

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

Zusammenfassung

von

Andreas Toschki, Johanna Oellers, Quintana Rumohr
Forschungsinstitut gaiac an der RWTH Aachen, Aachen

Martina Roß-Nickoll, Benjamin Daniels, Andreas Schäffer, Alexandra Sybertz
Institut für Umweltforschung, RWTH Aachen, 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 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 2020

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

Zusammenfassung

Hintergrund

In den letzten Jahrzehnten ist sowohl in Deutschland als auch in weiten Teilen der Welt ein fortschreitender Rückgang der Biodiversität zu beobachten. 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. Für landwirtschaftlich geprägte Ökosysteme, die zugleich über 50 % der deutschen Landesfläche ausmachen, trifft dies in besonderem Maße zu.

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, Agrarkultur – angepasst. Die Intensivierung der Landwirtschaft, die aus einem schwer trennbaren und miteinander in Beziehung stehenden Faktorenkomplex besteht (z. B. Technisierung, Düngung, Pestizidanwendung, Anbau von Monokulturen), gilt als eine der Ursachen für den Rückgang der Artenvielfalt. Ein besonders gewichtiger Einflussfaktor ist dabei der Einsatz von Pestiziden (auch Pflanzenschutzmittel [PSM]) in der Landwirtschaft.

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 das Samenangebot als Basis der Nahrungsketten.

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. So deckt beispielsweise der im regulatorischen Prozess angewandte Sicherheitsfaktor die Sensitivitätsunterschiede verschiedener Regenwurmarten im Boden nicht ab. 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. Zweifel daran lassen sich vor allem an dem alarmierenden Rückgang der Biodiversität, insbesondere in der Agrarlandschaft, festmachen.

Zurzeit existiert national keine ausreichende Datengrundlage, um die Entwicklung der Biodiversität in der Agrarlandschaft wissenschaftlich belastbar bewerten zu können. 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. Eine systematische, bundesweite und transparente Erfassung findet nicht statt. In terrestrischen Ökosystemen der Agrarlandschaft existiert zum heutigen Zeitpunkt kein umfassendes umweltanalytisches Monitoring von Pestiziden, so dass bislang Korrelationen zwischen der Ausbringung von PSM und den beobachteten Effekten systematisch nicht 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) 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 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. Um den Zustand der betroffenen Schutzgüter in der Agrarlandschaft genau beschreiben und direkte Zusammenhänge analysieren zu können, müssen aber 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 Bedingungen, notwendig. Zudem ist die regionale Spezifität, die mit dem landschaftstypischen Biodiversitätspotential eng verknüpft ist, als Basis zu berücksichtigen. Aus diesen Gründen sind organismische, ökotoxikologische, umweltchemische und landschaftsbezogene Expertisen für ein integratives Monitoring erforderlich.

Bestehende Monitoring- und Forschungsvorhaben sowie bestehende konzeptionelle Ansätze mit Bezug zum Vorhaben

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 bzw. zurzeit entwickelt werden. Einige dieser Monitoringaktivitäten 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 könnten.

In Hinblick auf stoffliches Monitoring hat die Recherche ergeben, dass in Deutschland keine routinemäßigen und umfassenden Boden-Monitoring-Programme für Pestizide und deren Metaboliten existieren, obwohl der Boden unverzichtbare Ökosystemdienste leistet, wie z. B. die Nährstoffversorgung von Pflanzen als Basis der Nahrungsketten, Grundwasserbereitstellung, Filtration schädlicher Umweltchemikalien, Stoffkreisläufe und Klimaregulation.

In die verschiedenen Aktivitäten sind zahlreiche Akteure involviert, die in unterschiedlichen Beziehungen zueinanderstehen. Die Ergebnisse der Recherche werden im Bericht im Einzelnen dargestellt.

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. Feldraine, Hecken, Gewässerränder und Gewässer. Ursachen sind neben dem direkten Overspray u. a. auch Abdrift oder Run-off Prozesse. Jeder dieser angrenzenden Lebensräume besitzt eine dem Lebensraum (Biotoptyp) angepasste Lebensgemeinschaft (Biozönose) aus u. a. Pflanzen und Tieren, die typisch und charakterisierbar ist. 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 Aufwandmengen 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.

Um die beobachtete Biodiversität mit den entsprechenden Belastungen in Beziehung setzen und Ursachen von Veränderungen der Lebensgemeinschaften aufdecken zu können, ist ein gemeinsamer räumlicher und ökologischer Bezug der verschiedenen Messungen notwendig, der das Wirkungsgefüge direkt abbildet (siehe Abbildung 1). Die Einrichtung bzw. Nutzung eines Erhebungsrasters, das die Verknüpfung der verschiedenartigen Messungen gewährleistet, ist daher als essentielle Basis anzusehen.

