF	pH-Wert	Bodenanalysen
3	BAF	N-Gesamt, Corg, C/N-Verhältnis	Bodenanalysen
4	BAF	Phosphorgehalt	Bodenanalysen
5	BAF	Carbonatgehalt	Bodenanalysen
6	BAF	Schadstoff-Belastungen	Befragung Landwirt
7	BAF	Anbaukultur/Fruchtfolge	Befragung Landwirt
8	BAF	Düngungsform (Stallmist, Mineraldünger etc.)	Befragung Landwirt
9	BAF	Bodenbearbeitung	Befragung Landwirt
10	BAF	Ökologischer/Konventioneller Landbau	Befragung Landwirt
11	BAF	Agar-Umweltmaßnahmen	Befragung Landwirt
12	BAF	Minderungsmaßnahmen	Befragung Landwirt
13	BRSF	Struktur der umgebenden Landschaft	GIS-Analysen
14	BRSF	Klima- und Wetterdaten	Deutscher Wetterdienst

5.2 Monitoring Module - Stufe 2

5.2.1 Biodiversität

Neben den ab Stufe 1 auf den BAF durchgeführten Untersuchungen der Vegetation, der Laufkäfer und Spinnen, der Tagfalter und Widderchen sowie der Heuschrecken werden ab Stufe 2 auch die Vögel und Bodentiere in die regulären Langzeitstudien aufgenommen. Dabei wird die in Stufe 1 erprobte Methodik angewendet (siehe

).

Auf den iBAF bzw. iBRSF werden ab Stufe 2 weitere Organismengruppen bzw. Erfassungsmethoden im Hinblick auf deren Umsetzbarkeit im IMoP untersucht, die im Folgenden vorgestellt werden.

Tabelle 7: Biologische Endpunkte und Messgrößen im Rahmen des IMoP – Stufe 2

Nr.	Skala	Gruppe	Methode	Endpunkt
1	BRSF	Vögel	Linienkartierung	Artenzusammensetzung, Individuenzahlen
2	BAF	Bodenorganismen	z. B. Bodenkerne	Artenzusammensetzung, Individuenzahl, Biomasse (Regenwürmer)
<i>Methodenentwicklung</i>				
3	iBAF	Wildbienen	z. B. Keschern	Artenzusammensetzung, Individuenzahlen
4	iBAF	Schwebfliegen	z. B. Keschern	Artenzusammensetzung, Individuenzahlen
5	iBAF	Bodenorganismen	DNA-Barcoding	Diversität
6	iBRSF	Tagfalter & Widderchen	Transekt	Artenzusammensetzung, Individuenzahlen

Wildbienen

Synergien: BRSF Baden-Württemberg (optional)

Bienen bzw. Wildbienen (Apidae) besiedeln verschiedene Biotoptypen. Obgleich einige Arten vorwiegend im Wald vorkommen, ist der Großteil der heimischen Arten xero-thermophil und tritt in verschiedenen Offenland-Habitaten, wie z. B. in mageren Flachland-Mähwiesen oder in *Calluna*-Heiden, auf. In ihrer Lebensweise sind die unterschiedlichen Taxa häufig hoch spezialisiert, d. h. sie sind auf das Vorhandensein spezifischer Nistmöglichkeiten oder Pollenquellen angewiesen. Auf der anderen Seite leisten Wildbienen durch ihre Funktion als Bestäuber vieler Nutzpflanzen wichtige Ökosystemdienstleistungen. Ihr Vorkommen bzw. ihre Gefährdung ist daher eng mit der landwirtschaftlichen Praxis verbunden: In der Agrarlandschaft wird u. a. durch den heutigen Anbau großflächiger Monokulturen sowie durch den Einsatz von Herbiziden das Angebot an Blühpflanzen, d. h. der Nahrungsquellen der Wildbienen, deutlich verringert, so dass sich die PSM-Anwendungen insbesondere indirekt auf die Bienen-Fauna auswirken (Esser et al. 2011, Westrich et al. 2011). Durch die Aktivitäten vieler Expertinnen und Experten sind die Wildbienen in Deutschland hinsichtlich ihrer Verbreitung und Ökologie gut untersucht. Zudem existiert der „Arbeitskreis Wildbienen-Kataster“ in Baden-Württemberg, der eine Datenbank mit Wildbienen-Funden in Baden-Württemberg führt (vgl. Kap. 2.1.6). Aus den o. g. Gründen ist die Aufnahme der Wildbienen in das IMoP geplant.

Wildbienen können mit Hilfe verschiedener Nachweismethoden erfasst werden, wie z. B. durch standardisiertes Keschern entlang von Transekten, das Aufstellen von Farbschalen oder das Aufsaugen mit Hilfe eines Saugapparats (Mühlenberg 1993). In der Stufe 2 des IMoP soll auf den iBAF getestet werden, welche Nachweis-Methodik zur Untersuchung der Auswirkungen von PSM auf die Wildbienen am besten geeignet ist. Bei der Methodenauswahl müssen die Möglichkeiten der Standardisierung, der Erhalt aussagekräftiger Ergebnisse, Möglichkeiten der Nutzung von Synergien sowie die Praktikabilität berücksichtigt werden. Hierzu sollten Experten und Expertinnen dieser Tiergruppe befragt werden.

Schwebfliegen

Synergien: BRSF Baden-Württemberg (optional)

Schwebfliegen (Syrphidae) treten in Deutschland in nahezu allen Lebensräumen auf, wobei einige Taxa als Waldarten beschrieben werden und andere wiederum vorwiegend im Offenland vorkommen. Ein Großteil der Arten bevorzugt jedoch Waldrandstrukturen, d. h. ein Mosaik aus Wald mit angrenzenden Randstrukturen (Waldsäume, Lichtungen etc.). Die Imagines weisen eine relativ einheitliche Lebensweise auf, indem sie Blüten zur Nahrungsaufnahme besuchen. Teilweise zeigen sie dabei Präferenzen für bestimmte Blütenfarben, Pflanzengattungen oder Blumentypen. Allerdings unterscheiden sich die Spezies hinsichtlich ihrer Standorttreue: Einige Arten weisen bei ihren Aktivitäten lediglich einen geringen Radius auf, andere hingegen wandern im Herbst bis über die Alpen. Die Larven der unterschiedlichen Taxa dagegen unterscheiden sich häufig deutlich hinsichtlich ihrer Lebensweise und ihres Nahrungsspektrums. Letzteres umfasst phytophage, zoophage oder saprophage Ernährungsweisen, wobei diverse terrestrische, semi-aquatische und aquatische Habitate besiedelt werden (Oosterbroek 2006, Ssymank et al. 2011). Aufgrund ihrer Lebensweisen erfüllen Schwebfliegen wichtige Ökosystemdienstleistungen, wie beispielsweise die Bestäubung von Pflanzen (Imagines) oder ihre Funktion in der biologischen Schädlingsbekämpfung (Larven) (Ssymank et al. 2008, 2011). Diese Tiergruppe eignet sich gut zur Bioindikation. Es ist beispielsweise bekannt, dass ihre Artenzahl in naturnahen und extensiv bewirtschafteten Habitaten größer ist als in intensiv bewirtschafteten. Die Gründe für ihre Gefährdung unterscheiden sich aufgrund ihrer ökologischen Einnischung, wobei Spezialisten in deutlich größerem Maße betroffen sind. Sie umfassen beispielsweise Lebensraum-Verluste oder -Verschlechterungen, eine qualitative und quantitative Verringerung des Blühangebots durch z. B. Düngung, Herbizid-Einsatz und den Anbau großflächiger Monokulturen, aber auch den Einsatz von Insektiziden (Ssymank et al. 2011).

Der Kenntnisstand zur Verbreitung und Ökologie der Schwebfliegen ist als geringer als der beispielsweise zu Laufkäfern oder Tagfaltern einzustufen, Forschungsbedarf u. a. zu Abhängigkeiten zwischen Syrphiden- und Pflanzen-Gemeinschaften wird explizit genannt. Es gibt Schwebfliegen-Experten und -Expertinnen in Deutschland, wobei die Bundesländer in sehr unterschiedlichem Maße bearbeitet werden. Ein guter Bearbeitungsstand liegt eher im Westen der Bundesrepublik vor, wohingegen der Nordosten (Schleswig-Holstein, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern) deutlich unterrepräsentiert ist. In der Datenbank „Syrph the Net“ werden europaweit erhobene Daten zusammengetragen, so dass sie für naturschutzfachliche Auswertungen genutzt werden können (Ssymank et al. 2011, Syrph the Net: <http://www.iol.ie/~millweb/syrph/syrphid.htm#statusrf>, aufgerufen am 20.11.2019).

Zur Erfassung der Schwebfliegen werden verschiedene Methoden eingesetzt, wie beispielsweise der (semi)quantitative Kescherfang entlang von Transsekten sowie der Einsatz von Farbschalen oder Malaisefallen (Lennartz 2003, Mühlenberg 1993, Ssymanck et al. 2011, Stubbs & Falk 2002). In der Stufe 2 des IMoP ist das Ziel, die Methodik der Schwebfliegen-Erfassung auf den iBAF zu erproben. Dabei sollten möglichst Synergien mit dem Monitoring der Wildbienen genutzt werden, da auch diese im Imaginalstadium Blüten besuchten und dort ggf. innerhalb einer Probenahme gemeinsam gefangen werden können.

DNA-Barcoding zum Monitoring von Bodenorganismen

Synergien: Ab Stufe 2: Geplantes Bundesweites Monitoring von Bodenorganismen auf den BAF

Die Methodik des DNA-Barcodings wurde in den letzten Jahren zunehmend weiterentwickelt (vgl. Kap. 2.2.2.). Ab Stufe 2 ist geplant, ausgewählte Bodenorganismengruppen entsprechend der in Stufe 1 getesteten Standardmethoden auf den BAF zu untersuchen. Um zu erproben, inwieweit sich die neuen Methoden des DNA-Barcodings bzw. -Metabarcodings sinnvoll für die Bodentier-Datenerhebungen nutzen lassen, soll auf den iBAF eine gleichzeitige Untersuchung dieser Tiergruppen mittels der neuen Methoden stattfinden. Um die Synergien zu den etablierten Bodentier-Untersuchungen nutzen zu können, muss für die Probenahme und weitere Probenbearbeitung eine Fang- und Konservierungsflüssigkeit verwendet werden, die ein anschließendes DNA-Barcoding ermöglicht, da beispielsweise säurehaltige Flüssigkeiten die DNA der Tiere zerstören (Höfer et al. 2015).

Tagfalter & Widderchen, Transektbegehungen

Synergien: Tagfalter-Monitoring Baden-Württemberg, Tagfalter-Monitoring Nordrhein-Westfalen, Konzept des bundesweiten Insekten-Monitorings BfN, Tagfalter-Monitoring Deutschland (TMD)

Ab Stufe 2 soll auf den iBRSF untersucht werden, ob Korrelationen zwischen dem Auftreten der Tagfalter und Widderchen in der gesamten, 1 km² großen Fläche und, wie im Absatz zu den Vögeln (Kap. 5.1.1.) beschrieben, Durchschnittswerten der PSM-Aufwandmengen in wichtigen Anbaukulturen bestehen.

5.2.2 Pflanzenschutzmittel

Mögliche Anpassungen der PSM-Messungen in einer zweiten Stufe des IMoP sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Auf den BAF-Flächen sollen, neben den durchgeführten Monitoring-Aktivitäten der ersten Stufe, nun die in Tabelle 8 genannten Observationsschwerpunkte als Erweiterungen geprüft werden.

Tabelle 8: Endpunkte und Messgrößen für PSM-Rückstände und -Aufwandmengen im Rahmen des integrierten Monitorings – Stufe 2

Nr.	Skala	Landschaftselement im Biotop-Komplex	Methode	Endpunkt
1	BAF	Acker	Siehe Stufe 1, zeitliche Verdichtung (1 bzw. 3-Jahres-Turnus)	Konzentration relevanter PSM (mg a.i./kg) inklusiver Formulierungen
2	BAF	Gehölz/Feldrain/Ufer	Siehe Stufe 1, zeitliche Verdichtung (1 bzw. 3-Jahres-Turnus)	Konzentration relevanter PSM (mg a.i./kg)
3	BRSF	Acker	Behandlungsindex pro km ² (anhand der PAPA-Daten und den Schlaggeometrien)	Behandlungsindex pro km ²
<i>Methodenentwicklung</i>				
4	<i>iBRSF, iBAF</i>	<i>Alle</i>	<i>Beprobung Organismen/Nahrungsnetz</i>	<i>mg a.i./kg dw</i>
5	<i>iBRSF</i>	<i>Acker</i>	<i>Anonymisierte Spritzserieninformation pro km²</i>	<i>Spritzserieninformation pro km² (Produkte, Wirkstoffmengen, Aufwandmengen)</i>

Die Liste der zu untersuchenden Substanzen wird anhand der aktuellen PAPA-Erhebungen und aktualisierter Listen zugelassener Wirkstoffe überarbeitet. Dies gewährleistet die dynamische Berücksichtigung relevanter Wirkstoffe, da die Pestizidzulassung häufigen Änderungen unterliegt.

Weiterhin sollte auf den BAF-Flächen eine zeitliche Verdichtung des Messnetzes angestrebt werden. So könnte der initial genutzte, sechsjährige Rhythmus der PSM-Aufnahmen durch einen dreijährigen Turnus (dreijähriges, gleitendes Mittel der PSM-Messungen als Endpunkte) bzw. durch jährliche Messungen ersetzt werden. Dies wäre vor allem anzustreben, sofern sich auf den iBAF-Flächen der ersten Stufe zeigt, dass die sechsjährigen Mittel im Vergleich zu den einjährigen Messungen von Einzelflächen Variationsgrade aufweisen, die eine Ableitung von Korrelationen zu Biodiversitätsveränderungen sichtbar erschweren.

Zur prospektiven Abschätzung der Pflanzenschutzmittelbelastung auf den iBRSF-Flächen erfolgt eine Erhebung der ausgebrachten Spritzserien innerhalb der iBRSF. Die erhobenen Informationen werden auf Ebene eines Quadratkilometers zusammengefasst, sodass eine Anonymisierung der Daten gewährleistet ist. Die Erfassung der Spritzserieninformationen pro km² berücksichtigt die regionalen Unterschiede bei der Pflanzenschutzmittelanwendung und bietet außerdem einen datenschutzrechtlichen Vorteil. Zudem stehen Informationen zu den möglicherweise ausgebrachten Produkten und Wirkstoffmengen zur Verfügung. Die Dokumentation der Aufwandmengen aller Landwirte und Landwirtinnen („Spritztagebücher“) sollte im Zuge des IMoP zentral gesammelt und, zunächst auf den iBRSF, als summarische Applikationsszenarien pro km² aggregiert werden. Diese anonymisierte Bereitstellung der Aufwandmengen kann eingesetzt werden, um (1.) flächendeckende

vergleichende Analysen zu gemessenen PSM-Rückständen im Boden mit tatsächlich verwendeten PSM-Mustern durchzuführen und (2.) Korrelationen zu Biodiversitätsmustern zu identifizieren. Ein Vergleich mit den tatsächlich ausgebrachten Aufwandmengen auf den iBRSF kann somit Aufschluss zur Variabilität und Unsicherheit dieses Indexes auf der Ebene der BRSF liefern. Zusätzlich können diese Parameter nach der Verifizierung ihrer Nutzbarkeit unmittelbar mit Biodiversitätsindikatoren aus dieser Skalenebene (Bsp. Vogelmonitoring) verschnitten werden.

In den Biotop-Komplexen der iBAF wird in dieser zweiten Stufe ein analytisches Monitoring-System zur Beprobung des Nahrungsnetzes angestrebt. Hierbei sollen in ausgewählten Tierarten (s. u.) als repräsentative Einheiten unterschiedlicher Trophie-Niveaus der Nahrungsnetze des Bodens und der Krautschicht PSM-Rückstände untersucht werden. Es wird dabei geplant, repräsentative Organismengruppen unterschiedlicher Kompartimente und Lebensweisen zu beproben. Bei der Auswahl soll wiederum ein besonderes Augenmerk auf die Berücksichtigung möglicher Expositionsszenarien gelegt werden.

Heuschrecken (Orthoptera) könnten aufgrund umfangreicher Kenntnisse zur Lebensweise und Verbreitung als herbivore Vertreter eine zentrale Rolle in diesem Observationsansatz zukommen. Ihre ausreichende Größe zur Beprobung und das häufige Vorkommen in der Agrarlandschaft innerhalb der Vegetationsperiode sind weitere Argumente zur Wahl dieser Organismengruppe. Auch Feldmäuse (*Microtus arvalis* (Pallas, 1778)) und Vögel der Agrarlandschaft könnten als Vertreter höherer trophischer Ebenen Berücksichtigung finden. Zudem sollte die Möglichkeit der Messung von Pestiziden in Laufkäfern und Spinnen (Bodenprädatoren) geprüft werden.

Im Boden bietet sich die PSM-Beprobung von Regenwürmern an, wie in wissenschaftlichen Studien bereits gezeigt werden konnte (Römbke et al., 2004). Aufgrund unterschiedlicher zu erwartender Expositionsmuster sollten dabei Mineralschichtbewohner (endogäische Arten) der dominierenden Gruppe der Aporectodea/Allolobophora (*Allolobophora chlorotica* (Savigny, 1826), *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826) oder *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826)), epigäische Arten (z. B. *Lumbricus castaneus* (Savigny, 1826)) sowie anözische Arten (beispielsweise *Lumbricus terrestris* oder *Aporrectodea longa* (Ude, 1885)) unterschieden und in den iBAF observiert werden.

Als weitere, hochrelevante Gruppe im agrarlandschaftlichen Kontext soll die Gruppe der Bestäuber untersucht werden. So könnte zum Beispiel die Beprobung von Schwebfliegen (Syrphidae), Wildbienen (Apidae außer *Apis*) oder Hummeln (*Bombus*) in Betracht gezogen werden.

Ein endgültiges Design zur testweisen Überwachung der PSM-Rückstände auf verschiedenen Trophieniveaus des agrarlandschaftlichen Nahrungsnetzes muss in der Vorbereitung der zweiten Stufe dieses Konzept mit den verantwortlichen Landesbehörden entwickelt und beschlossen werden. Erfahrungen aus ersten Monitoringansätzen der Umweltprobenbank sollen in dieser Phase einfließen. Grundsätzlich ist für dieses Teilmodul des Monitoring-Konzepts eine enge Abstimmung der Interessengruppen notwendig.

5.3 Monitoring Module - Stufe 3

5.3.1 Biodiversität

Wie zu Beginn der Stufe 2 sollten nun auch die bis dahin erprobten Datenerhebungen weiterer Tiergruppen sowie neu entwickelte bzw. angewendete Methoden in das IMoP aufgenommen werden (Tabelle 9). Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, nun auf den iBAF bzw. iBRSF weitere Erprobungen durchzuführen. Hierzu werden die Amphibien sowie die Fledermäuse vorgeschlagen, die im Folgenden vorgestellt werden. Es können jedoch auch weitere Tiergruppen und Methoden untersucht werden, da sich bis zum Beginn der Stufe 3 eventuell Fragestellungen ergeben, die durch die bis dahin durchgeführten Monitoring-Aktivitäten auftreten.

Tabelle 9: Biologische Endpunkte und Messgrößen im Rahmen des integrierten Monitoring – Stufe 3

Nr.	Skala	Gruppe	Methode	Endpunkt
1	BAF	Bienen	Keschern	Artenzusammensetzung, Individuenzahlen
2	BAF	Syrphidae	Keschern	Artenzusammensetzung, Individuenzahlen
3	BAF	Bodenorganismen	DNA-Barcoding	Artendiversität
4	BRSF	Tagfalter & Widderchen	Transekt	Artenzusammensetzung, Individuenzahlen
<i>Methodenentwicklung</i>				
5	iBRSF	Amphibien (Gewässernähe)	Rufe, Sichtung	Artenzusammensetzung, Individuenzahl
6	iBRSF	Fledermäuse (Gehölze)	Detektor, Netzfang	Artenzusammensetzung, Aktivitäten

Amphibien (Gewässernähe)

Synergien: Monitoring von Amphibien in NRW, LANUV

Die Klasse der Amphibien (Amphibia) ist in zwei Grundtypen unterteilt, zum einen in die Schwanzlurche (Urodela, d. h. Molche und Salamander) und zum anderen in die Froschlurche (Anura, d. h. Unken, Kröten und Frösche). Beide Typen besiedeln verschiedene Habitate, wie z. B. Laubwälder oder Moore. Die meisten Arten sind zur Fortpflanzung auf das Vorhandensein von Gewässern angewiesen, in denen sie ihre Eier ablegen. Zudem bevorzugen sie generell feuchte Habitate, da ihre nackte, wenig verhornte Haut kaum Verdunstungsschutz bietet. Die Verbreitung und Ökologie dieser hinsichtlich ihrer Artenzahl relativ kleinen Tiergruppe (22 etablierte Taxa in Deutschland) sind gut untersucht und dokumentiert. Es existieren verschiedene Arbeitskreise, die sich auch mit dem Schutz dieser Artengruppe befassen, wie z. B. der AK Herpetofauna NRW (Gland 2011, Kühnel et al. 2009, Nöllert & Nöllert 1992, <http://herpetofauna-nrw.de/>, aufgerufen am 21.11.2019).

Aktuell werden in der gesamtdeutschen Roten Liste 40 % (d. h. 8 von 20 Spezies) aller bewerteten, autochthonen Amphibienarten als „stark gefährdet“, „gefährdet“ oder als „in unbekanntem Ausmaß gefährdet“ geführt. Als Gründe hierfür werden u. a. der Verlust von Laichgewässern, die Nutzungsintensivierung in der Landwirtschaft und Schadstoffeinträge in Gewässer genannt (Kühnel et al. 2009). Es konnte bereits gezeigt werden, dass PSM-

Anwendungen direkte toxische Effekte auf Amphibien aufweisen, da diese u. a. aufgrund ihrer durchlässigen Haut und ihres aquatisch-terrestrischen Lebenszyklus besonders anfällig gegenüber Schadstoffeinträgen sind. Aber auch indirekte Effekte wurden beschrieben, wie z. B. Änderungen der Nahrungsnetze in Gewässern durch PSM-Einflüsse, was wiederum die Nahrungsquellen der Kaulquappen negativ verändert (Gill & Garg 2014). Aufgrund dieser Anfälligkeit der Amphibien gegenüber PSM wird empfohlen, diese Tiergruppe in das IMoP aufzunehmen.

In NRW wurde bereits eine standardisierte Methodik entwickelt, um Amphibien im Rahmen Artenschutzrechtlicher Prüfungen (ASP) zu kartieren. Ein Leitfaden dazu ist online zugänglich und sollte als Grundlage für die Erprobungen der Amphibienkartierungen im IMoP herangezogen werden (LANUV 2019d). Darüber hinaus sollten Experten und Expertinnen in die Planungen eingebunden werden, die mit der Kartierung dieser Tiergruppe gut vertraut sind.

Fledermäuse (Gehölze)

Synergien: Monitoring von Fledermäusen in NRW, LANUV

Nachdem in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ein dramatischer Rückgang der Fledermauspopulationen (Fledermäuse, Microchiroptera) aufgrund menschlicher Aktivitäten (z. B. Vereinheitlichung der Landschaft, Vernichtung von Quartieren, Schadstoffbelastungen) in Deutschland stattfand, ist seit einigen Jahrzehnten eine Wiedererholung einiger Arten festzustellen. Als Gründe für diese teilweise Wiedererholung werden Naturschutzmaßnahmen, Klimaänderungen sowie ein allmähliches Verschwinden von DDT sowie seiner Metaboliten aufgeführt. Allerdings gilt dies nicht für alle Fledermausarten und auch die Arten mit zunehmenden Beständen erreichen bei weitem noch nicht die Zahlen, die zu Beginn des 20. Jahrhunderts vorhanden waren (Meinig et al. 2009, 2011). Nach Jones et al. (2009) eignen sich die Fledermäuse gut als Indikatororganismen, die eine Intensivierung der Landwirtschaft anzeigen. Durch großflächigen Anbau von Monokulturen fallen artenreiche Hecken und Feldraine weg, an denen sich Insekten sammeln und dort von den Fledermäusen gejagt werden. Auch der Einsatz von PSM wirkt sich sowohl direkt als auch indirekt auf Fledermäuse aus. Zum einen stehen Fledermäuse relativ weit oben in der Nahrungskette, in der sich Schadstoffe anreichern und subletale bis letale Effekte bewirken können, zum anderen bewirken beispielsweise Insektizide einen Rückgang von Beutetieren (Gill & Garg 2014, Jones et al. 2009). Daher ist ein Monitoring von Fledermäusen im Zusammenhang mit einem PSM-Monitoring zu empfehlen.

Wie auch für die Amphibien (s. o.) wurde auch für die Fledermäuse eine Methodik entwickelt, um diese Tiergruppe standardisiert zu erfassen (LANUV 2019d). Um diese in das IMoP aufzunehmen, sollten hierzu ab Stufe 3 Erprobungen auf den iBRSF stattfinden. Um die Methodik entsprechend anzupassen, sollten Expertinnen und Experten hinzugezogen werden. Diese sind in verschiedenen Arbeitskreisen aktiv, wie beispielsweise dem Arbeitskreis Fledermäuse Sachsen-Anhalt e.V. und organisieren das „Monitoring Fledermauszug in Deutschland“ (siehe Kap. 2.1.6.).

5.3.2 Pflanzenschutzmittel

In der dritten Stufe der PSM-Messungen sollten die erprobten Endpunkte der Nahrungsnetzuntersuchungen, deren allgemeine Anwendbarkeit in der Methodenentwicklung nachgewiesen werden konnten, als standardisierte Beprobungs-Methodik der BAF etabliert werden (Tabelle 10).

Tabelle 10: Endpunkte und Messgrößen für PSM-Rückstände und -Aufwandmengen im Rahmen des integrierten Monitorings – Stufe 3

Nr.	Skala	Landschaftselement im Biotop-Komplex	Methode	Endpunkt
1	BRSF, BAF	Alle	Beprobung Organismen/Nahrungsnetz	mg a.i./kg dw
2	BRSF	Acker	Anonymisierte Spritzserieninformation pro km ²	Spritzserieninformation pro km ² (Produkte, Wirkstoffmengen, Aufwandmengen)
<i>Methodenentwicklung</i>				
3	iBAF	Alle	<i>Anpassung der Gesamtmethodik an den aktuellen Stand der Forschung</i>	-

Auf den iBAF-Flächen ab der dritten Stufe sollen zukünftige Analysemethoden für ein standardisiertes Monitoring erprobt werden. Dabei sind vor allem Methoden zu berücksichtigen, die bei gleichem oder geringerem Aufwand mehr Substanzen detektieren können. Es wird zudem erwartet, dass im Bereich der chemischen Analytik von Umweltproben in den kommenden Jahren weitere Verschiebungen der Nachweisgrenzen, gekoppelte Screeningmethoden unterschiedlicher Substanzklassen und damit leistungsstärkere, kostengünstigere Messmethoden erarbeitet werden. Die Anwendbarkeit dieser Methoden sollte auf den iBAF-Flächen im Hinblick auf ein bundesweites Monitoring kontinuierlich erprobt und vielversprechende Ansätze auf diese Weise für die flächendeckende Anwendung vorbereitet werden.

Darüber hinaus könnte die Beprobung komplexerer Landschaftssituationen in Erwägung gezogen werden, als es in dem definierten Biotop-Komplex des Monitoring-Konzepts zum jetzigen Zeitpunkt geplant ist. So könnten innerhalb eines Biotop-Komplexes beispielsweise mindestens zwei verschiedene, aus Naturschutzsicht höherwertige Landschaftselemente (Gehölz, Feldrain, Uferstruktur) in gemeinsamer, unmittelbarer Nähe zum Ackerland beprobt werden. In diesem Zusammenhang könnten auch direkte Synergien zu Monitoring-Ansätzen von Kleingewässern in Deutschland geschaffen und genutzt werden (UBA 2017). Desweiteren wird es als sinnvoll erachtet, zukünftig die Pestizidbelastung in der Luft zu untersuchen. Pestizide gelangen durch Verflüchtigung und Winderosion während und nach der Applikation in die Luft (Mast et al. 2012). Dabei können manche Substanzen auch über größere Distanzen verfrachtet werden (Yang et al. 2016). Zur Untersuchung dieser Verfrachtung können unter anderem Flechtenproben, aber auch Moosproben, Rindenproben, Vegetationsproben oder *Passive Air Samplers* verwendet werden (Hofmann & Schlechtriemen 2015, Hofmann et al. 2019). Flechten akkumulieren die Substanzen oft über einen längeren Zeitraum, wodurch der genaue Belastungszeitraum unbekannt ist. Bei *Passive Samplern* ist der Beprobungszeitraum hingegen bekannt. Eine Studie von Schrlau et al. (2011) konnte zeigen, dass die Zusammensetzung der gefundenen Substanzen unter anderem von der verwendeten Probeart abhängt. Somit konnten mit einer Flechtenprobe und einem XAD-based *Passive Air Sampler* unterschiedliche Substanzzusammensetzungen detektiert werden. Eine weitere Möglichkeit zur Untersuchung der Luftverfrachtung sind Niederschlagsproben (Schrlau et al. 2011).

Die Anwendung der Pestizide als Sprühapplikation ist gängige Praxis und daher ist eine Untersuchung der Luftbelastung durch Pestizide ein wichtiger Aspekt der Expositionsabschätzung.

Wünschenswert wäre, langfristig aus den integrierten Monitoring-Ergebnissen der Biodiversitäts- und PSM-Muster Schwellenwerte als Mindeststandards für die lebensraumbezogene Biodiversität abzuleiten. Daraus könnten dann ebenso Umweltkonzentrationen quantifiziert werden, ab denen eine Verarmung der Lebensgemeinschaften erwartet werden kann und die in letzter Konsequenz zu realistischen, biodiversitätsverträglichen PSM-Expositionen in der Landschaft führen. Hierbei sind allerdings viele verschiedene Aspekte zu berücksichtigen, wie beispielsweise Standortparameter, Kulturen, Vernetzungsstruktur ökologisch und konventionell bearbeiteter Landwirtschaftsflächen, Grundwasserspiegel, Bodeneigenschaften etc., so dass es einer klugen und umfassenden Forschungsstrategie bedarf.

5.4 Mögliche Verschneidungs- und Auswertungsebenen erhobener Daten

Um Effekte von Pflanzenschutzmitteln auf die Biodiversität zu erfassen, ist die Betrachtung verschiedener Skalen- bzw. Wirkungsebenen, in denen Effekte sichtbar werden, notwendig. Der vorliegende Ansatz berücksichtigt diese Skalenebenen durch die Einbindung einerseits konkreter räumlicher Wirkungsgefüge (BAF) und andererseits der höheren räumlichen Skalenebene einer BRSF. Sowohl Pestiziddaten als auch die für die jeweiligen Fragestellungen erhobenen Biodiversitätsdaten können bzw. müssen einer dieser beiden Skalenebenen zugeordnet werden und können entsprechend nur auf dieser Ebene ausgewertet werden. Abbildung 11 bietet einen Überblick, welche der in Kapitel 5 aufgeführten Pestizidindikatoren mit welchen Biodiversitätsindikatoren verschnitten und ausgewertet werden können. Des Weiteren wird aufgezeigt, welche sonstigen Indikatoren aus bereits existierenden Monitoringprogrammen ggf. einbezogen werden könnten.

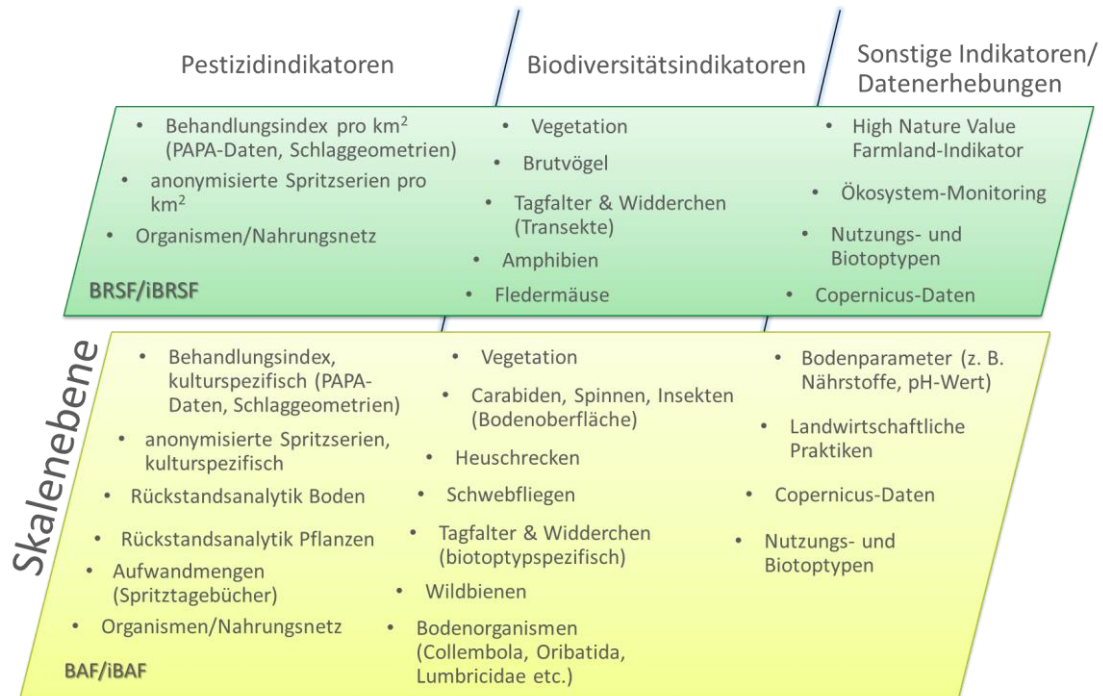
Auf der Ebene der 1 km² großen BRSF können die aus repräsentativen Erhebungen gewonnenen kulturspezifischen PAPA-Daten als erste Näherung genutzt werden. Des Weiteren würden hier konkrete regionalspezifische Aufwandmengen, anonymisiert auf 1 km², zu exakteren Werten führen. Auf Seiten der Biodiversität können Artengruppen mit hoher Mobilität mit diesen Daten verschnitten werden. Dazu gehören Daten zu Vögeln, Fledermäusen und Amphibien, die auf der gesamten BRSF erhoben werden und deren Erfassung auf der Ebene der BAF als nicht sinnvoll erscheint. Hinzu kommen die Tagfaltererhebungen, die ebenfalls bereits als Transektbegehungen in jeweils einer gesamten BRSF stattfinden. Informationen des HNV Farmland-Indikators sowie aus dem Ökosystem-Monitoring bieten ebenfalls auf dieser Ebene große Synergien. Es ist davon auszugehen, dass diese Programme zukünftig auch den Copernicus-Service, der enorme Potentiale bietet, einbinden. Die Nutzung dieses Programms ist auch im vorliegenden Konzept für beide Skalenebenen (BAF und BRSF) denkbar.

Auf der Ebene der BAF werden explizite standortgenaue Daten benötigt. Als Näherung für die Exposition von Pestiziden können hier kulturspezifische PAPA-Daten mit den bei den Landwirtschaftsämtern vorliegenden Schlaggeometrien (Kultur/Jahr/Schlag) verschnitten werden. Des Weiteren könnten auch explizite Spritzserien von den Landwirtinnen und Landwirten abgefragt und anonymisiert verwendet werden. Als Biodiversitätsindikatoren eignen sich die Erfassungen von Biomasse und Individuenzahlen verschiedener Insektengruppen (Carabiden, Heuschrecken, Schwebfliegen, Bienen) sowie Spinnen. Ebenso lassen sich endogäische Bodenorganismen (Regenwürmer, Oribatiden, Collembolen etc.) auf dieser Ebene in das Programm integrieren. Standortgenaue Vegetationsaufnahmen sowie die

Erfassung der Bodenkennwerte sind in den verschiedenen Lebensräumen als biotoptypenspezifisches Charakteristikum von besonderer Bedeutung. Neben diesen sollen auch die Bewirtschaftungspraktiken als Variablen erfasst werden.

Im Laufe der Umsetzung des Konzepts wird es darüber hinaus möglich sein, auf der Ebene der BAF, d. h. durch die Reihenuntersuchungen in den BAF-Replikaten, regional spezifische, kulturbezogene Aufwanddaten bzw. Indikatoren für Pestizide abzuleiten, anhand derer anschließend auf die Ebene der BRSF hochgerechnet werden kann.

Abbildung 11: Einordnung der verschiedenen Meßindikatoren in die verschiedenen räumlichen Skalenebenen, in denen eine gemeinsame Auswertung möglich ist

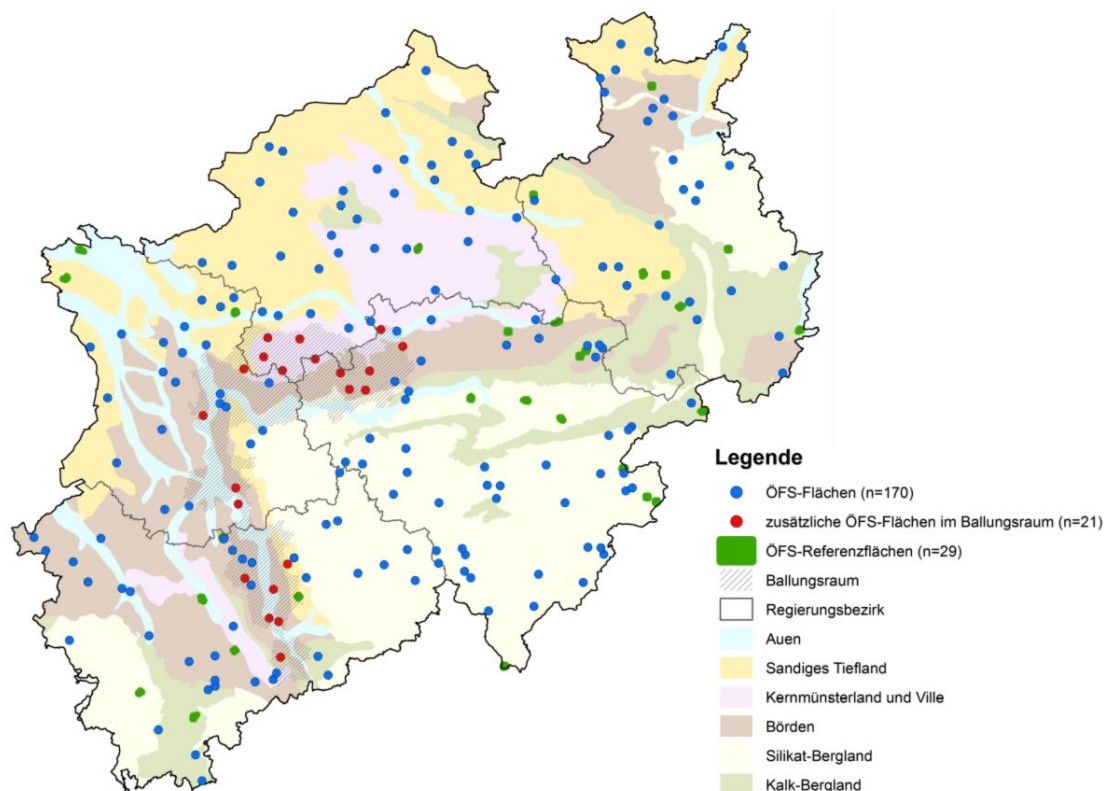


Quelle: eigene Darstellung, gaia Forschungsinstitut / Institut für Umweltforschung, RWTH University

5.5 Beispielszenario BAF-Monitoring auf einer BRSF in Nordrhein-Westfalen

Die Entwicklung und Verschneidung der zu erhebenden Daten wird in diesem Kapitel exemplarisch an einer existierenden BRSF erprobt. Dabei werden die in Nordrhein-Westfalen zur Verfügung stehenden Daten aus der ÖFS (die auf der BRSF erhoben wurden) identifiziert, die Datenhandhabung und -haltung analysiert und ihre Nutzbarkeit im Kontext des integrierten Monitoringkonzepts eruiert. Die Datenhoheit zu den durchgeführten Biodiversitätsmonitorings auf BRSF in Nordrhein-Westfalen obliegt dem Landesamt für Natur, Umwelt- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (LANUV, Fachbereich 25: Monitoring, Effizienzkontrolle in Naturschutz und Landschaftspflege). Durch eine enge Zusammenarbeit des Projektkonsortiums mit dem entsprechenden Fachbereich des LANUV konnte die Entwicklung eines exemplarischen integrierten Monitorings auf einer existierenden BRSF ermöglicht werden. Hierzu wurden vom LANUV freundlicherweise die Lage einer BRSF/ÖFS, Informationen zur räumlichen Biotopanordnung sowie zum Management der aufgenommenen Biodiversitätsdaten zur Verfügung gestellt. Aufgrund des Schutzes vor ungewollten Eingriffen liegen der Öffentlichkeit die räumlich-expliziten Informationen zu den BRSF in der Regel nicht vor.