Mit Hilfe des Erhebungsrasters müssen räumlich-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 jeweiligen Erhebungen auch im selben Biotoptyp (Pflanzengesellschaft, Nutzungstyp, Landschaftstyp etc.) stattfinden.

Bei der Auswahl der zu untersuchenden Taxa müssen 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 Wirkungen innerhalb der komplexen Nahrungsnetze abzudecken,

unterschiedlichen trophischen Ebenen angehören. Des Weiteren sollten die natürlichen Arealgrenzen, die Seltenheit sowie der naturschutzfachliche Wert von Arten in die Auswahl der Indikatorgruppen einbezogen werden (vgl. BfN, einheitlicher Methodenleitfaden „Insekten Monitoring“).

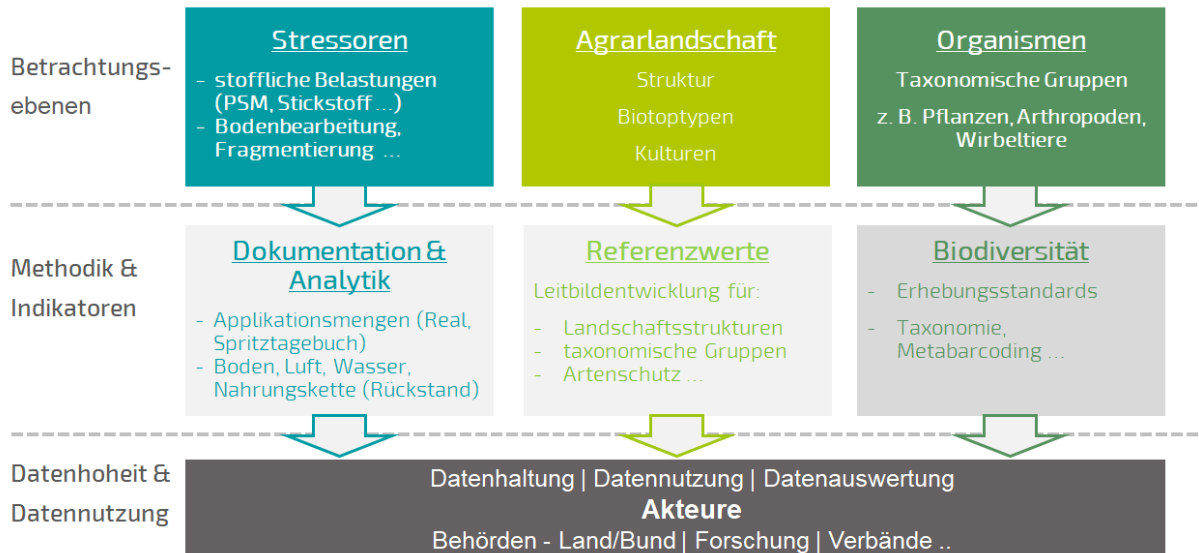


Abbildung 1: Struktureller Aufbau eines integrierten Monitorings von Pflanzenschutzmitteln (PSM) im Freiland

Bei der Auswahl der Artengruppen fällt 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 vergleichbar machen zu können. Außerdem unterliegen biologische Systeme bzw. Populationen einer phänologischen Entwicklung im Jahresverlauf, an die entsprechende Erfassungsmethoden angepasst werden müssen.

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. Ein grundsätzliches Ziel des Konzepts ist die Nutzung von Synergieeffekten, die durch die Integration des Vorhabens in andere, bestehende Monitoring-Aktivitäten entstehen sollen.

Fachliche Voraussetzungen für die Aufnahme von Pestiziddaten

Für die Analytik von Boden- und Organismenproben sollte, sofern Information dazu vorliegen, eine applikationsbezogene Probenahme erfolgen. Da in der typischen Agrarpraxis mehrere Pestizid-Applikationen erfolgen – bis zu zwanzig Anwendungen in einer Saison, zuweilen auch häufiger – sind mehrere Zeitpunkte der chemischen Analytik innerhalb der Wachstumsperiode unter Berücksichtigung der Anwendungszeiten der Wirkstoffe einzuplanen. Dabei sollten Proben für die chemische Analytik aus dem Oberboden (0 cm bis 10 cm Tiefe) und den darunterliegenden Schichten (10 cm bis 50 cm Tiefe) entnommen werden. Für einen

praktikablen Ansatz, mit dem möglichst viele Wirkstoffe analysiert werden können, eignen sich generell anwendbare Extraktionsmethoden wie beispielsweise 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.