Abbildung 12: Lage der 191 bundesweit repräsentativen Stichprobenflächen (BRSF) in Nordrhein-Westfalen innerhalb der differenzierten Landschaftsräume. Eine BRSF dieser Flächen wurde für die exemplarische Darstellung des Monitoringkonzepts anhand eines konkreten Flächenbezugs genutzt.



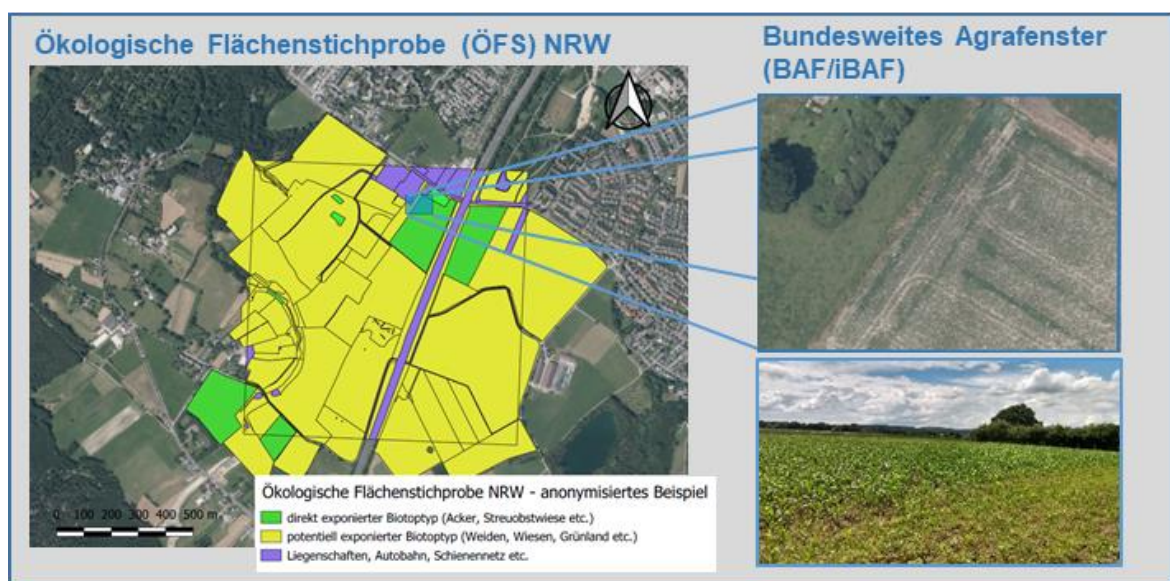
Quelle: https://biodiversitaetsmonitoring.nrw/monitoring/web/babel/media/karte_untersuchungsflaechen_oefs.png

Abbildung 12 zeigt die gesamte Kulisse der BRSF in den Landschaftsräumen in Nordrhein-Westfalen. Das Grundprogramm des LANUV umfasst dabei 170 Flächen mit einer Größe von jeweils 100 ha (1 km²). Das Monitoring wurde zusätzlich mit 21 Zufallsflächen aus dem klimasensitiven Ballungsraum Rhein-Ruhr und 29 Referenzflächen in Naturschutzgebieten ergänzt (diese werden in dem Beispielszenario nicht berücksichtigt) sodass 0,5 % der Landesfläche NRW beprobt werden.

Zu den Erfassungsparametern der ÖFS in NRW gehören die Nutzungs- und Biotoptypen, sowie deren charakterisierende Strukturen, Pflanzengesellschaften und Biotopwerte, alle Gefäßpflanzen, sowie ausgewählte Zielarten (u. a. Säugetiere, Amphibien und Reptilien, Tagfalter und Widderchen sowie Heuschrecken).

Die flächenscharfe Biotopausstattung des BRSF-Beispielszenarios in Nordrhein-Westfalen und das daraus extrahierte BAF ist in Abbildung 13 illustriert. Aus Datenschutzgründen wird an dieser Stelle auf eine genauere Ortsbeschreibung verzichtet.

Abbildung 13: Anonymisiertes Beispiel einer Ökologischen Flächenstichprobe (ÖFS) auf einem Areal der BRSF in NRW. Auf der vorhandenen BRSF wird ein BAF/iBAF eingerichtet, das einen für das Monitoring relevanten Biotopkomplex (siehe Kapitel 4.2) enthält (rechte Seite). Für das Beispielszenario wurde ein Acker-Grünland-Komplex identifiziert.



Quelle: eigene Darstellung, Institut für Umweltforschung, RWTH University

Die vorliegende BRSF besteht überwiegend aus nicht direkt, sondern potentiell exponierten Biotoptypen wie Fett-Mähweiden, Fettwiesen, Fettweiden und Magerweiden. Direkt exponierte Äcker oder Streuobstwiesen sind vergleichsweise selten. Zum Kennenlernen und zur praktischen Auswahl eines Biotopkomplexes als BAF-Szenario wurde am 19.06.2020 eine Feldbegehung der BRSF durch das Projektkonsortium durchgeführt. Trotz einer relativ geringen Ackerlandfläche auf der BRSF (Abbildung 13, grün markiert), konnte ein geeigneter Acker-Feldrain/Grünland-Biotopkomplex zur Installation einer BAF/iBAF identifiziert werden (Abbildung 13, rechts). Die räumliche Situation des Biotopkomplexes (Maisfeld mit Feldrain & angrenzendem Grünland) ist in Abbildung 14 zu sehen.

Abbildung 14: Ausgewählter Biotopkomplex „Acker - Grünland“ als BAF/iBAF-Ausschnitt der zu untersuchenden BRSF (Acker: rot; Feldrain/Grünland: blau gekennzeichnet).








Quelle: eigene Darstellung, Institut für Umweltforschung, RWTH University

Die Auswahlkriterien zur Einrichtung eines passenden Biotopkomplexes auf einer BRSF werden in Kapitel 6.1. nähergehend erläutert. Das hier dargestellte BAF besitzt in vielerlei Hinsicht und mit Blick auf die bevorzugte Ausstattung der Monitoringgebiete Eigenschaften (räumlicher Biotopkomplex, off crop Grünland vs. Acker, Flächengröße etc.), die für die Auswahl eines entsprechenden Biotopkomplexes passend und sinnvoll erscheinen. Es handelt sich dabei um einen typischen Acker-Grünland-Biotopkomplex. Die Einbettung in die landschaftliche Struktur des Naturraums und die Anbaukultur des Ackers (Mais) entspricht nach der Einschätzung des Projektkonsortiums einer repräsentativen Situation der dortigen Agrarlandschaft. Eine Prüfung kann durch vergleichende Analysen mit Hilfe von INVEKOS Datensätzen erfolgen.

Die anschließend auf dem BAF/iBAF in Stufe 1 des Monitoringkonzepts zu realisierenden Beobachtungsmaßnahmen werden räumlich explizit in Abbildung 15 visualisiert.

Abbildung 15: Beispielhafte Darstellung der umzusetzenden Maßnahmen auf den BAF/iBAF im Biodiversitäts- und Pflanzenschutzmittelmonitoring der Stufe 1.

Stufe 1	BAF	iBAF
Biodiversitäts-Monitoring	<p>Bodenfallen*: Laufkäfer, Spinnen, Insekten</p> <p>Fangquadrate: Heuschrecken (n=15)</p> <p>+ Transecte BAF (nicht eingezeichnet): Tagfalter & Widderchen</p> <p>+ zus. Daten BRSF (nicht eingez.): Biotoptypen Vegetation</p> <p><small>*Ausbringung Frühjahr & Herbst für je sechs Wochen</small></p> 	<p>Zusätzlich zu den BAF-Messungen</p> <p>Bodenkerne*: Bodenorganismen Bsp. Collembolen, Oribatiden, Lumbriciden</p> <p>+ zus. Daten iBRSF (nicht eingez.): Brutvogelmonitoring</p> <p><small>*drei Wiederholungen pro Messreihe / Vegetationsperiode</small></p> 
Pflanzenschutzmittel-Monitoring	<p>Rückstandsmessung*: Vegetation Boden</p> <p>+ zus. Daten BAF (nicht eingezeichnet): Behandlungsindex pro Kultur (PAPA-Daten und Schlaggeometrien)</p> <p><small>*drei Wiederholungen pro Messreihe / Vegetationsperiode</small></p> 	<p>Rückstandsmessung*: Vegetation Boden (Acker: Vertikalbeprobung)</p> <p>+ zus. BAF (nicht eingezeichnet): Aufwandsmengen a.i. für den spezif. Acker</p> <p>+ zus. iBRSF (nicht eingezeichnet): Behandlungsindex pro km² (PAPA-Daten und Schlaggeometrien)</p> <p><small>*zeitl. Verdichtung: jährliche Messung, mdst. acht Wiederholungen pro Messreihe / Vegetationsperiode ggf. zusätzliche PSM/Metabolite</small></p> 
Standort- und Bewirtschaftungsfaktoren	<p>Bodenzustandsmessungen: u.a. pH, C/N, N-Gesamt, C_{org}, Phosphor, Carbonat etc.</p> <p>+ zus. Daten BRSF (nicht eingezeichnet): Infos Anbaukulturen, Bodenbearbeitung, Düngungsform etc.</p> 	<p>derzeit keine zusätzlichen Messungen zu den BAF geplant</p>

Quelle: eigene Darstellung, gaic Forschungsinstitut / Institut für Umweltforschung, RWTH University

Die Verwendung bereits vorhandener Biodiversitätsdaten aus bestehenden Vorhaben zur Nutzbarmachung von Synergien ist ein Kernanliegen des entwickelten Konzepts. In der Stufe 1 wird dies unter anderem bei der Nutzung der Vegetations- und Biotoptypendaten auf den BRSF sichtbar. Diese bilden eine wertvolle Grundlage z. B. für die Festlegung der BAF. Auch die derzeit erhobenen Daten der Insektenerfassungen zu Heuschrecken sowie Tagfalter- und Widderchen-Monitoring auf den BRSF-Flächen können für den integrierten Monitoringansatz genutzt werden. Im IMoP besteht ein erhöhter Kooperations- und Absprachebedarf, da die genutzten Transecte in einer direkten räumlichen Nähe zu den BAF/iBAF liegen sollten. Ebenfalls nutzbar sind Daten aus stichprobenartig begonnenen Aktivitäten, wie beispielsweise dem Heuschreckenmonitoring (in Baden-Württemberg käme an dieser Stelle das Laufkäfer-Monitoring [incl. Spinnen und sonstige Bodenarthropoden] hinzu). Auf den

iBRSF soll zudem die Nutzbarkeit der Daten aus dem Brutvogelmonitoring in Verschneidung mit Behandlungsindices pro km² (iBRSF-Ebene) erprobt werden.

Die konkrete Datennutzung aus bestehenden Programmen unter der Berücksichtigung aktueller Vorgehensweisen der Datenhaltung in NRW ist in Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zusammengefasst.

Tabelle 11: Übersicht über die aktuelle Datensituation der in Stufe 1 geplanten Monitoringmodule in Nordrhein-Westfalen; Grün: hohe Synergien; Orange: mittlere Synergien, Rot: keine Synergien

BAF-Typ	Monitoring-Modul	Gruppe	Datensituation NRW – LANUV	Anmerkungen zu Datenerheber, -nutzbarkeit und -ablage
BAF	Biodiversität	Vegetation	Flächenscharfe Identifikation der Gefäßpflanzen im Rahmen der ÖFS (jährliche Fortschreibung für 1/6 der ÖFS); kein zusätzlicher Bedarf für das IMoP	Urheber: LANUV; Format: relationale Access-Datenbank; Verknüpfung mit assoziiertem Biotoptyp
BAF	Biodiversität	Biotoptypen	Flächenscharfe Aufnahme im Rahmen der ÖFS (jährliche Fortschreibung für 1/6 der ÖFS);); kein zusätzlicher Bedarf für das IMoP	Urheber: LANUV; Format: relationale Access-Datenbank, gekoppelt mit GIS-Software
BAF	Biodiversität	Heuschrecken	Piloterfassung auf Unterstichprobe im Rahmen der ÖFS (n=120); Methodik für die BAF bzw. das IMoP ist zu klären	Urheber: LANUV; Format: relationale Access-Datenbank, flächenspezifisch für Grünland
BAF	Biodiversität	Laufkäfer und Spinnen	Bisher keine Datenerhebung im Rahmen der ÖFS, Leitfaden des BfN für zukünftige Aktivitäten liegt bereits vor	im BfN-Leitfaden weitere Informationen verfügbar
BAF	Biodiversität	Tagfalter & Widderchen	Piloterfassung im Rahmen der ÖFS	Urheber: LANUV; Format: relationale Access-Datenbank
BAF	Biodiversität	Biomasse flugaktiver Insekten	Auf Unterstichprobe im Rahmen der ÖFS durchgeführt (n=60)	Urheber: LANUV; Format: relationale Access-Datenbank; Punktgenaue Verortung
iBAF	Biodiversität	Bodenorganismen	Bisher keine Datenerhebung auf BRSF NRW	
iBRSF	Biodiversität	Brutvögel	Erfassung im Rahmen der ÖFS (jährliche Fortschreibung für 1/6 der ÖFS)	Urheber: LANUV; Format: relationale Access-Datenbank
BAF	PSM	Vegetation &	Bisher keine Datenerhebung auf	

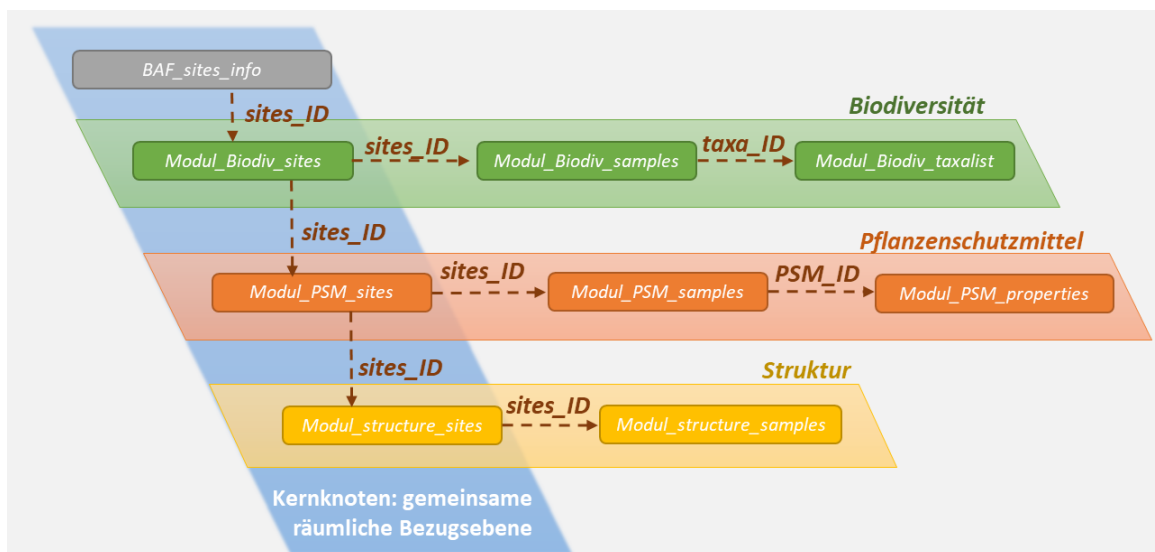
BAF-Typ	Monitoring-Modul	Gruppe	Datensituation NRW – LANUV	Anmerkungen zu Datenerheber, -nutzbarkeit und -ablage
		Boden	BRSF NRW	
BAF	PSM	Behandlungsindices pro Kultur	Bisher keine Datenerhebung auf BRSF NRW	
iBAF	PSM	Vegetation & Boden	Bisher keine Datenerhebung auf BRSF NRW	
iBAF	PSM	Abfrage Aufwand-mengen BAF	Bisher keine Datenerhebung auf BRSF NRW	
iBRSF	PSM	Behandlungsindices pro km ²	Bisher keine Datenerhebung auf BRSF NRW	
BAF	Standort-faktoren	abiotische Bodenzustands-messungen	Bisher keine Datenerhebung auf BRSF NRW	

Die Daten des Biodiversitätsmonitorings NRW liegen aktuell im Landesamt in einer Access-Datenbank vor, die an ein GIS (Programm Gispad) geknüpft ist. Die Datenhaltung der Biodiversitätsdaten ist im LANUV jeweils in Form einer relationalen Datenbank angelegt. Die Informationen sind für eine Weiterverarbeitung im IMoP somit prinzipiell nutzbar.

Für die Erarbeitung einer Gesamtstruktur der Datenbank in diesem Konzept ist es jedoch essentiell, dass mit einer geeigneten Variablenverknüpfung eine Durchlässigkeit innerhalb der Monitoringmodule (Biodiversität, Pflanzenschutzmittel, Struktur) generiert wird und die Informationen entsprechend des OLAP-Würfels (Kapitel 3.4, Abbildung 8) in unterschiedlicher Fragestellung kombiniert und genutzt werden können. Desweiteren sollte diese Stringenz in der Datenbankstruktur perspektivisch auch zwingend von allen Partnern des Monitoringkonzepts, die an der Datenhaltung beteiligt sind, übernommen werden. Hier sind voraussichtlich vor allem die Landesämter in ihrer Datenhoheit angesprochen. Ein möglicher Aufbau der zu entwickelnden Gesamt-Datenbank wird im Folgenden vorgestellt:

Auf die informationstechnischen Spezifikationen und Sicherheitsvorkehrungen der serverbasierten Datenbanklösung wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen. Ein Fokus liegt auf dem inhaltlichen und strukturellen Aufbau der Datenbank. Das Konzept der Datenbankstruktur orientiert sich an den formulierten Anforderungen an ein einheitliches Datenmanagement für das IMoP (Kapitel 3.4). Ein so erarbeitetes mögliches Konzept zur Datenbankstruktur ist in Abbildung 16 dargestellt.

Abbildung 16: Konzept einer Datenbankstruktur mit strukturellen Verknüpfungen zwischen einzelnen Monitoringmodulen und -tabellen innerhalb des integrierten Monitoringansatzes.



Quelle: eigene Darstellung, Institut für Umweltforschung, RWTH University

Die Struktur der Datenbank sollte in Form eines einfachen, relationalen Datenmodells aufgebaut werden, das den Herausforderungen für räumlich-zeitliche Datenablagen und -abfragen genügt (Pistocchi 2014). Die Datenbank ist entsprechend des konsistenten Monitoringkonzepts (siehe Kapitel 3) in drei Hauptmodule gegliedert (Biodiversitäts-, Pflanzenschutzmittel- und räumlich-strukturelle Daten). Jeder dieser Bestandteile beinhaltet mehrere Tabellen (Abbildung 16).

Als gemeinsame Klammer sollten die Informationen zu den gemeinsamen Standorten (Biotopebene der BAF-Biotopkomplexe) als separate Tabelle abgelegt werden. Neben allgemeinen Standortinformationen werden hier auch Informationen zur Messstelle, der BAF-Typ (BAF oder iBAF, Variable „Site_BAF_or_iBAF“), sowie der assoziierte Biotopkomplex (Variable „Site_Biotopkomplex“) beschrieben. Eine Verknüpfung zwischen den drei Monitoringmodulen erfolgt über dieses gemeinsame räumliche Bezugssystem, das durch eine eindeutige Standortkennzeichnung (Variable „sites_ID“) in allen Datenbankteilen sichergestellt wird.

Die Daten des Biodiversitätsmonitorings werden nach diesem Konzept in mindestens drei Tabellen (Standorte (sites), Proben (samples), Taxonomie) organisiert. Der beobachtete Biototyp (Variable „Biotop“) wird dabei als notwendige Information des Standorts abgelegt. Die Tabelle zur Einzelprobe („Modul_Biodiv_samples“) beinhaltet Variablen zum Datum, Dauer und Typ der Beprobung, Replikatnummer, betrachtete Lebensgemeinschaft, beprobte Taxa usw.. Über die abgelegte Taxa-ID sollte zudem eine Verknüpfung zur europäischen Taxaliste als Referenz hergestellt werden.

Die Datenbankstruktur zu den chemischen Daten wird in ähnlicher Weise aufgebaut. Hier können sowohl gemessene, als auch bei Landwirten und Landwirtinnen abgefragte Informationen zu Aufwandmengen abgelegt werden, dies wird entsprechend gekennzeichnet (Variable „Sample_Typ“). Über die Wirkstoff-ID werden zudem Metadaten zu den jeweiligen Substanzeigenschaften abgelegt („Modul_PSM_properties“). Neben physikochemischen Kennwerten gehören dazu auch ökotoxikologische Endpunkte, die eine Weiterverarbeitung der Daten (z. B. Berechnung von Behandlungsindices, Toxic Units usw.) im Hinblick auf die

Monitoringziele ermöglichen. Ein Überblick über die Datenbankstruktur und den anzulegenden Variablen ist im Anhang, Tabelle A2 dargestellt.

Über diese relativ einfache, relationale Struktur der Datenbank soll sichergestellt werden, dass somit Altdaten aus den verschiedenen Monitoringaktivitäten möglichst unkompliziert integriert werden können. Zudem bildet diese Datenbankstruktur die Grundlage für eine bundeslandübergreifende Verarbeitung der Monitoringdaten, selbst wenn die Daten weiterhin dezentral in den Landesämtern gespeichert werden. Eine gemeinsame Strategie aller Landesbehörden ist bei der strukturellen Erarbeitung der Datenbank jedoch eine unerlässliche Voraussetzung.

6 Strategie zur strukturellen Umsetzung

6.1 Einrichtung der BAFs und iBAFs

Bei der Auswahl und Einrichtung der BAF und iBAF müssen verschiedene Kriterien beachtet sowie mehrere notwendige Arbeitsschritte vorgenommen werden. Die Kriterien umfassen dabei

A: die Repräsentativität der Flächen: Da die bundesweiten BRSF bereits in einem statistischen Verfahren ermittelt wurden, ist von einer repräsentativen Verteilung der Flächen in den Bundesländern sowie den verschiedenen naturräumlichen Einheiten Deutschlands auszugehen (siehe Kap. 2.1.1).

Ein BAF besteht immer aus einem Acker in Verbindung mit einer Randstruktur (Gehölz, Feldrain oder Uferstreifen, siehe Kap. 4.3) innerhalb einer BRSF. Um bundesweit repräsentative Aussagen treffen zu können, sollten diese Randstrukturen der Äcker in einem möglichst ausgeglichenen Verhältnis über die Landschaftsräume verteilt und dauerhaft eingerichtet werden. Auf den dazugehörigen Äckern dagegen ist es nicht möglich, bestimmte Anbaukulturen, wie z. B. Weizen, Raps oder Kartoffeln, für ein BAF dauerhaft festzulegen, da zumeist verschiedene Fruchtfolgen angebaut werden. Es ist jedoch zu erwarten, dass durch die große Zahl der BAF eine repräsentative Abdeckung zumindest der häufigen Anbaukulturen gewährleistet ist.

B: die Homogenität der Äcker und Randstrukturen: Um die statistische Aussagekraft des Monitorings zu erhöhen, sollten möglichst homogene Strukturen ausgewählt werden; gleichzeitig ist es wichtig, typische Landschaftsstrukturen innerhalb der verschiedenen Landschaftsräume zu untersuchen. Diese verschiedenen Aspekte sind bei der Flächenauswahl zu berücksichtigen.

C: die Nutzung von Synergien: In einigen Bundesländern werden auf den BRSF im Rahmen diverser Monitoring-Vorhaben bereits Daten beispielsweise zu verschiedenen taxonomischen Gruppen oder zu Biotoptypen erhoben (siehe Kap. 2.1.1, Kap. 5). Die Daten aus den bestehenden Erhebungen sollen in das IMoP einfließen, sie müssen jedoch entsprechend des Konzepts teilweise umfassend ergänzt werden.

Aufgrund dieser drei Kriterien ist es notwendig, die BAF und iBAF von einer zentralen, bundesweit agierenden Stelle aus einzurichten. Dabei ist eine intensive Zusammenarbeit mit den Landesbehörden sowie den Landwirten/Landwirtinnen und den Grundstückseigentümer-innen/Grundstückseigentümern von Vorteil. Die Arbeitsschritte zur Einrichtung der BAFs und iBAFs lassen sich wie folgt skizzieren:

1. Kontaktaufnahme mit den Landesbehörden (BRSF-Betreibern) eines jeden Bundeslands:
 - ▶ Ermittlung der entsprechenden Ansprechpartner/Ansprechpartnerinnen innerhalb der Behörden
 - ▶ Bereitschaft zur Zusammenarbeit klären
 - ▶ Bearbeitung der folgenden Fragestellungen:
 - Welche Monitoring-Aktivitäten werden bereits durchgeführt?
 - Wie lassen sich diese Aktivitäten in das PSM-Monitoring integrieren?
 - Welche Daten müssen ergänzend erhoben werden?

- Ist der Zugang zu den BRSF-Daten (Lage, Luftbilder etc.) gewährleistet?
- Welche weiteren Behörden müssen in die Planungen einbezogen werden (z. B. Landwirtschaftskammern)?

2. Auswahl der BAF:

- ▶ Analyse von Luftbildern hinsichtlich der Lage und Eignung der Flächen
 - es ist eine gleichmäßige Verteilung der drei Randstrukturtypen über die Bundesländer/Naturräume hinweg zu beachten
 - bestehende Datenerhebungen werden bei der Flächenauswahl berücksichtigt
- ▶ Auswahl zweier verschiedener möglicher Szenarien innerhalb einer BRSF
- ▶ Kontaktaufnahme und Informierung der Landwirte/Landwirtinnen und Eigentümerinnen/Eigentümer der Flächen (ggf. über die Landesbehörden)
- ▶ Zur Auswahl möglichst homogener bzw. typischer Landschaftsstrukturen ist eine Begehung vor Ort notwendig
- ▶ Einrichtung eines der beiden vorab ausgewählten Szenarien als BAF

3. Auswahl der iBAF:

- ▶ Erfolgt nach der Einrichtung der BAF, d. h. nachdem eine Übersicht über die BAF und die darin enthaltenen Szenarien (Acker – Gehölz, Acker – Feldrain, Acker – Uferstruktur) vorliegt
- ▶ 30 der insgesamt 735 BAF werden als iBAF ausgewiesen; dabei werden jeweils 10 BAF der drei unterschiedlichen Randstrukturtypen (Gehölz, Feldrain, Acker) ausgewählt (vgl. Kap. 4.4)
- ▶ Die iBAF werden so verteilt, dass in jedem der 13 Flächenbundesländer jeweils zwei bis drei der iBAF liegen
- ▶ Da die iBAF deutlich intensiver untersucht werden als die anderen BAF, sollten bei der Auswahl weitere Kriterien, wie beispielsweise die Lage und Erreichbarkeit der Flächen sowie eine besondere Bereitschaft der Landwirtinnen und Landwirte zur Mitarbeit berücksichtigt werden. Es sollte darauf geachtet werden, die iBAF nicht zu intensiv zu beproben und ggf. für Untersuchungen, die nicht notwendigerweise in der Stichprobenkulisse durchgeführt werden müssen, andere Flächen auszuwählen.

Da deutschlandweit etwa 735 BAF (BRSF mit Ackerflächenanteil) ausgewählt und eingerichtet werden sollen, sind die damit verbundenen Arbeiten als sehr umfangreich einzustufen. Zudem muss, auch über die Flächenauswahl hinaus, eine enge Kooperation mit den unterschiedlichen Landes- und Bundesbehörden erfolgen, da es zu erwarten ist, dass die Behörden viele weitergehende Fragen zur praktischen Umsetzung des Konzepts stellen und auch eigene Wünsche und Vorstellungen einbringen werden. Auch müssen zu Beginn der Untersuchungen Expertinnen und Experten der verschiedenen Tiergruppen befragt und in die Konzeption und Umsetzung des IMoP eingebunden werden (vgl. Kap. 5). Aus diesen Gründen ist zu empfehlen, die Einrichtung der BAF in einem eigenen Forschungs- und Entwicklungsprojekt durchzuführen.

6.2 Vernetzungsstruktur

Das vorliegende Konzept ist darauf ausgerichtet, deutschlandweit Daten zur Biodiversität, zum Einsatz von Pestiziden sowie verschiedenen Begleitparametern zu erheben und diese Daten länderübergreifend auszuwerten. Da die Datenerhebungen jedoch auf den BRSF stattfinden sollen, die durch die Behörden der Bundesländer betrieben werden, ist der Einsatz zentraler Koordinierungs- und Entscheidungsgremien notwendig. Die Schlüsselakteure, die eng miteinander vernetzt sind, bestehen dabei aus (siehe Abbildung 17):

- ▶ den BRSF-Betreibern (Landesbehörden)
- ▶ der Vernetzungsstelle
- ▶ der Bund-Länder-Steuerungsgruppe
- ▶ den Datennutzern und -nutzerinnen

Um Synergien verschiedener, teilweise bestehender Monitoringprogramme nutzen zu können, sollten die Daten möglichst von den BRSF-Betreibern, d. h. den Behörden der einzelnen Bundesländer, erhoben werden. Zudem sind die Bundesländer innerhalb des föderalen Systems in Deutschland für die Naturschutz- bzw. Monitoring-Aktivitäten zuständig (Bonn et al. 2018). Wichtig ist dabei, dass die Datenerhebungen entsprechend der vorher festgelegten methodischen Standards erfolgen und die Daten zudem in einem einheitlichen Format abgelegt werden. Die Landesbehörden können die verschiedenen Datenerhebungen an externe Auftragnehmer vergeben, sind jedoch die koordinierende Stelle innerhalb ihres Bundeslands und verfügen über die Datenhoheit. Es ist daher eine grundlegende Voraussetzung für die Nutzung der Synergieeffekte, dass die Landesbehörden die Verwendung ihrer Daten im IMoP befürworten. Zudem müssten die Landesbehörden bereit sein, ihre Probenahme um weitere notwendige Datenerhebungen zu ergänzen. Inwieweit auch bundesweit koordinierte Probenahmen einzelner Module, wie beispielsweise die Analytik-Probenahmen, möglich wären, sollte in den koordinierenden Gremien geklärt werden.

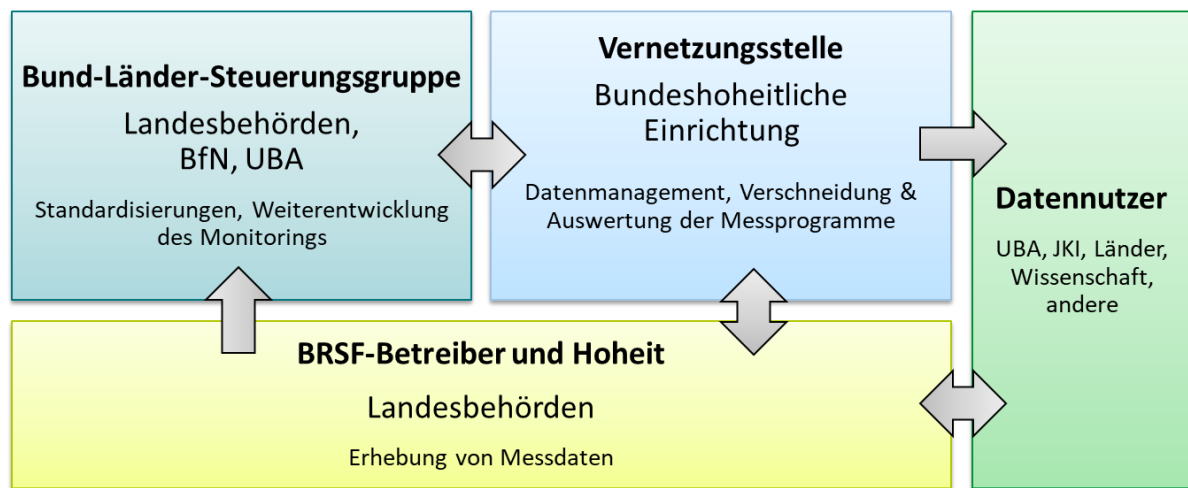
Um die in den Ländern erhobenen Daten im Hinblick auf die ökologischen Auswirkungen von Pestiziden zentral auswerten zu können, bedarf es einer übergeordneten Vernetzungsstelle. Diese bundeshoheitliche Einrichtung hat die Aufgabe, die Daten zentral zusammenzuführen und zu verwalten. Dazu wird ein Datenbanksystem benötigt, das den Ansprüchen einer solchen vernetzenden Institution gerecht wird (siehe Kap. 3.4). Eine weitere Aufgabe der Vernetzungsstelle ist das Verschneiden der verschiedenen Daten (z. B. Daten aus dem Biodiversitätsmonitoring und Pestizidmessungen) sowie deren Auswertung. Auch hinsichtlich der Vernetzungsstelle könnten ggf. Synergieeffekte genutzt werden, da beispielsweise durch das BfN derzeit ein neues nationales Monitoringzentrum aufgebaut wird.

Ein weiteres Gremium ist die Bund-Länder-Steuergruppe, die sich aus Vertreterinnen und Vertretern der Landesbehörden sowie des BfN und des UBA zusammensetzt. Zusätzlich sollten Expertinnen und Experten für verschiedene Tiergruppen hinzugezogen werden. Die Aufgaben dieser Gruppe umfassen die Erarbeitung von Standards, die im Rahmen der Datenerhebungen und Auswertungen eingehalten werden sollen sowie eine generelle Weiterentwicklung des Monitorings. Hierbei sind insbesondere die Planung der Untersuchungen auf den iBAF sowie die Entscheidungen, welche der erprobten Methoden in den jeweils folgenden Stufen auf den BAF übernommen werden, von zentraler Bedeutung.

Auf die Auswertungsergebnisse der Vernetzungsstelle können verschiedene externe Einrichtungen zugreifen, wie beispielsweise das UBA, das JKI, die Landesbehörden oder Institutionen aus Wissenschaft und Forschung. Da die Datenhoheit bei den Behörden der einzelnen Bundesländer liegt, können externe Datennutzer und -nutzerinnen auch bei den Landesbehörden die Bereitstellung von Rohdaten erfragen, um eigene Auswertungen durchzuführen. Die Bedingungen, unter denen Daten bzw. Ergebnisse zur Verfügung gestellt werden, müssen vor Beginn des IMoP ausgehandelt werden.

Für die Umsetzung des IMoP ist es wichtig, dass die Bund-Länder-Steuerungsgruppe, die Vernetzungsstelle und die BRSF-Betreiber (Landesbehörden) eng kooperieren. Hierdurch können einerseits neue Methoden, Entwicklungen und Ideen in den Bundesländern umgesetzt und andererseits Rückmeldungen zu Problemen und Verbesserungsvorschlägen in den zentralen Gremien bearbeitet werden (siehe auch Bonn et al. 2018).

Abbildung 17: Schlüsselakteure und Vernetzungsstruktur des integrierten Pestizid-Monitorings.



Quelle: eigene Darstellung, gaiac Forschungsinstitut / Institut für Umweltforschung, RWTH University, verändert nach Kaufmann-Boll et al. (2020)

6.3 Überschlägige Kostenabschätzung

Im Folgenden wird der finanzielle Aufwand zur Umsetzung der Module überschlägig abgeschätzt, um einen Kosten-Rahmen (€/Jahr bzw. €/Turnus) für die Durchführung des IMoP zu erhalten. Hierbei sind verschiedene Aspekte zu berücksichtigen. Zunächst fallen in den unterschiedlichen strukturellen Einheiten (vgl. Kapitel 6.2), d. h. sowohl bei den Betreibern der BRSF, der Steuerungsgruppe als auch der Vernetzungsstelle Kosten für das integrierte Monitoring an.

Derzeit ist schwer kalkulierbar, wie groß die eingeplanten Synergien sein werden, so dass die anfallenden Kosten zwischen den verschiedenen Akteuren zukünftig verhandelt werden müssen. Beispielsweise ist für das IMoP eine Biotoptypenerfassung erforderlich, die bereits im Ökosystem-Monitoring des Bundes durchgeführt wird (vgl. Kap. 2.1.1.3). Ähnlich verhält es sich in Bezug auf weitere bereits existierende Monitoring-Aktivitäten, wie z. B. das Tagfalter-Monitoring oder das Brutvogel-Monitoring. Eine genaue Kostenkalkulation ist aus diesem Grunde für manche Module obsolet und die jeweilige Einbindung des Programms in das IMoP sollte bei den jeweiligen Betreibern vorab angefragt werden. Des Weiteren hängen die Kosten von den Synergien der strukturellen Organisation ab. Bei einer denkbaren und anzustrebenden Einbindung des IMoP in die Struktur des derzeit entwickelten Biodiversitätszentrums (Bonn et al. 2018), würden nur anteilige Ressourcen für den Bereich der Pestizide einkalkuliert werden. Ist dies nicht der Fall und eine eigenständige Vernetzungsstelle müsste eingerichtet werden (z. B. im UBA), entstünden allein durch die notwendige neue Strukturbildung deutlich höhere Kosten.

Im Folgenden werden daher nur die überschlägigen Kosten für die in den unterschiedlichen Modulen anfallenden Arbeiten kalkuliert, unabhängig davon, ob die Daten bereits an anderer Stelle erhoben werden. Im Nachgang können ggf. Synergien genutzt und Kosten bestehender Programme aus der Gesamtkalkulation abgezogen bzw. anteilig verrechnet werden.

In Tabelle 12 sind die überschlägigen Kosten der verschiedenen Umsetzungsstufen, nach der Art der Erhebung (Biodiversität – Pestizide) sowie nach dem Flächen- bzw. Untersuchungstyp (BAF/BRSF – iBAF/iBRSF) getrennt aufgeführt. Dieser Kalkulation liegen die Ausführungen in Kapitel 5 zugrunde, d. h. die Preise beziehen sich auf alle BAF/BRSF bzw. iBAF/iBRSF in Deutschland, die im Rahmen des IMoP untersucht werden. Die Kosten würden sich anteilig auf die unterschiedlichen Bundesländer verteilen.