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 zwischen den Belastungen und deren ökologischen Auswirkungen herstellen zu können. Dabei sollten sowohl direkt exponierte Flächen als auch indirekt belastete Landschaftselemente berücksichtigt und die jeweiligen relevanten Eintragspfade abgedeckt werden. Neben dem Overspray der in-crop-Flächen werden so auch die Drift und der Run-Off auf benachbarte off-crop-Elemente in die Untersuchung einbezogen.

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.

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 Statistiken ermöglicht. Der Aufbau eines geeigneten Informationssystems ist daher eine wesentliche 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 qualitative Mindestanforderungen einer harmonisierten Datenerhebung, Datenspeicherung und Datenbereitstellung erarbeitet und in das Konzept integriert. Wichtige Kriterien für die Anwendung einer harmonisierten Datenbankstrategie (siehe Abbildung 2) werden im Bericht dargestellt.

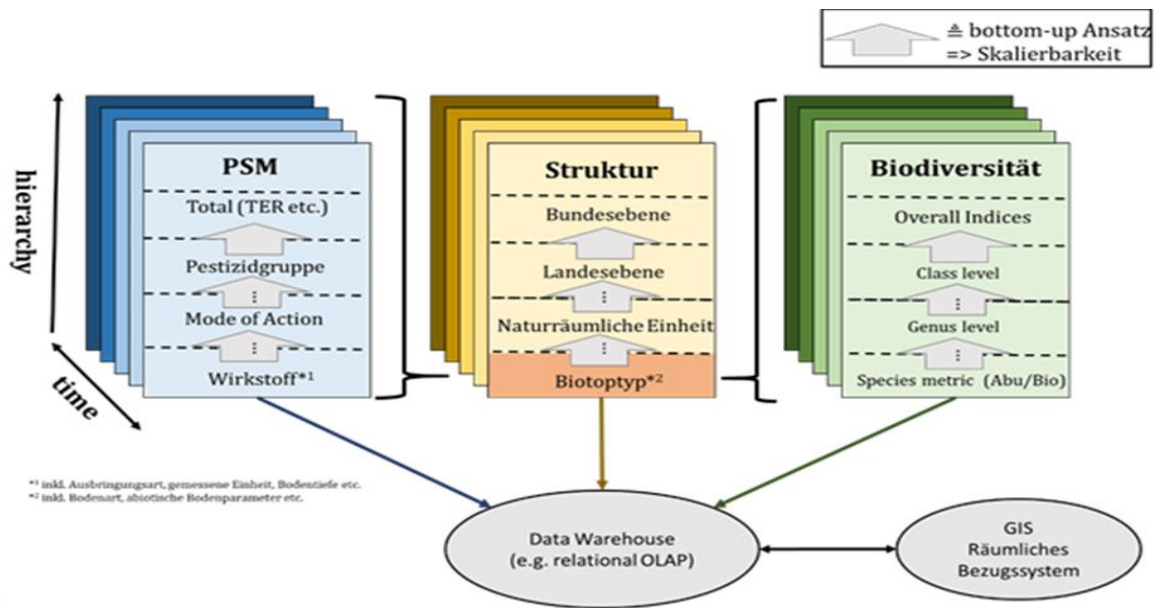


Abbildung 2: Hierarchisches Schema des strukturellen Aufbaus der notwendigen Daten eines nationalen PSM- & Biodiversitätsmonitorings in der Agrarlandschaft

Konzept und Ausgestaltung eines integrierten Monitorings von Pflanzenschutzmitteln in der Agrarlandschaft

An das Design eines „integrierten Monitorings in der Agrarlandschaft zur ökologischen Wirkung von Pflanzenschutzmitteln“ (IMoP) werden folgende Minimalanforderungen gestellt:

1. Betrachtung räumlicher Biotop-Komplexe
2. Erfassung der Vegetation zur Bestimmung des Biotoptyps
3. Biotoptypengenaue Erfassung ausgewählter und repräsentativer Indikatoren der Biozönose sowie allgemeiner Standortdaten
4. Spezifische Mindestanforderungen an die PSM-Messung
5. Gewährleistung einer für die Agrarlandschaft repräsentativen Stichprobe
6. Modularer Aufbau

Hinsichtlich dieser Aspekte bestehen zum Teil große Synergien mit anderen Monitoring-Aktivitäten auf den „Bundesweit Repräsentativen Stichprobenflächen“ (BRSF).

Zu 1.: Da es sich bei den BRSF um 1 x 1 km² große Ausschnitte in der Landschaft handelt, ist es möglich, Biotop-Komplexe gezielt auszuwählen.