Tabelle 12: Überschlägige Kostenabschätzung für einzelne Module im Rahmen des IMoP

geschätzte Kosten [Millionen €/Jahr]		
		Summe
Stufe 1		
BAF/BRSF		
Erfassung der Biodiversität	1,5	
Erfassung der Pestizide	2,0	
Standortcharakterisierung & Kommunikation	0,4	3,5-4,0
iBAF/iBRSF		
Erfassung der Biodiversität	0,5	
Erfassung der Pestizide	3,5	4,0-4,5
Gesamtkosten Stufe 1		7,5-8,5
Stufe 2		
BAF/BRSF		
Erfassung der Biodiversität	2,0	
Erfassung der Pestizide	6,0	7,5-8,5
iBAF/iBRSF		
Erfassung der Biodiversität	0,5	
Erfassung der Pestizide	0,4	0,7-1,0
Gesamtkosten Stufe 2		8,0-9,5
Stufe 3		
BAF/BRSF		
Erfassung der Biodiversität	1,9	
Erfassung der Pestizide	2,0	3,5-4,0
iBAF/iBRSF		
Erfassung der Biodiversität	0,2	
Erfassung der Pestizide	2,1	2,0-2,5
Gesamtkosten Stufe 3		5,5-6,5
Biodiversität gesamt/Jahr	6,5 Mill €	
Pestizide gesamt/Jahr	16,0 Mill €	
Gesamtkosten/Jahr	21,0-25,0 Mill €	
Gesamtkosten/Turnus	126-150 Mill €	

Die Durchführung der ersten Stufe wird mit etwa 7,5-8,5 Millionen Euro pro Jahr kalkuliert. Die Kosten teilen sich etwa zur Hälfte in das Programm des Standard-Monitorings (BAF/BRSF: 3,5-4,0 Mill. €) und zur anderen Hälfte in das Intensiv-Monitoring (iBAF/iBRSF: 4,0-4,5 Mill. €) auf.

Die Umsetzung der zusätzlichen Module in Stufe 2 hängt maßgeblich von den Ergebnissen der F&E-Untersuchungen in den iBAF bzw. iBRSF der Stufe 1 ab, so dass zum heutigen Stand der Umfang und die methodische Durchführung zusätzlicher Module in Stufe 2 nicht bekannt sind. Dies gilt ebenso für die spätere Stufe 3, die wiederum abhängig von den Ergebnissen aus Stufe 2 ist. Dennoch wurden deren Kosten überschlagsmäßig kalkuliert, um einen generellen Eindruck hinsichtlich der finanziellen Umsetzung des Gesamtprogramms zu erhalten.

Für die zweite Stufe werden 8,0-9,5 Millionen € pro Jahr angesetzt, die zu den Kosten der Stufe 1 hinzukommen. Der größte Posten mit etwa 6,0 Mill. € sind dabei ggf. anfallende zusätzliche zeitliche und räumliche Verdichtungen der Pestizidmessungen, die auf der Basis der Forschungsmodule in Stufe 1 als notwendig erachtet werden, um die Pestizidbelastung in vollem Umfang zu erfassen. Die Kosten zusätzlicher Biodiversitätsmessungen belaufen sich auf etwa 2,0 Mill. €/Jahr. Der F&E-Anteil auf den iBAF und iBRSF-Flächen wird mit etwa 0,7-1,0 Mill. €/Jahr beziffert.

Die Kosten der Umsetzungsstufe 3 werden auf insgesamt 5,5-6,5 Mill. €/Jahr geschätzt. Auf den BAF und BRSF sind die Kosten etwa zur Hälfte auf die Biodiversitäts- (1,9 Mill. €) und Pestizidmessungen (2,0 Mill. €) aufgeteilt. Der F&E-Anteil auf den iBAF und iBRSF wird in Stufe 3 auf etwa 2,0-2,5 Mill. €/Jahr geschätzt.

Die Gesamtkosten des vorgeschlagenen Monitoringprogramms belaufen sich somit auf 21,0-25,0 Mill. € pro Jahr bzw. auf 126-150 Mill. € für einen gesamten Turnus, d. h. die Erhebung auf allen eingebundenen Untersuchungsflächen in sechs Jahren. Der Anteil der biodiversitätsseitigen Erhebungen beläuft sich auf etwa 6,5 Mill. € und der der pestizidseitigen auf rund 16 Mill. €/Jahr.

Da die verschiedenen Module, insbesondere auf den iBAF und iBRSF, zeitlich flexibel eingesetzt werden können, wäre eine jährliche Budgetierung, z. B. von 1,5 Millionen €/Jahr für F&E-Vorhaben, auf diesen Flächen prinzipiell realistisch.

6.4 Nächste Schritte und Ausblick

Die Umsetzung des oben ausgeführten stufenweisen Monitoringplans erfordert eine gut strukturierte Erprobungsphase, da einerseits die Zusammenstellung von verschiedenen Monitoringaktivitäten (Biodiversität und Pestizide), andererseits die notwendige und erforderliche Zusammenarbeit mit den jeweiligen Ländern ein hohes Maß an Komplexität beinhaltet. Zu diesem Zwecke wird dazu angeraten, eine bzw. mehrere Pilotstudien als Startpunkt für die Etablierung dieses Monitorings durchzuführen. Eine Pilotstudie sollte die konkrete exemplarische Umsetzung des anvisierten Programmes in Kooperation mit bereits existierenden Monitoringbausteinen und deren Betreibern zum Ziel haben. Eine räumliche Beschränkung des bundesweit angedachten Programmes auf z. B. ein oder zwei Bundesländer wäre für einen Probetrieb ratsam. Die konkreten Arbeitsschritte der Pilotvorhaben in ihrer Gesamtheit sollten sein:

Arbeitsschritte der Pilotvorhabens

1. Kontaktaufnahme zu den Betreibern des Landesmonitorings (Ländervertreter)
2. Auswahl geeigneter BRSF im jeweiligen Bundesland unter besonderer Berücksichtigung der Fläche und Verteilung des Biototyps Ackerland in diesen Arealen. Diese Prüfung sollte ggf. auch auf den zusätzlichen BRSF der repräsentativen Flächenkulisse auf Bundeslandebene durchgeführt werden, um die Möglichkeit von bundeslandspezifischen Programmen zu gewährleisten.
3. Recherche und konkrete räumliche und zeitliche Zusammenstellung aller Monitoringaktivitäten, d. h. Methoden und Probennahmedesign auf den jeweiligen BRSF.
4. Auswahl und Festlegung von potentiellen Agrarfenstern innerhalb eines BRSF unter Berücksichtigung möglichst hoher Synergien zu bereits bestehenden Monitoringaktivitäten. Festlegung möglicher Monitoring-Designs für diese Flächen.
5. Kontaktaufnahme und Informierung der bewirtschaftenden Personen sowie Eigentümerinnen und Eigentümer. In diesem Arbeitsschritt sollte auch die bundeslandspezifische Betretungserlaubnis für Monitoringakteure auf den entsprechenden BRSF geregelt werden.
6. Festlegung von mindestens einem Agrarfenster pro BRSF nach erfolgreicher Zustimmung der unter Punkt 5 genannten Personen.
7. Einmalige saisonale Durchführung des Monitorings der Stufe 1 (s. Abb. 10) auf den ausgewählten Flächen.
8. Exemplarische Auswertung der erhobenen Daten auf den Skalenebenen des BRSF (1 km²) sowie des Agrarfensters (BAF).

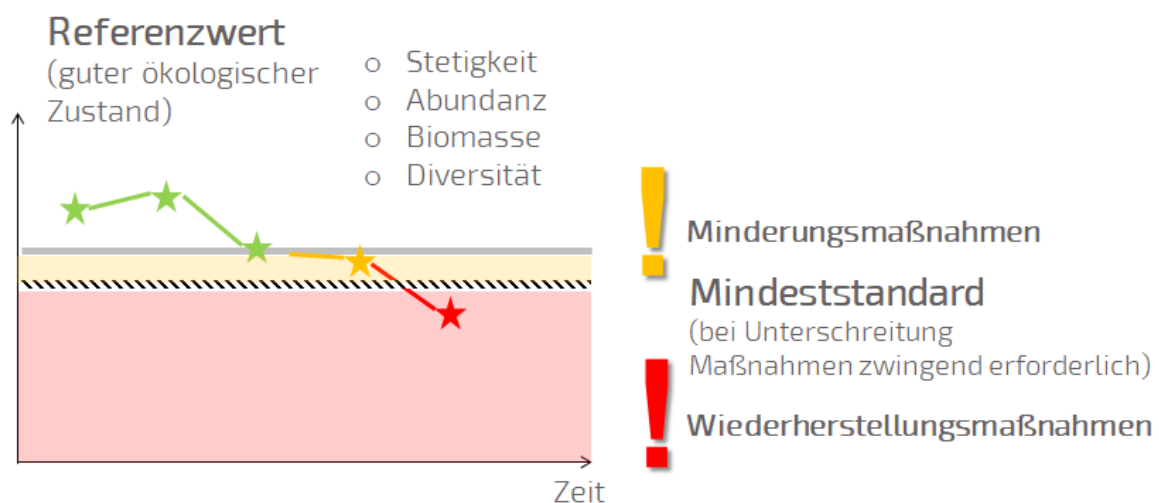
Durch diese Pilotphase können auftretende Hindernisse und Notwendigkeiten für eine Umsetzung des bundesweiten Monitorings ermittelt werden, die wiederum im Schulterschluss mit den Betreibern in den Ländern sowie anderen Monitoringakteuren (BfN, DDA etc.) kommuniziert, ausgeräumt bzw. miteinander abgestimmt werden können.

Parallel bzw. auch ergänzend zu den oben beschriebenen Aktivitäten sollten landschaftsspezifische Mindeststandards auf Basis sogenannter Referenzwerte (vgl. auch Abb. 5) für verschiedene Artengruppen in ihren jeweiligen Biotopen entwickelt werden. Sie dienen dazu, die Biodiversität dieser Artengruppen standortspezifisch zu bewerten und ggf. Schutzmaßnahmen zu entwickeln und umzusetzen. Die Referenzwerte können einerseits, soweit vorhanden, aus historischen Daten oder/und auch aus aktuellen Daten, wie beispielsweise denen, die in diesem Monitoring-Konzept entstehen, abgeleitet werden. Die Kenntnis von Mindestanforderungen und Schwellenwerten für das Schutzgut Biodiversität (vgl. Abbildung 18), ist deshalb besonders wichtig, da die Beeinträchtigung der Freilandssysteme und darin gebundener Lebensgemeinschaften durch verschiedene Faktoren zustande kommt, die über unterschiedliche Gesetzesbereiche reguliert werden. Chemikaliengenehmigung, Pflanzenschutz, Bodenschutz, Arzneimittelzulassung sowie Naturschutz stehen dabei in Bezug zum selben Schutzgut, die Wirkung wird jedoch in jedem Geltungsbereich monokausal dem einzelnen Stressor (d. h. der spezifischen Exposition) zugeordnet. Es ist daher unbedingt notwendig, die Umweltqualität in der Agrarlandschaft auf

Basis eines landschaftsbezogenen, Geltungsbereiche übergreifenden integrativen Ansatzes zu regulieren (Scholz- Starke et al. 2016). Die Entwicklung solcher Referenzen sowie der entsprechenden Schwellenwerte sollte daher nicht allein die Bewertung von PSM zum Ziel haben, sondern vielmehr auch durch andere Bereiche (s. o.) unterstützt und mitentwickelt werden. Die Einrichtung einer themenübergreifenden Arbeitsgruppe zur Entwicklung solcher Standards wäre ratsam.

Für die Ausarbeitung müssten regionale Systeme konzipiert werden, d. h. einzelne (Agrar-) Landschaftsräume sollten abgegrenzt werden, in denen entsprechende Leitbildvorstellungen hinsichtlich struktureller Anteile und Biodiversität definiert werden müssten (vgl. Scholz-Starke 2016, Roß-Nickoll et al. 2004). Über eine umfassende Literaturrecherche, aber auch mit Hilfe aktuell erhobener Biodiversitätsdaten sowie entsprechender Daten ausgewählter Indikatoren aus den verschiedenen Monitoringaktivitäten könnten dann für die verschiedenen Biotoptypen in den jeweiligen Regionen Mindeststandards für die unterschiedlichen Artengruppen festgelegt werden, die es erlauben, Erheblichkeitsschwellen für eine Beeinträchtigung festzusetzen. Diese Erheblichkeitsschwellen sollten möglichst auch die bindenden rechtlichen Grundlagen für die Umsetzung von Minderungsmaßnahmen sowie Wiederherstellungsmaßnahmen beinhalten (vgl. Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, Kap. 2.1.5).

Abbildung 18: Schematische Darstellung von Erheblichkeitsschwellen und notwendigen Maßnahmen bei deren Unterschreitung



Quelle: verändert nach Toschki et al. 2018

Für die oben beschriebenen nächsten Schritte sind der kontinuierliche Austausch mit vergleichbaren Aktivitäten im In- und Ausland (z. B. Pestizid- und Biodiversitätsmonitoring in der Schweiz, Kap. 2.1.6, Kap. 2.2.4) sowie die Einbindung von Erfahrungen aus bereits bestehenden Bewertungssystemen hinsichtlich von Biodiversitätsmerkmalen (FFH-Monitoring, vgl. Kap. 2.1.5) von großer Bedeutung.

7 Fazit und abschließende Beurteilung der Möglichkeiten und Grenzen der Realisierbarkeit

Viele Hinweise deuten darauf hin, dass die intensive Nutzung von Pestiziden im chemischen Pflanzenschutz neben anderen Faktoren zu einer Beeinträchtigung der Biodiversität in landwirtschaftlich genutzten Flächen und umliegenden Gebieten beiträgt. Ziel des Projekts war es, ein übergreifendes Monitoringkonzept für die terrestrische Agrarlandschaft zu entwickeln, in dem die Belastung der Landschaft durch Pflanzenschutzmittel und deren Auswirkung auf die Biodiversität erfasst werden. Mit der Umsetzung eines integrierten Monitoringansatzes soll der Einfluss des chemischen Pflanzenschutzes auf die Biodiversitätsentwicklung nachhaltig sichtbar gemacht werden und helfen, Korrelationen in diesem komplexen Wirkungsgefüge herzustellen. Der Projektbericht beinhaltet die Darstellung des aktuellen Forschungsstands, eine Übersicht bereits bestehender Monitoring-Aktivitäten sowie einen konzeptionellen Ansatz, der eine Zusammenstellung der Anforderungen, die stufenweise Umsetzung des Monitorings einschliesslich einer groben Kostenabschätzung sowie die strukturelle Machbarkeit umfasst.

Eine Bestandsaufnahme ergab, dass bereits zahlreiche Monitoringaktivitäten im biologischen Bereich durchgeführt werden, die die Aufnahme verschiedener Indikatoren umfassen (Biodiversität auf organismischer und genetischer Ebene, Landschaftsstruktur, Nährstoffstatus, landwirtschaftliche Bearbeitungsintensität und Pestizideinsatz; siehe Tabelle 1), die in dem hier vorgelegten Konzept teilweise nutzbar sind.

Grundsätzlich werden im hier erarbeiteten konzeptionellen Ansatz drei Bereiche berücksichtigt: (1) Stressoren (chemische Belastung, Bodenbearbeitung und weitere), (2) Struktur der Agrarlandschaft, Biotoptypenzusammensetzung, Kulturen, (3) Ausstattung der Biodiversität (Pflanzen-, Arthropoden-, Vertebratenarten und -Populationen). Als geeignetes räumliches Grundraster für ein bundesweites Monitoring wurden die repräsentativen Stichprobenflächen der Länder (BRSF) ausgewählt. Diese eignen sich aus mehreren Gründen für die genannten Anforderungen: die Flächen wurden nach einem einheitlichen Kriterienkatalog ausgewählt und liegen für alle Bundesländer vor. Die Stichprobenflächen spiegeln dabei die Zusammensetzung von Agrarlandschaft, Wald und Siedlungsraum in den Bundesländern repräsentativ wider. Das Bundesamt für Naturschutz hat sich in einem Abstimmungsprozess mit den Bundesländern darauf geeinigt, auf dieser Flächenkulisse auch ein bundesweites Biodiversitätsmonitoring durchzuführen, von dem etliche Daten direkt nutzbar sind (Vögel, High Nature Value Farmland-Indikator, Biotoptypen, Vegetation). Auch bezüglich der Pestizidanwendung stehen nutzbare Indikatoren auf dieser Skalenebene zur Verfügung (kulturspezifische Anwendungsdaten aus den PAPA-Erhebungen; anonymisierte Spritzserien). Von diesen Stichprobenflächen (BRSF) haben wir uns für das Pestizid- und Biodiversitätsmonitoring zunächst auf die Agrarlandschaftsflächen begrenzt.

Auf den 735 im gesamten Bundesgebiet zur Verfügung stehenden BRSF, die Ackerflächenanteile beinhalten, wird jeweils ein „Bundesweites Agrar-Fenster“ (BAF) eingerichtet, das einen der drei Biotopkomplexe Acker – Gehölz, Acker – Feldrain oder Acker – Uferstreifen beinhaltet. Innerhalb der BAF werden durch gezielte Untersuchungen in einem konkreten räumlichen und zeitlichen Wirkungsgefüge die Biodiversität und die Menge der eingesetzten Pestizide erhoben. Auf den BAF werden die Daten entlang der in der Zulassung relevanten Expositionspfade für ein Spektrum von 87 Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und wichtigen Metaboliten aufgenommen (Anwendungsmengen, Overspray, Run-off, Drift in- und off-crop). Auf dem gleichen räumlichen Untersuchungs raster werden repräsentative taxonomische Biodiversitätspunkte untersucht.

Um weiterführende Untersuchungen, Integration neuer Forschungsansätze, Umsetzung solcher Erkenntnisse und eine zeitliche Verdichtung der Untersuchungen realisieren zu können, wurde ein räumlich und zeitlich gestufter Ansatz gewählt. Dazu wurden als Teilmenge der BAF sogenannte iBAF definiert, auf denen ein intensiveres Monitoring durchgeführt werden soll. Für jeden der drei Biotopkomplexe (Acker – Gehölz, Acker – Feldrain oder Acker – Uferstreifen) sollen jeweils 10 iBAF bundesweit festgelegt werden. Die Erkenntnisse, die durch die Untersuchungen auf den iBAF entstehen, sollen in weiteren Stufen in einer standardisierten Umsetzung realisiert werden. Als Beispiele seien die zeitliche Verdichtung der Messungen von PSM entlang von Expositionspfaden und die Eignung des Meta-Barcodings als Indikator für die Bodenbiodiversität genannt.

Durch den integrierten Ansatz stehen Indikatoren zur Verfügung, die sich entweder auf die Gesamtfläche der BRSF (1 km²) oder auf die Szenarien in den BAF bzw. iBAF beziehen. Dies gilt sowohl für Pestizidindikatoren als auch für Biodiversitätsindikatoren. Dadurch, dass Indikatoren auf kleineren (BAF/iBAF) und größeren räumlichen Skalenebenen (BRSF/iBRSF) zur Verfügung stehen werden, wird eine Überprüfung der Eignung der höheraggregierten, BRSF bezogenen Indikatoren möglich. Zudem wird in diesem Monitoringkonzept ein quantitativer Vergleich zwischen den nutzbaren Pestizidindikatoren anderer Verfahren (PAPA-Daten), den gemessenen PSM auf den BAF und den tatsächlich genutzten Aufwandmengen der Landwirte und Landwirtinnen auf unterschiedlichen räumlichen Skalenebenen ermöglicht. Dies ist im Bereich der Pflanzenschutzmittelerhebungen ein zentraler Aspekt dieses Konzepts, da die Nutzbarkeit dieser verschiedenen Datentypen im Kontext des integrierten Monitoringansatzes auf diese Weise untersucht werden kann. Die höchste Aussagekraft ist dabei für die tatsächlichen Aufwandmengen zu erwarten. Mittelfristig sollte es das Ziel sein, eine Verfügbarkeit dieser Information für alle landwirtschaftlichen Flächen zu gewährleisten. Die Übertragung der Erkenntnisse aus den BAF/iBAF-Untersuchungen auf die Ebene der BRSF kann im Weiteren die Korrelation der PSM-Exposition mit Biodiversitätseinflüssen auf einer höheren Skalenebene interpretierbar machen.

Am Beispiel einer definierten ökologischen Flächenstichprobe in NRW wurde das Monitoringkonzept konkret angewendet. Dies bezieht sich sowohl auf die Biodiversitätsszenarien mit der Festlegung eines geeigneten Probenahmerasters als auch auf eine notwendige Datenbankstruktur zur digitalisierten Ablage der Biodiversitäts- und PSM-Daten.

Zur bundesweiten Umsetzung des integrierten Monitoringansatzes bedarf es einer Bund-Länder übergreifenden, neuen Vernetzungsstruktur. Dabei müssen verschiedene hoheitliche Bund- und Länderorganisationsstrukturen verbindlich zusammenarbeiten. Die Bundesländer als für ihre Monitoringdaten verantwortliche Hoheiten müssten ihre Daten an eine übergeordnete bundeshoheitliche Vernetzungsstelle weiterleiten. Dieser Prozess sollte durch eine neu eingerichtete Bund-Länder-Steuergruppe mit Vertretern aus Ländern, BfN, UBA und ggf. Expertinnen und Experten zu verschiedenen Themen begleitet werden. Die dadurch neu zur Verfügung stehenden, bundesweit einheitlichen Daten könnten für die Länder, Behörden (UBA, JKI), Agrarverbände, Landwirte und Landwirtinnen sowie die Wissenschaft verfügbar gemacht werden. Die Erweiterung der bestehenden Monitoring-Aktivitäten um Datenerhebungen zu Pestiziden in der Landschaft würde zudem die bestehenden Langzeituntersuchungen aufwerten, da mit den PSM ein wichtiger Faktor, der sich auf unterschiedliche Art und Weise auf die Biodiversität auswirkt, miterfasst wird. Der Ansatz ist finanzier- und bundesweit einsetzbar, wenn es gelingt, alle Bundesländer sowie auch die Landwirtinnen und Landwirte von einer aktiven Teilnahme zu überzeugen. Um die

Umsetzung des bundesweit vorgeschlagenen Monitoringskonzepts Schritt für Schritt zu ermöglichen, wird eine Pilotstudie in einem oder zwei Bundesländern vorgeschlagen.

Das hier vorgestellte Monitoringkonzept würde das beabsichtigte Ziel, einen Zusammenhang von PSM-Exposition und Biodiversitätsentwicklung auf Landschaftsebene aufzuklären, erreichbar machen. Letztendlich könnten damit auch kritische Schwellenwerte definiert werden, die zu einer realistischen, biodiversitätsverträglichen PSM-Exposition in der Landschaft führen sollten.

Danksagung

Besonderer Dank gilt dem projektbegleitenden Beirat, i.e. Dr. Jens Dauber, Rainer Dröschmeister, Dr. Frank Glante, Dr. Burkhard Golla, Dr. Christine Kula, Alexandra Müller, Dr. Stefan Schrader, Dr. Christoph Tebbe, Dr. Florian Theves, Dr. Uta Ulrich, Daniel Wächter und Dr. Wiebke Züghart, für den Erfahrungsaustausch sowie die unterstützenden Diskussionen und Hinweise. Ebenso danken wir Kolleginnen und Kollegen des LANUV NRW, insbesondere Christoph Grüneberg, Dr. Barbara Guhl, Dr. Matthias Kaiser, Dr. Stefan Rhiem, Dr. Juliane Rühl und Dr. Georg Verbücheln sowie des BfN, Dr. Moritz Nabel, Dr. Ursula Nigmann, Rainer Dröschmeister und Dr. Wiebke Züghart, für den hilfreichen Austausch und den Erfahrungsblick in bereits bestehende und geplante Programme. Zudem möchten wir uns besonders bei dem „Projektteam“ des UBA, speziell bei Sina Egerer, Dr. Tobias Frische, Steffen Matezki und Christoph Wengerodt, für die konstruktive Zusammenarbeit bedanken.

Acknowledgements

Special thanks go to the project advisory board, i.e. Dr Jens Dauber, Rainer Dröschmeister, Dr Frank Glante, Dr Burkhard Golla, Dr Christine Kula, Alexandra Müller, Dr Stefan Schrader, Dr Christoph Tebbe, Dr Florian Theves, Dr Uta Ulrich, Daniel Wächter and Dr Wiebke Züghart, for the exchange of experiences and the supportive discussions and advice. We would also like to thank colleagues from the LANUV NRW, in particular Christoph Grüneberg, Dr. Barbara Guhl, Dr. Matthias Kaiser, Dr. Stefan Rhiem, Dr. Juliane Rühl and Dr. Georg Verbücheln, and from the BfN, Dr. Moritz Nabel, Dr. Ursula Nigmann, Rainer Dröschmeister and Dr. Wiebke Züghart, for the helpful exchange and insight into experiences in already existing and planned programs. We would also like to thank the UBA "project team", especially Sina Egerer, Dr Tobias Frische, Steffen Matezki and Christoph Wengerodt, for their constructive cooperation.

8 Quellenverzeichnis

Benzler, A.; Fuchs, D.; Hüning, C. (2015): Methodik und erste Ergebnisse des Monitorings der Landwirtschafts-fläche mit hohem Naturwert in Deutschland. Beleg für aktuelle Biodiversitätsverluste in der Agrarlandschaft. *Natur und Landschaft* 90 (7): 309-316.

BfN (Bundesamt für Naturschutz) (Hrsg.) (2015): Artenschutzreport 2015, Tiere und Pflanzen in Deutschland, Bonn Bad Godesberg.

BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2019a): Vogelmonitoring in Deutschland. <https://www.bfn.de/themen/monitoring/vogelmonitoring.html>, aufgerufen am 07.02.2019.

BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2019b): High Nature Value Farmland-Indikator - Ein Indikator für Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert in Deutschland. <https://www.bfn.de/themen/monitoring/monitoring-von-landwirtschaftsflaechen-mit-hohem-naturwert.html>, aufgerufen am 28.01.2021.

BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2019c): Ökosystem-Monitoring. <https://www.bfn.de/themen/monitoring/oekosystem-monitoring.html>, aufgerufen am 07.02.2019.

BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2019d): Bundesweites Insektenmonitoring wird entwickelt. <https://www.bfn.de/themen/biologische-vielfalt/nationale-strategie/projekt-des-monats/insektenmonitoring.html>, aufgerufen am 13.11.2019.

BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2019e): Rote Listen gefährdeter Biotoptypen, Tier- und Pflanzenarten sowie der Pflanzengesellschaften. <https://www.bfn.de/themen/rote-liste.html>, aufgerufen am 20.02.2019.

BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2019f): Einheitlicher Methodenleitfaden „Insektenmonitoring“. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/monitoring/Dokumente/Methodenleitfaden_Insektenmonitoring_2019.pdf, aufgerufen am 13.11.2019.

BfN (Bundesamt für Naturschutz) (2020): Natura 2000. <https://www.bfn.de/themen/natura-2000.html>, aufgerufen am 29.09.2020.

Blick, T. (1999): Spinnentiere. In: VUBD (Vereinigung umweltwissenschaftlicher Berufsverbände Deutschlands e. V.) (Hrsg.): Handbuch landschaftsökologischer Leistungen. Empfehlungen zur aufwandsbezogenen Honorar-ermittlung, Selbstverlag der VUBD, Nürnberg: 147-160.

BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft) (2020): MonVIA. <https://www.agrarmonitoring-monvia.de>, aufgerufen am 01.10.2020.

BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. http://www.biologischevielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere_biolog_vielfalt_strategie_bf.pdf, aufgerufen am 07.02.2017.

BMUB (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) (Hrsg.) (2015): Naturschutz Offensive 2020. Für biologische Vielfalt!, 39 Seiten.

Bonn, A.; Bruelheide, H.; König-Ries, B.; Pereira, H.; Settele, J.; Winter, M.; Wirth, C. (2018): Nationales Monitoring-Zentrum für Biodiversität. Notwendigkeit, Aufgaben, Organisation. https://www.idiv.de/fileadmin/content/iDiv_Files/Documents/White_paper_Monitoringzentrum_iDiv_et_al_20181218_de3.pdf, aufgerufen am 10.06.2020.

Botero-Coy, A. M.; Ibáñez, M.; Sancho J. V.; Hernández, F. (2013): Improvements in the analytical methodology for the residue determination of the herbicide glyphosate in soils by liquid chromatography coupled to mass spectrometry. *J Chromatogr A*, 1292: 132-41. doi:10.1016/j.chroma.2012.12.007

Brühl, C. A.; Zaller, J. G. (2019): Biodiversity Decline as a Consequence of an Inappropriate Environmental Risk Assessment of Pesticides. *Front. Environ. Sci.*, 31 October 2019. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00177>.

Brühl, C. A.; Pieper, S.; Weber, B. (2011): Amphibians at Risk? Susceptibility of Terrestrial Amphibian Life Stages to Pesticides. *Environ. Toxicol. Chem.* 30: 2465-2472.

Brühl, C. A.; Schmidt, T.; Pieper, S.; Alscher, A. (2013): Terrestrial pesticide exposure of amphibians: An underestimated cause of global decline? *Scientific reports* 3, 1135.

Burkhardt, U.; Russell, D. J.; Decker, P.; Döhler, M.; Höfer, H.; Römbke, J.; Trog, C.; Vorwald, J.; Wurst, E.; Xylander, W. E. R. (2014): The Edaphobase project of GBIF-Germany – A new online soil-organism zoological data warehouse. *Applied Soil Ecology*, 83: 3-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.03.021>.

BVL (Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2019a): Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. https://www.bvl.bund.de/DE/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/01_ZugelPSM/psm_ZugelPSM_node.html.

BVL (Bundesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit) (2019b): Zugelassene Pflanzenschutzmittel-Auswahl für den ökologischen Landbau nach der Verordnung (EG) Nr.834/2007. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiUmf6N6ZPIAhVBMewKHR0vCiMQFjAAegQIABAE&url=https%3A%2F%2Fwww.bvl.bund.de%2FSharedDocs%2FDownloads%2F04_Pflanzenschutzmittel%2Fpsm_oekoliste-DE.pdf%3F__blob%3DpublicationFile%26v%3D45&usq=AOvVaw1exKeonyoSwcam-RrgHxWR.

Chiaia-Hernández, A. C.; Keller, A.; Waechter, D.; Steinlin, C.; Camenzuli, L.; Hollender, J.; Krauss, M. (2017): Long-term Persistence of Pesticides and TPs in Archived Agricultural Soil Samples and Comparison with Pesticide Application. *Environmental Science & Technology* 51: 10642-10651.

Copernicus (2019): Das Copernicus Programm. <https://www.d-copernicus.de/>, aufgerufen am 20.02.2019.

Dachbrodt-Saaydeh, S.; Sellmann, J.; Strassemer, J.; Schwarz, J.; Klocke, B.; Krengel, S.; Kehlenbeck, H. (2018): Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz – Zwei-Jahresbericht 2015 und 2016. Analyse der Ergebnisse der Jahre 2007 bis 2016. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut.

DDA (Dachverband Deutscher Avifaunisten) (2019): Monitoring. <https://www.dda-web.de/index.php?cat=monitoring&subcat=aktuell>, aufgerufen am 07.02.2019.

Dauber, J.; Klimek, S.; Schmidt, T. G. (2016): Konzept für ein Biodiversitätsmonitoring Landwirtschaft in Deutschland. Thünen Working Paper 58. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen-Institut.

Decaens, T.; Porco, D.; Rougerie, R.; Brown, G. G.; James S. W. (2013): Potential for DNA barcoding for earthworm research in taxonomy and ecology. – *Applied Soil Ecology* 65: 35-42.

Dierschke, H. (1994): Pflanzensoziologie. Ulmer, Stuttgart, 683 S.

Dirzo, R.; Young, H. S.; Galetti, M.; Ceballos, G.; Isaac, N. J.; Collen, B. (2014): Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345 (6195): 401-406.

EFSA (European Food Safety Authority) (2007): Opinion of the Scientific Panel on Plant protection products and their Residues on a request from the Commission related to the revision of Annexes II and III to Council Directive 91/414/EEC concerning the placing of plant protection products on the market - Ecotoxicological studies. *EFSA Journal* 461: 1-44.

EFSA (European Food Safety Authority) (2018): Ockleford, C.; Adriaanse, P.; Berny, P.; Brock, T.; Duquesne, S.; Grilli, S.; Hernandez-Jerez, A. F.; Bennekou, S. H.; Klein, M.; Kuhl, T.; Laskowski, R.; Machera, K.; Pelkonen, O.; Pieper, S.; Stemmer, M.; Sundh, I.; Teodorovic, I.; Tiktak, A.; Topping, C. J.; Wolterink, G.; Aldrich, A.; Berg, C.; Ortiz-Santaliestra, M.; Weir, S.; Streissl, F.; Smith, R. H. (2018): Scientific Opinion on the state of the science on pesticide risk assessment for amphibians and reptiles. EFSA Journal 2018;16(2):5125, 301 pp. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5125>.

ESA (Europäische Weltraumorganisation) (2019): Sentinel-2. Colour vision for Copernicus. https://www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Sentinel-2_Colour_visions_brosch%C3%BCre_eng.pdf, aufgerufen am 20.02.2019.

Esser, J.; Fuhrmann, M.; Venne C. (2011): Rote Liste und Artenverzeichnis der Wildbienen und Wespen - Hymenoptera - Aculeata - in Nordrhein-Westfalen. 1. Fassung, Stand November 2009. In: LANUV (Hrsg.): Rote Liste der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere in Nordrhein-Westfalen, 4. Fassung, LANUV-Fachbericht 36 (2): 333-398.

EUROSTAT (2018): Ihr Schlüssel zur europäischen Statistik. <https://ec.europa.eu/eurostat/de>, aufgerufen am 17.12.2018.

ExpertenDialog (2019): Expertendialog Biodiversität und Landwirtschaft. <https://www.expertendialog.org/>, aufgerufen am 20.02.2019.

Fartmann, T. (2017): Überleben in fragmentierten Landschaften. Grundlagen für den Schutz der Biodiversität Mitteleuropas in Zeiten des globalen Wandels. Naturschutz und Landschaftsplanung 49 (9): 277-282.

Fartmann, T.; Hermann G. [Hrsg.] (2006): Larvalökologie von Tagfaltern und Widderchen in Mitteleuropa. Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde, Band 68, Münster.

Fartmann, T.; Krämer, B.; Stelzner, F.; Poniatowski, D. (2012): Orthoptera as ecological indicators for succession in steppe grassland. Ecological Indicators 20: 337-344.

Fent, K.; Löffler, D.; Kubiak R. (1999): Ermittlung der Eindringtiefe und Konzentrationsverteilung gesprühter Pflanzenschutzmittelwirkstoffe in den Boden zur Berechnung des PEC-Boden. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben FKZ 360 03 018, UBA, Berlin.

Fox, R.; Brereton, T. M.; Asher, J.; August, T. A.; Botham, M. S.; Bourn, N. A. D.; Cruickshanks, K. L.; Bulman, C. R.; Ellis, S.; Harrower, C. A.; Middlebrook, I.; Noble, D. G.; Powney, G. D.; Randle, Z.; Warren, M. S.; Roy, D. B. (2015): The State of the UK's Butterflies 2015. Butterfly Conservation and the Centre for Ecology & Hydrology, Wareham, Dorset, 28 S.

Frampton, G. K.; Jansch, S.; Scott-Fordsmann, J. J.; Rombke, J.; Van den Brink, P. J. (2006): Effects of pesticides on soil invertebrates in laboratory studies: A review and analysis using species sensitivity distributions. Environmental Toxicology and Chemistry 25: 2480-2489.

Füll, C.; Schulte, C.; Kula, C. (2003): Bewertung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Regenwürmer. UWSF - Z Umweltchem Ökotox 15 (2): 78-84.

GBOL (German Barcode of Life) (2019): Phase 2 des GBOL-Projektes – Anwendungsgebiet. <https://www.bolgermany.de/gbol/anwendungsgebiete>, aufgerufen am 20.02.2019.

Geiger, F.; Bengtsson, J.; Berendse, F.; Weisser, W. W.; Emmerson, M.; Morales, M. B.; Ceryngier, P.; Liira, J.; Tschirntke, T.; Winqvist, C.; Eggers, S.; Bommarco, R.; Pärt, T.; Bretagnolle, V.; Plantegenest, M.; Clement, L. W.; Dennis, C.; Palmer, C.; Oñate, J. J.; Guerrero, I.; Hawro, V.; Aavik, T.; Thies, C.; Flohre, A.; Hänke, S.; Fischer, C.; Goedhart, P. W.; Inchausti, P. (2010): Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. Basic and Applied Ecology 11: 97-105. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2009.12.001>.

GfS (Gesellschaft für Schmetterlingsschutz) (Hrsg.) (2014): Tagfalter-Monitoring Deutschland. https://www.ufz.de/export/data/6/122852_OEDIPPUS_Band27.pdf, aufgerufen am 14.11.2019.

Gill, H. K.; Garg H. (2014): Pesticides: Environmental impacts and management strategies. In: Marcelo, L. (ed.): Pesticides–Toxic aspects. CC BY: 187-230. <http://dx.doi.org/10.5772/57399>.

Gisi, U.; Schenker, R.; Schulin, R.; Stadelmann, F. X.; Sticher, H. (1997): Bodenökologie. (2. Aufl.). Stuttgart, New York, Thieme: 351 S.

Glandt, D. (2011): Grundkurs Amphibien- und Reptilienbestimmung. Beobachten, Erfassen und Bestimmen aller europäischen Arten. Quelle & Meyer Verlag Wiebelsheim: 411 S.

Grüneberg, C.; Sudmann, S. R.; Weiss, J.; Jöbges, M.; König, H.; Laske, V.; Schmitz, M.; Skibbe, A. (2013): Die Brutvögel Nordrhein-Westfalens. In: NWO & LANUV (Hrsg.): LWL-Museum für Naturkunde, Münster.

Grüneberg, C.; Bauer, H.-G.; Haupt, H.; Hüppop, O.; Tyslavy, T.; Südbeck P. (2015): Rote Liste der Brutvögel Deutschlands, 5. Fassung, 30. November 2015. In: Deutscher Rat für Vogelschutz, NABU: Berichte zum Vogelschutz 52: 19-67.

Grüneberg, C.; Sudmann, S. R.; Herhaus, F.; Herkenrath, P.; Jöbges, M. M.; König, H.; Nottmeyer, K.; Schidelko, K.; Schmitz, M.; Schubert, W.; Stiels, D.; Weiss J. (2016): Rote Liste der Brutvogelarten Nordrhein-Westfalens, 6. Fassung. Charadrius 52: 1- 66.

Habel, J. C.; Segerer, A.; Ulrich, W.; Torchyk, O.; Weisser, W. W.; Schmitt, T. (2016): Butterfly community shifts over two centuries. *Conservation Biology* 30 (4): 754-762.

Habel, J. C.; Ulrich, W.; Biburger, N.; Seibold, S.; Schmitt, T. (2019): Agricultural intensification drives butterfly decline. *Insect Conservation and Diversity* 12: 289-295.

Hallmann, C. A.; Sorg, M.; Jongejans, E.; Siepel, H.; Hofland, N.; Schwan, H.; Stenmans, W.; Müller, A.; Sumser, H.; Hörrén, T.; Goulson, D.; de Kroon, H. (2017): More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12, e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>.

Hallmann, C. A.; Zeegers, T.; van Klink, R.; Vermeulen, R.; van Wielink, P.; Spijkers, H.; van Deijk, J.; van Steenis, W.; Jongejans, E. (2020): Declining abundance of beetles, moths and caddisflies in The Netherlands. *Insect Conservation and Diversity* 13: 127-139.

Hanisch, K. (2009): Tagfalter im Gebiet der Stadt Köln einschließlich Königsforst und Wahner Heide – ehemals und heute (Lep., Hesperioidea et Papilionidea): – *Melanargia* 21 (4): 137-226.

Heidrich-Riske, H. (2004): Bericht zur Durchführung einer räumlichen Stichprobe für das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Monitoring von Vogelarten in Deutschland“ des Bundesamtes für Naturschutz. Monitoringmodul I: Zustand der Normallandschaft. – Wiesbaden (Statistisches Bundesamt): 22 S.

Heimbach, U.; Dohmen, P.; Barrett, K. L.; Brown, K.; Kennedy, P. J.; Kleiner, R.; Römbke, J.; Schmitzer, S.; Schmuck, R.; Ufer, A.; Wilhelmy, H. (2000): A method for testing effects of plant protection products on the carabid beetle *Poecilus cupreus* (Coleoptera: Carabidae) under laboratory and semi-field conditions. In: Candolfi, M. P. et al. (eds.): Guidelines to evaluate side-effects of plant protection products to non-target arthropods. IOBC/WPRS, Gent: 87-106.

Höfer, H.; Astrin, J.; Holstein, J.; Spelda, J.; Meyer, F.; Zarte, N. (2015): Propylene glycol – a useful capture preservative for spiders for DNA barcoding. – *Arachnologische Mitteilungen* 50: 30-36.

Hofmann, F.; Schleichriemen, U. (2015): Durchführung einer Bioindikation auf Pflanzenschutzmittelrückstände mittels Luftgüte-Rindenmonitoring, Passivsammlern und Vegetationsproben. *Fachbeiträge*

des LUGV. Potsdam, Ministerium f. Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft. Heft 147, https://lfu.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/fb_lugv-147.pdf.

Hofmann, F.; Schlechtriemen, U.; Kruse-Platz, M.; Wosniok, W. (2019): Biomonitoring der Pestizid-Belastung der Luft mittels Luftgüte-Rindenmonitoring und Multi-Analytik auf >500 Wirkstoffe inklusive Glyphosat. http://tieminfo.de/cm4all/uproc.php/0/Publikationen/Bericht-H18-Rinde-20190210-1518-1.pdf?_=16e5a98b3af&cdp=a.

Holland, J. M. (2002): Carabid Beetles: Their Ecology, Survival and Use in Agroecosystems. In: Holland, J. M. (Ed.): The Agroecology of Carabid Beetles. Andover: Intercept: 1-40.

Hüning C.; Benzler A. (2017): Das Monitoring der Landwirtschaftsflächen mit hohem Naturwert in Deutschland. Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): BfN Skripten 476, Bonn - Bad Godesberg.

ISO (International Organization for Standardization) (2006a): Soil quality - Sampling of soil invertebrates Part 1: Hand-sorting and formalin extraction of earthworms. ISO 23611-1. Geneva, Switzerland.

ISO (International Organization for Standardization) (2006b): Soil quality - Sampling of soil invertebrates Part 2: Sampling and extraction of microarthropods (Collembola and Acarina). ISO 23611-2. Geneva, Switzerland.

ISO (International Organization for Standardization) (2007): Soil quality - Sampling of soil invertebrates Part 3: Sampling and soil extraction of enchytraeids. ISO 23611-3. Geneva, Switzerland.

Jahn, T.; Hötker, H.; Oppermann, R.; Bleil, R.; Vele, L. (2014): Protection of biodiversity of free living birds and mammals in respect of the effects of pesticides, Federal Environment Agency (Umweltbundesamt), 06844 Dessau-Roßlau, ISSN 1862-4804, download: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/protection-of-biodiversity-of-free-living-birds>.

Jalali, S.; Ojha, R.; Venkatesan, T. (2015): DNA Barcoding for Identification of Agriculturally Important Insects. In: Chakravarthy A. (eds): New Horizons in Insect Science: Towards Sustainable Pest Management. Springer, New Delhi.

JKI (Julius Kühn-Institut) (2019): Statistische Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. PAPA. <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=1>, aufgerufen am 20.02.2019.

Jones, G.; Jacobs, D. S.; Kunz, T. H.; Willig, M. R.; Racey, P. A. (2009): Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research* 8: 93-115.

Kalhor, K.; Ghasemzadeh, R.; Rajic, L.; Alshwabkeh, A. (2019): Assessment of groundwater quality and remediation in karst aquifers: A review. *Groundwater for Sustainable Development* 8: 104-121.

Kaufmann-Boll, C.; Niederschmidt, S.; Bamminger, C.; Kastler, M.; Wurbs, D.; Steininger, M. (2020): Konzeption und Umsetzung eines Klimafolgen-Bodenmonitoring-Verbunds. Abschlussbericht. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): UBA Texte 41/2020, FKZ 3716 48 203 0, 125 S.

Keller, A.; Grimmer, G.; Sickel, W.; Ankenbrand, M. J. (2016): DNA-Metabarcoding – ein neuer Blick auf organismische Diversität, *Biospektrum* 22: 147. <https://doi.org/10.1007/s12268-016-0669-0>, aufgerufen am 27.02.2019.

KgM (Kleingewässermonitoring) (2020): Deutschlandweites Monitoring von Kleingewässern. <https://www.ufz.de/kgm/index.php?de=44480>, aufgerufen am 22.08.2020.

Kratochwil, A.; Schwabe, A. (2001): Ökologie der Lebensgemeinschaften. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart: 756 S.

Kühnel, K.-D.; Geiger, A.; Laufer, H.; Podlousky, R.; Schlüpmann, M. J. (2009): Rote Liste und Gesamtartenliste der Lurche (Amphibia) Deutschlands [Stand Dezember 2008]. In: Haupt, H.; Ludwig, G.; Gruttke, H.; Binot-Hafke, M.; Otto, C.; Pauly, A. (Hrsg.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze

Deutschlands. Band 1: Wirbeltiere. Bundesamt für Naturschutz: Naturschutz und biologische Vielfalt 70 (1): 259-288.

Lang, A.; Bühler, C.; Dolek, M.; Roth, T.; Züghart, W. (2016): Estimating sampling efficiency of diurnal Lepidoptera in farmland. *Journal of Insect Conservation* 20: 35-48.

LANUV (Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Verbraucherschutz) (2018): Landschaftsinformationssammlung NRW, Fachbeitrag des Naturschutzes und Landschaftspflege, @Linfos. <http://infos.api.naturschutzinformationen.nrw.de/atlinfos/de/atlinfos.extent>, aufgerufen am 07.07.2020.

LANUV (Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Verbraucherschutz) (2019a): Ökologische Flächenstichprobe. <https://www.lanuv.nrw.de/natur/biodiversitaetsmonitoring/oekologische-flaechenstichprobe/>, aufgerufen am 07.02.2019.

LANUV (Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Verbraucherschutz) (2019b): Rote Liste der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere in Nordrhein-Westfalen. https://www.lanuv.nrw.de/natur/artenschutz/rote_liste/, aufgerufen am 20.02.2019.

LANUV (Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Verbraucherschutz) (2019c): Kartieranleitungen in Nordrhein-Westfalen. <http://methoden.naturschutzinformationen.nrw.de/methoden/de/downloads>, aufgerufen am 14.11.2019.

LANUV (Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Verbraucherschutz) (2019d): Geschützte Arten in Nordrhein-Westfalen. Downloads. "Methodenhandbuch zur Artenschutzprüfung in NRW" - Stand: 9.3.2017. <https://artenschutz.naturschutzinformationen.nrw.de/artenschutz/de/downloads>.

Lennartz, G. (2003): Der bioökologisch-soziologische Klassifikationsansatz und dessen Anwendung in der Naturschutzpraxis - dargestellt am Beispiel der Borstgrasrasen (Violion) der Eifel unter Berücksichtigung der Laufkäfer, Spinnen, Heuschrecken, Tagfalter und Schwebfliegen. Dissertation RWTH Aachen. Akademische Edition Umweltforschung. Aachen.

Lennartz, G.; Roß-Nickoll, M. (1999): Der bioökologisch-soziologische Klassifikationsansatz zur Erfassung und Abgrenzung von Ökosystemen: Ein Weg zum Monitoring belasteter Ökosysteme? - In: Markert & Oehlmann (Hrsg): Ökotoxikologie: ökosystemare Ansätze und Methoden, ecomed: 204-212.

Liess, M.; Foit, K.; Knillmann, S.; Schäfer, R.; Liess, H. D. (2016): Predicting the synergy of multiple stress effects. *Sci. Rep.* 6: 32965; doi: 10.1038/srep32965.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg), UM (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg) (2018): Umweltdaten 2018 Baden-Württemberg. Karlsruhe.

LUBW (Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg) (2019): Landwirtschaft mit hohem Naturwert. <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/umweltdaten-umweltindikatoren/natur-und-landschaft#Landwirtschaft%20mit%20hohem%20Naturwert>, aufgerufen am 12.02.2019.

Mast, M.; Alvarez, D.; Zaugg, S. (2012): Deposition and accumulation of airborne organic contaminants in Yosemite National Park, California. *Environmental Toxicology and Chemistry* 31 (3): 524-533. doi: 10.1002/etc.1727.

McGuire, M.; Gangopadhyay, A.; Komlodi, A.; Swan, C. (2008): A user-centered design for a spatial data warehouse for data exploration in environmental research. *Ecological Informatics* 3 (4-5): 273-285.

Meinig, H.; Boye, P.; Hutterer, R. (2009): Rote Liste und Gesamtartenliste der Säugetiere (Mammalia) Deutschlands, Stand Oktober 2008. In: Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 1: Wirbeltiere. Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (1): 115-153.

- Meinig, H.; Vierhaus, H.; Trappmann, C.; Hutterer, R. (2011): Artenverzeichnis und Rote Liste der Säugetiere - Mammalia - in Nordrhein-Westfalen, Stand August 2011.- In: LANUV (Hrsg.): Rote Liste der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere in Nordrhein-Westfalen, 4. Fassung, 2011 - LANUV-Fachbericht 36, Band 2: 51-78.
- Mitschke, A.; Sudfeldt, C.; Heidrich-Riske, H.; Dröschmeister, R. (2005): Das neue Brutvogelmonitoring in der Normallandschaft Deutschlands – Untersuchungsgebiete, Erfassungsmethode und erste Ergebnisse. VOGELWELT 126: 127-140.
- Moschet, C.; Wittmer, I.; Simovic, J.; Junghans, M.; Piazzoli, A.; Singer, H.; Stamm, C.; Leu, C.; Holender, J. (2014) How a Complete Pesticide Screening Changes the Assessment of Surface Water Quality. Environmental Science & Technology 48: 5423-5432.
- Mühlenberg, M. (1993): Freilandökologie. 3. Aufl., Quelle & Meyer. Heidelberg, Wiesbaden: 512 S.
- Münze, R.; Orlinskiy, P.; Gunold, R.; Paschke, A.; Kaske, O.; Beketov, M. A.; Hundt, M.; Bauer, C.; Schuurmann, G.; Moder, M.; Liess, M. (2015): Pesticide impact on aquatic invertebrates identified with Chemcatcher (R) passive samplers and the SPEARpesticides index. Science of the Total Environment 537: 69-80.
- Niessner, R.; Schäffer, A. (2017): Organic Trace Analysis, DeGruyter, Berlin, 357 pp.
- Niggli, U.; Riedel, J.; Brühl, C.; Liess, M.; Schulz, R.; Altenburger, R.; Märkländer, B.; Bokelmann, W.; Heß, J.; Reineke, A.; Gerowitt, B. (2020): Pflanzenschutz und Biodiversität in Agrarökosystemen. Berichte über Landwirtschaft. Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft 98 (1), 40 S.
- Nöllert, A.; Nöllert, C. (1992): Die Amphibien Europas. Bestimmung – Gefährdung – Schutz. Stuttgart, Franckh-Kosmos: 382 S.
- Oekotoxzentrum (2019): Monitoringkonzept für Pflanzenschutzmittel in Böden. <https://www.oekotoxzentrum.ch/projekte/bodenoekotoxikologie/monitoringkonzept-fuer-pflanzenschutzmittel-in-boeden/>, aufgerufen am 21.11.2019.
- Oosterbroek, P. (2006): The European Families of the Diptera. Identification, diagnosis, biology. KNNV Publishing, Utrecht: 206 S.
- Orgiazzi, A.; Ballabio, C.; Panagos, P.; Jones, A.; Fernandez-Ugalde, O. (2018): LUCAS Soil, the largest expandable soil dataset for Europe: a review. European Journal of Soil Science, 69 (1): 140-153. doi:10.1111/ejss.12499.
- Owens, A. C. S.; Cochard, P.; Durrant, J.; Farnworth, B.; Perkin, E. K.; Seymoure B. (2020): Light pollution is a driver of insect declines. Biological Conservation 241: 108259. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108259>.
- Pähler, R.; Dudler, H.; Hille, A. (2019): Das stille Sterben der Schmetterlinge - The silent demise of butterflies and moths. Eigenverlag, 336 S.
- Pekár, S. (2012): Spiders (Araneae) in the pesticide world: an ecotoxicological review. Pest Manage. Sci. 68: 1438-1446.
- Pelosi, C.; Barot, S.; Capowiez, Y.; Hedde, M.; Vandenbulcke, F. (2014): Pesticides and earthworms. A review. Agron Sustain Dev 34: 199-228. doi: 10.1007/s13593-013-0151-z.
- Pistocchi, A. (2014): GIS Based Chemical Fate Modeling: Principles and Applications. John Wiley & Sons, First Edition.
- Potts, S. G.; Biesmeijer, J. C.; Kremen, C.; Neumann, P.; Schweiger, O.; Kunin, W. E. (2010): Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. Trends Ecol. Evol. 25: 345-353.

Rainio, J.; Niemela J. (2003): Ground beetles (Coleoptera : Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity and Conservation* 12: 487-506.

Rands, M. R. W. (1985): Pesticide use on cereals and survival of grey partridgechicks: a field experiment. *Journal of Applied Ecology* 22: 49-54.

Reichman, O.J.; Jones, M.B.; Schildhauer, M.P. (2011): Challenges and opportunities of open data in ecology. *Science* 331 (6018): 703-705.

Römbke, J.; Roß-Nickoll, M.; Toschki, A.; Höfer, H.; Horak, F.; Russell, D.; Burkhardt, U.; Schmitt, H. (2012): Erfassung und Analyse des Bodenzustands im Hinblick auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der Nationalen Biodiversitätsstrategie. Texte Nr. 33/2012. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

Römbke, J.; Van Gestel, C. A.; Jones, S. E.; Koolhaas, J. E.; Rodrigues, J. M. L.; Moser, T. (2004): Ring-Testing and Field-Validation of a Terrestrial Model Ecosystem (TME) – An Instrument for Testing Potentially Harmful Substances: Effects of Carbendazim on Earthworms. *Ecotoxicology* 13: 105-118. <https://doi.org/10.1023/B:ECTX.0000012408.58017.08>.

Roßberg, D. (2013): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis im Jahr 2011. *Journal für Kulturpflanzen* 65 (4): 141-151.

Roßberg, D. (2016): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau. *Journal für Kulturpflanzen* 68 (2): 25-37. doi:10.5073/JFK.2016.02.01.

Roßberg D.; Harzer, U. (2015): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Apfelanbau. *Journal für Kulturpflanze*, 67 (3): 85-91. doi:10.5073/JFK.2015.03.01.

Roßberg, D.; Ipach, U. (2015): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Weinbau. *Journal für Kulturpflanzen* 67 (12): 410-416. doi:10.5073/JFK.2015.12.03.

Roßberg D.; Portner, J. (2018): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Hopfen. *Journal für Kulturpflanzen* 70 (1): 25-31. doi:10.1399/JFK.2018.01.03.

Roßberg, D.; Aeckerle, N.; Stockfisch, N. (2017): Erhebungen zur Anwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln in Zuckerrüben. *Gesunde Pflanzen*. doi:10.1007/s10343-017-0389-5.

Roßberg, D.; Dachbrodt-Saaydeh, S.; Helbig, J.; Paap, M.; Kehlenbeck, H. (2018): NEPTUN, PAPA, Vergleichs- und Demonstrationsbetriebe oder Wer hat da noch den Durchblick?. *Gesunde Pflanzen* 70: 139-146. <https://doi.org/10.1007/s10343-018-0421-4>.

Roß-Nickoll, M.; Lennartz, G.; Fürste, A.; Mause, R.; Ottermanns, R.; Schäfer, S.; Smolis, M.; Theißen, B.; Toschki, A.; Ratte, H. T. (2004): Die Arthropodenfauna von grasigen Feldrainen (off crop) und die Konsequenzen für die Bewertung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf den terrestrischen Bereich des Naturhaushaltes. UBA Text Berlin, 10/04: ISSN: 0722-186X, 148 S.

Ruf, A.; Seitz, H.; Römbke, J.; Roß-Nickoll, M.; Theißen, B.; Toschki, A.; Züghart, W.; Blick, T.; Russell, D. J.; Beylich, A.; Rueß, L.; Höss, S.; Büchs, W.; Glante, F. (2013): Soil organisms as an essential element of a monitoring plan to identify the effects of GMO cultivation. Requirements – Methodology – Standardisation. *BioRisk* 8: 73-87.

Rutgers, M.; Jagers op Akkerhuis, G. A. J. M.; Bloem, J.; Schouten, A. J.; Breure, A. M. (2010): Priority areas in the Soil Framework Directive. The significance of soil biodiversity and ecosystem services. RIVM-Report 60737002, 62 S.

Sachteleben, J.; Behrens, M. (2010): Konzept zum Monitoring des Erhaltungszustandes von Lebensraumtypen und Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. BfN-Skripten 278, Bonn - Bad Godesberg, 180 S.

SBR (Schweizerischer Bundesrat) (2017): Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, Bericht des Schweizerischen Bundesrates.

Schäfer, R. B.; Liess, M.; Altenburger, R.; Filser, J.; Hollert, H.; Roß-Nickoll, M.; Schäffer, A.; Scheringer, M. (2019): Future pesticide risk assessment: narrowing the gap between intention and reality. *Environmental Sciences Europe* (19) 31: 21. <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0203-3>.

Schäffer, A.; Filser, J.; Frische, T.; Gessner, M.; Köck, W.; Kratz, W.; Liess, M.; Nuppenau, E. A.; Roß-Nickoll, M.; Schäfer, R.; Scheringer, M. (2018): Der stumme Frühling - Zur Notwendigkeit eines umweltverträglichen Pflanzenschutzes. Diskussion Nr. 16. Nationale Akademie der Wissenschaften - Leopoldina, Halle (Saale), 61 S.

Scholz-Starke, B.; Nikolakis, A.; Leicher, T.; Lechelt-Kunze, C.; Heimbach, F.; Theißen, B.; Toschki, A.; Ratte, H. T.; Schäffer, A.; Roß-Nickoll, M. (2011): Outdoor Terrestrial Model Ecosystems are suitable to detect pesticide effects on soil fauna - Design and method development. *Ecotoxicology* 20: 1932-1948.

Scholz-Starke, B.; Beylich, A.; Moser, T.; Nikolakis, A.; Rumpler, N.; Schäffer, A.; Theißen, B.; Toschki, A.; Roß-Nickoll, M. (2013): The response of soil organism communities to the application of the insecticide lindane in terrestrial model ecosystems. *Ecotoxicology* 22: 339-362. doi 10.1007/s10646-012-1030-0.

Scholz-Starke B.; Trapp M.; Streib L.; Deubert M.; Oellers J.; Fürste A.; Luther S.; Peeters S.; Toschki A.; Roß-Nickoll M. (2016): Landschaftsbezogene Risikominderungsmaßnahmen zur Förderung der terrestrischen Biodiversität - RISKMIN, Bericht für das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit – BVL: 1-174.

Scholz-Starke, B.; Egerer, S.; Schäffer, A.; Toschki, A.; Roß-Nickoll, M. (2017): Higher-tier Multi-species Studies in Soil: Prospects and Applications for the Environmental Risk Assessment of Pesticides. In: Larramendy, M. L., Alves, P. R., Waters, M. D. (Eds.): *Ecotoxicology and Genotoxicology: Non-traditional Terrestrial Models; Issues in Toxicology* 32: 31-58, © The Royal Society of Chemistry 2017, Published by the Royal Society of Chemistry. ISBN: 978-1-78262-811-8. doi: 10.1039/9781788010573.

Schrlau, J.; Geiser, L.; Hageman, K.; Landers, D.; Simonich, S. (2011): Comparison of Lichen, Conifer Needles, Passive Air Sampling Devices, and Snowpack as Passive Sampling Media to Measure Semi-Volatile Organic Compounds in Remote Atmospheres. *Environmental Science & Technology* 45: 10354-10361. doi: 10.1021/es202418f.

Schuch, S.; Wesche, K.; Schaefer, M. (2012): Long-term decline in the abundance of leafhoppers and planthoppers (Auchenorrhyncha) in Central European protected dry grasslands. *Biological Conservation*. Elsevier Ltd, 149 (1): 75-83. doi: 10.1016/j.biocon.2012.02.006.

Schweitzer, C. (2015): Ansätze zum satellitenbasierten Umweltmonitoring im Umweltbundesamt (UBA). Vortrag. Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus. https://www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Forum_2015/Schweitzer_UBA.pdf, aufgerufen am 20.02.2019.

Silva, V.; Mol, H. G. J.; Zomer, P.; Tienstra, M.; Ritsema, C. J.; Geissen, V. (2019): Pesticide residues in European agricultural soils – A hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment* 653: 1532-1545.

Ssymank, A.; Kearns, C. A.; Pape, T.; Thompson, F. C. (2008): Pollinating Flies (Diptera): A major contribution to plant diversity and agricultural production. *Biodiversity* 9 (1/2): 86-89.

Ssymank, A.; Doczkal, D.; Rennwald, K.; Dziöck, F. (2011): Rote Liste und Gesamtartenliste der Schwebfliegen (Diptera: Syrphidae) Deutschlands. Zweite Fassung, Stand April 2008. In: BfN (Hrsg.): *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70 (3): 13-83.

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2018): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2018. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Nachhaltigkeitsindikatoren/Publikationen/>

Downloads-Nachhaltigkeit/indikatoren-0230001189004.pdf?__blob=publicationFile, aufgerufen am 22.08.2020.

Statistisches Bundesamt (2019): Flächennutzung. Bodenfläche insgesamt nach Nutzungsarten in Deutschland. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-insgesamt.html;jsessionid=155BB9FE50FD9B70D6965F034E9F6848.internet8721>. Stand: 18.11.2019, aufgerufen am 22.09.2020.

Stubbs, A. E.; Falk, S. J. (2002): British Hoverflies. An illustrated identification guide. Henry Ling Ltd, The Dorset Press, Dorchester, Dorset: 469 S.

Sudfeldt, C.; Dröschmeister, R.; Wahl, J.; Berlin, K.; Gottschalk, T.; Grüneberg, C.; Mitschke, A.; Trautmann, S. (2012): Vogelmonitoring in Deutschland. Programme und Anwendungen. In: BfN (Hrsg.): Naturschutz und Biologische Vielfalt 119: 257 S.

Sudmann, S. R.; Grüneberg, C.; Hegemann, A.; Herhaus, F.; Mölle, J.; Nottmeyer-Linden, K.; Schubert, W.; von Dewitz, W.; Jöbges, M.; Weiss, J. (2011): Rote Liste und Artenverzeichnis der Brutvogelarten – Aves- in Nordrhein-Westfalen, 5. Fassung, Stand 2008, in LANUV (Hrsg.): Rote Liste der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere in Nordrhein-Westfalen, 4. Fassung, 2011, Band 2 Tiere, Fachbericht 36: 79-158.

Sybertz, A.; Ottermanns, R.; Schäffer, A.; Scholz-Starke, B.; Daniels, B.; Frische, T.; Bär, S.; Ullrich, C.; Roß-Nickoll, M. (2020): Simulating spray series of pesticides in agricultural practice reveals evidence for accumulation of environmental risk in soil. *Science of the Total Environment* 710. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135004>.

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.

Thomas, J. A. (2005): Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society B—Biological Sciences* 360 (1454): 339-357.

Thomas, J. A.; Simcox, D. J.; Hovestadt, T. (2011): Evidence based conservation of butterflies. *Journal of Insect Conservation* 15 (1–2): 241-258.

TI (Thünen-Institut) (2019): Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE-LW). <https://www.thuenen.de/de/ak/projekte/bodenzustandserhebung-landwirtschaft-bze-lw/>, aufgerufen am 12.02.2019. Topalidis V, Harris A, Hardaway CJ, Benipal G, Douvris C (2017): Investigation of selected metals in soil samples exposed to agricultural and automobile activities in Macedonia, Greece using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry. *Microchemical Journal* 130: 213-220. doi: 10.1016/j.microc.2016.09.004.

Toschki, A. (2008): Eignung unterschiedlicher Monitoring-Methoden als Grundlage zum Risk-Assessment für Agrarsysteme - Am Beispiel einer biozöologischen Reihenuntersuchung und einer Einzelfallstudie – RWTH-Aachen, Aachen, 158 S.

Toschki, A.; Jänsch, S.; Roß-Nickoll, M.; Römbke, J.; Züghart, W. (2015): Possibilities of using the German Federal States' permanent soil monitoring program for the monitoring of potential effects of genetically modified organisms (GMO), *Environmental Sciences Europe* 2015, 27:26.

Toschki, A.; Prell, J.; Fürste, A. (2017): Bestandstrend sowie Ursachen für die Bestandsentwicklung von ausgewählten Feldvogelarten. Gutachten im Auftrag von Bündnis90/Die Grünen im Bundestag.

Toschki, A.; Hammers-Wirtz, M.; Scholz-Starke, B.; Roß-Nickoll, M. (2018): Assessment of pesticides on a landscape level - What is basically needed?, Vortrag SETAC Europe 28th Annual Meeting, Rome.

Toschki, A.; Hommen, U.; Klein, M.; Poßberg, C.; Römbke, J.; Roß-Nickoll, M.; Schäffer, A.; Scheffzyk, A.; Schmidt, B.; Scholz Starke, B.; Hammers-Wirtz, M. (2020): Evaluation of the risk for soil organisms under real conditions - Development of a national position in the context of the new European Plant Protection Regulation (EU 1107/2009) UBA Texte Dessau Roßlau.

Trautner, J. (Hrsg.) (2017): Die Laufkäfer Baden-Württembergs, Band 1. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 416 S.

Trautner, J.; Fritze, M.-A.; Hannig, K.; Kaiser, M. (Hrsg.) (2014): Verbreitungsatlas der Laufkäfer Deutschlands/ Distribution Atlas of Ground Beetles in Germany. – BoD – Books on Demand, Norderstedt.

UBA (Umweltbundesamt) (2012): Erfassung und Analyse des Bodenzustands im Hinblick auf die Umsetzung und Weiterentwicklung der Nationalen Biodiversitätsstrategie. UBA Text 33/2012. Dessau-Roßlau.

UBA (Umweltbundesamt) (2017): Umsetzung des Nationalen Aktionsplans zur nachhaltigen Anwendung von Pestiziden - Bestandsaufnahme zur Erhebung von Daten zur Belastung von Kleingewässern der Agrarlandschaft. UBA Text 89/2017. Dessau-Roßlau.

UBA (Umweltbundesamt) (2019): Boden beobachten und bewerten. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/boden-schuetzen/boden-beobachten-bewerten#textpart-1>, aufgerufen am 12.02.2019.

UBA (Umweltbundesamt) (2020): Environmental risks of pesticides between forecast and reality: How reliable are results of the environmental risk assessment for individual products in the light of agricultural practice (tank mixtures, spray series)? UBA-Text xx/2020. Dessau-Roßlau. Im Druck.

UDE (Universität Duisburg-Essen) (2019): Etablierung von Metabarcoding zur Fließgewässerbewertung, https://www.uni-due.de/aquatische_oekosystemforschung/metabarcoding, aufgerufen am 20.02.2019.

Umweltstiftung Michael Otto (2019): Über das Projekt. <https://www.franz-projekt.de/franz>, aufgerufen am 27.02.2019.

UPB (Umweltprobenbank) (2014): Konzeption. https://www.umweltprobenbank.de/upb_static/fck/download/UPB_Konzeption_2014_de.pdf, aufgerufen am 13.02.2019.

UPB (Umweltprobenbank) (2019): Grundlagen. <https://www.umweltprobenbank.de/de/documents/10017>, aufgerufen am 12.02.2019.

VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (2014): VDI 4331, Blatt1 / Part 1, Monitoring der Wirkung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO)- Wirkung auf Bodenorganismen. Verein Deutscher Ingenieure; Berlin.

Wahl, J.; Dröschmeister, R.; Gerlach, B.; Grüneberg, C.; Langgemach, T.; Trautmann, S.; Sudfeldt, C. (2015): Vögel in Deutschland - 2014. Münster, DDA, BfN, LAG VSW.

Wesche, K.; Schuch, S.; Bock, J. (2014): Diversitätsverluste und faunistischer Wandel in ausgewählten Insektengruppen des Grünlands seit 1950. *Natur und Landschaft* 89 (09/10): 417-421.

Westrich, P.; Frommer, U.; Mandery, K.; Riemann, H.; Ruhnke, H.; Saure, C.; Voith, J. (2011): Rote Liste und Gesamtartenliste der Bienen (Hymenoptera, Apidae) Deutschlands. In: BfN (Hrsg): *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70 (3): 373-416.

Wilkinson, M. D.; Dumontier, M.; Aalbersberg, I. J.; Appleton, G.; Axton, M.; Baak, A.; Blomberg, N.; Boiten, J. W.; da Silva Santos, L. B.; Bourne, P. E.; Bouwman, J.; Brookes, A. J.; Clark, T.; Crosas, M.; Dillo, I.; Dumon, O.; Edmunds, S.; Evelo, C. T.; Finkers, R.; Gonzalez-Beltran, A.; Gray, A. J.; Groth, P.; Goble, C.; Grethe, J. S.; Heringa, J.; t Hoen, P.A.; Hooft, R.; Kuhn, T.; Kok, R.; Kok, J.; Lusher, S. J.; Martone, M. E.; Mons, A.; Packer, A. L.; Persson, B.; Rocca-Serra, P.; Roos, M.; van Schaik, R.; Sansone, S.A.; Schultes, E.; Sengstag, T.; Slater,

T.; Strawn, G.; Swertz, M. A.; Thompson, M.; van der Lei, J.; van Mulligen, E.; Velterop, J.; Waagmeester, A.; Wittenburg, P.; Wolstencroft, K.; Zhao, J.; Mons, B. (2016): The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci Data* 3, Article Nr: 160018.

Wilson, J. D.; Morris, A. J.; Arroyo, B. E.; Clark, S. C.; Bradburry, R. B. (1999): A review of the abundance and diversity of invertebrate and plant foods of granivorous birds in northern Europe in relation to agricultural change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 75: 13-30.

Yang, R.; Zhang, S.; Li, X.; Luo, D.; Jing, C. (2016): Dechloranes in lichens from the southeast Tibetan Plateau: Evidence of long-range atmospheric transport. *Chemosphere* 144: 446-451.

ZFMK (Zoologisches Forschungsmuseum König) (2019): GBOL- German Barcode of Life. <https://www.zfmk.de/de/forschung/projekte/gbol-german-barcode-of-life>, aufgerufen am 20.02.2019.

A Anhang

Tabelle A1: Pflanzenschutzmittel-Erhebungen zur Ermittlung des Belastungszustands

	Räumliche Auflösung der Daten					
	PAPA-Erhebung (deutschlandweit)	NAP-Erhebung (Netz Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz)	Behandlungsindex pro km ² (Bsp. BRSF) (anhand von Schlaggeometrien)	Anonymisierte Spritzserien pro km ² (Bsp. ÖFS)	Behandlungsindex pro Ackerfläche (BAF)	Spritzserie pro Ackerfläche (BAF)
Datenzugang	Die Daten sind frei zugänglich.	Die Daten sind frei zugänglich.	Die Daten sind teilweise nicht frei zugänglich.	Die Daten sind nicht frei zugänglich.	Die Daten sind frei zugänglich.	Die Daten sind nicht frei zugänglich.
Auflösung der Daten	Die Daten stehen für Gesamtdeutschland zur Verfügung und basieren auf Auswertungen von Vergleichsbetrieben.	Die Daten stehen teilweise in der Auflösung der "Großregion Ackerbau" (Norden, Osten, Süden, Westen) zur Verfügung. Für den Tafelapfel sind die Werte für die Großregionen Norden, Süden, Mitte verfügbar. Werte für weitere Kulturen sind nur für Gesamtdeutschland verfügbar.	Ein Wert pro km ² .	Informationen zu ausgebrachten Produkten und wirkstoffspezifischen Einzelwerten pro km ² .	Ein Wert pro Ackerfläche (kulturbezogen, aber flächenspezifisch aus allgemeiner bundesweiter PAPA-Erhebung).	Für die ausgewählten Ackerflächen ist die ausgebrachte Spritzserie bekannt.
Verfügbare Werte	Behandlungsindex, sowie Behandlungshäufigkeit der verschiedenen Wirkstoffklassen (Fungizid, Herbizid, Insektizid, Wachstumsregler).	Behandlungsindex der verschiedenen Wirkstoffklassen (Fungizid, Herbizid, Insektizid, Wachstumsregler).	Die Behandlungsindex aller Schlaggeometrien innerhalb eines Quadratkilometers werden proportional zu ihrem Flächenanteil umgerechnet zu einem Behandlungsindex pro km ² .	Die ausgebrachten Produkte, Wirkstoffe und Aufwandmengen der einzelnen Ackerflächen innerhalb eines Quadratkilometers werden zusammengefasst.	Behandlungsindex, sowie Behandlungshäufigkeit der verschiedenen Wirkstoffklassen (Fungizid, Herbizid, Insektizid, Wachstumsregler).	Für jede Ackerfläche liegen Daten zu der ausgebrachten Spritzserie mit Informationen zu den Produkten, Wirkstoffen, Aufwandmengen und dem Applikationstermin vor.
	Wirkstoffranking für Fungizide, Insektizide, Herbizide und Wachstumsregler.			Umrechnung in andere PSM-Endpunkte (z. B. BI, TU) im vergleichenden Monitoring möglich.	Wirkstoffranking für Fungizide, Insektizide, Herbizide und Wachstumsregler.	Umrechnung in andere PSM-Endpunkte (z. B. BI, TU) im vergleichenden Monitoring möglich.
	Ranking für Wirkstoffmengen und Behandlungsflächen anhand von				Ranking für Wirkstoffmengen und Behandlungsflächen anhand von	

Räumliche Auflösung der Daten						
	Schätzwerten.				Schätzwerten.	
Kulturen	Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Apfel, Wein, Hopfen	Werte für Norden, Süden, Mitte oder Westen & Osten: Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Tafelapfel	Alle PAPA-Kulturen die innerhalb des berechneten Quadratkilometers angebaut werden.	Für die Kulturen, die auf den jeweiligen Ackerflächen innerhalb des Quadratkilometers angebaut werden.	Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Apfel, Wein, Hopfen	Für die Kultur, die auf der jeweiligen Ackerfläche angebaut wird.
		Werte für Gesamtdeutschland: Kartoffel, Mais, Triticum, Winterroggen, Zuckerrüben, Frischkohl, Möhren, Spargel, Zwiebeln, Wein, Hopfen				
Bemerkung	Bei dieser Erhebung werden Behandlungsindizes für Gesamtdeutschland berechnet. Die spezifischen Pflanzenschutzmittel, die in diesem Bereich ausgebracht wurden, sind nicht bekannt. Zudem können nur die Kulturen berücksichtigt werden, die in der Erhebung untersucht wurden.	Bei dieser Erhebung werden Behandlungsindizes für Gesamtdeutschland und einige Großregionen berechnet. Die genauen Pflanzenschutzmittel, die in diesem Bereich ausgebracht wurden, sind nicht bekannt. Zudem können nur die Kulturen berücksichtigt werden, die in der Erhebung untersucht wurden.	Bei dieser Erhebung werden die bundesweiten Behandlungsindizes auf einen Quadratkilometer umgerechnet. Die genauen Pflanzenschutzmittel, die in diesem Bereich ausgebracht wurden, sind nicht bekannt. Zudem können nur die Kulturen berücksichtigt werden, die in der PAPA-Erhebung untersucht wurden.	Innerhalb eines Quadratkilometers ist bekannt welche Produkte, Wirkstoffe und Aufwandmengen ausgebracht wurden ("Spritztagebücher" d. Landwirte). Somit sind die Pflanzenschutzmittel, mit denen die Lebensgemeinschaften innerhalb dieses Quadratkilometers exponiert sein könnten bekannt. Anonymisierte Verarbeitung auf BRSF-Ebene könnte ein datenschutzrechtlicher Vorteil sein.	Für die Kulturen des jeweiligen BAF werden die ermittelten BI der bundesweiten Erhebung als Vergleichswert herangezogen. Die spezifischen Pflanzenschutzmittel, die in diesem Bereich ausgebracht wurden, sind nicht bekannt. Zudem können nur die Kulturen berücksichtigt werden, die in der Erhebung untersucht wurden.	Für jede untersuchte Ackerfläche ist bekannt, welche Wirkstoffe, Produkte und Aufwandmengen wann ausgebracht wurden ("Spritztagebuch" d. Landwirte). Alle Pflanzenschutzmittel, mit denen die Organismen im Bereich dieser Ackerfläche in Kontakt gekommen sein könnten, sind bekannt.

Tabelle 13: Überblick über die Datenbankstruktur der geplanten Monitoringmodule, ihrer jeweiligen Tabellen und den zu enthaltenden Variablen/Informationen (Siehe Kapitel 5.5., Beispielszenario NRW).

Monitoring-Modul	Tabellen des Moduls	Variablen
BAF_sites	BAF_sites_info	Sites_ID Site_Nr Site_Name Site_BAF_or_iBAF Site_Bundesland Site_Biotopkomplex Site_Landschaftsraum Site_GIS_geom ...
Modul_Biodiversität	Modul_Biodiv_sites	Sites_ID Biotop
	Modul_Biodiv_samples	Sites_ID Sample_ID Sample_Replikat Datum Modul_Untergruppe Taxa_ID Sample_Typ Sample_Dauer Wert Einheit Kommentar ...
	Modul_Biodiv_taxalist	Taxa_ID Famile Gattung Art ...

Monitoring-Modul	Tabellen des Moduls	Variablen
Modul_PSM	Modul_PSM_sites	Sites_ID Biotop Ackerkultur
	Modul_PSM_samples	Sites_ID Sample_ID Sample_Replikat Datum Wirkstoff_ID Sample_Typ Sample_Dauer Wert Einheit Kommentar ...
	Modul_PSM_properties	Wirkstoff_ID Substanz_ID PSM_Typ Status_Zulassung CAS-Nummer Koc LCx_taxa ...
Modul_Struktur	Modul_structure_sites	Sites_ID Biotop ...
	Modul_structure_samples	Sites_ID Sample_ID Sample_Replikat Datum Modul_Untergruppe Sample_Typ Wert Einheit Kommentar ...