Zu 2.: Im Rahmen des Ökosystem-Monitorings sind standardisierte Biotoptypenkartierungen geplant. Dazu notwendige vorherige Abgleiche mit den verschiedenen Biotoptypenschlüsseln aus den unterschiedlichen 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 gestartet. Untersuchungen existieren bereits in Nordrhein-Westfalen sowie in Baden-Württemberg.

Zu 4.: Die PSM-Messungen können aufgrund der erfassten Biotoptypen bzw. Landschaftselemente auf den BRSF flächenscharf und in unmittelbarer Nähe zu den Biodiversitätserhebungen im realen Wirkungsgefüge 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.

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. Um den Zeit- und Kostenaufwand für das integrierte Monitoring zu minimieren, ist es sinnvoll, auf diese Erhebungen bzw. Module zurückgreifen zu können.

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 im Hinblick auf den oben beschriebenen minimal notwendigen Probenahme-Umfang 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.)
- ▶ Acker – Grünland (z. B. grasige Feldraine)
- ▶ Acker – Uferstreifen

Der jeweilige Ausschnitt innerhalb der Stichprobenfläche wird als „**Bundesweites Agrar-Fenster (BAF)**“ bezeichnet (siehe Abbildung 3). 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.

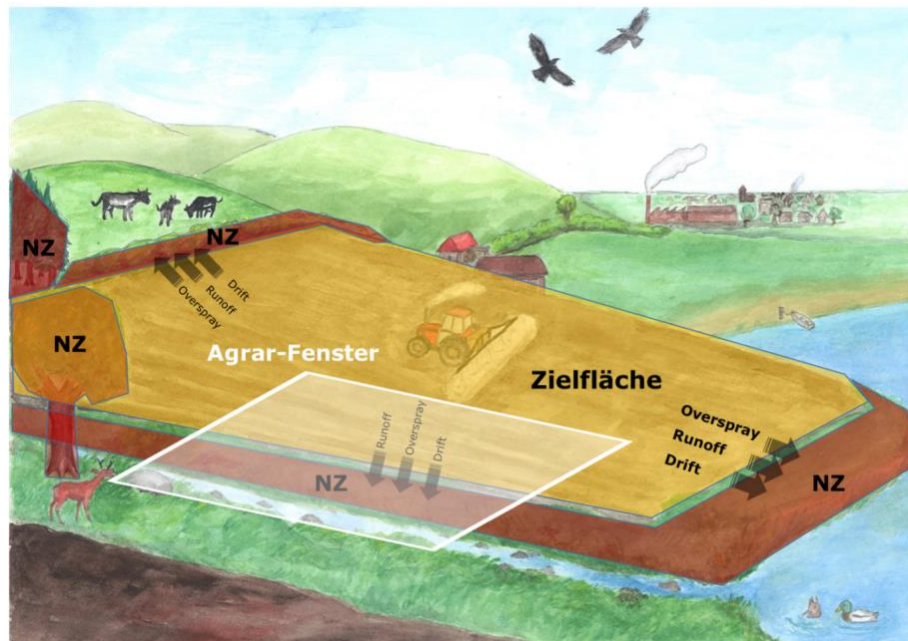


Abbildung 3: Schematische Darstellung der räumlichen Lage Bundesweiter Agrar-Fenster (BAF); NZ = Nicht-Zielfläche

Gestufferter Ansatz des Monitoringkonzepts

Die Umsetzung der Monitoringmodule in den BAF und iBAF bzw. auf der gesamten BRSF ist in verschiedenen Stufen geplant (siehe Abbildung 4):

Stufe 1: Hier sind solche Module in den BAF vorgesehen, die ohne weitere bzw. aufgrund ihrer bereits erfolgten Erprobung (z. B. 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.

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.

In 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.

Monitoring Elemente	Stufe 1	sofort umsetzbar	BAF
		durch Kooperationen/Erweiterungen mit/von bestehenden Programmen	iBAF
	Erprobung von bestehenden/etablierten Methoden		
	<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	iBAF
Entwicklung/Erprobung neuer Methoden			
<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	iBAF	
	Weiterentwicklung bestehender Methoden Untersuchung aktueller PSM Fragestellungen		
	<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>		

Abbildung 4: Schematische Darstellung der stufenweisen Umsetzung von Monitoringmodulen im Rahmen des integrierten Monitorings zur Erfassung der Auswirkungen des chemischen Pflanzenschutzes

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 5 bietet einen Überblick, welche der aufgeführten Pestizidindikatoren mit welchen Biodiversitätsindikatoren korrespondieren und ausgewertet werden können. Des Weiteren wird aufgezeigt, welche sonstigen Indikatoren aus bereits existierenden Monitoringprogrammen ggf. einbezogen werden könnten.

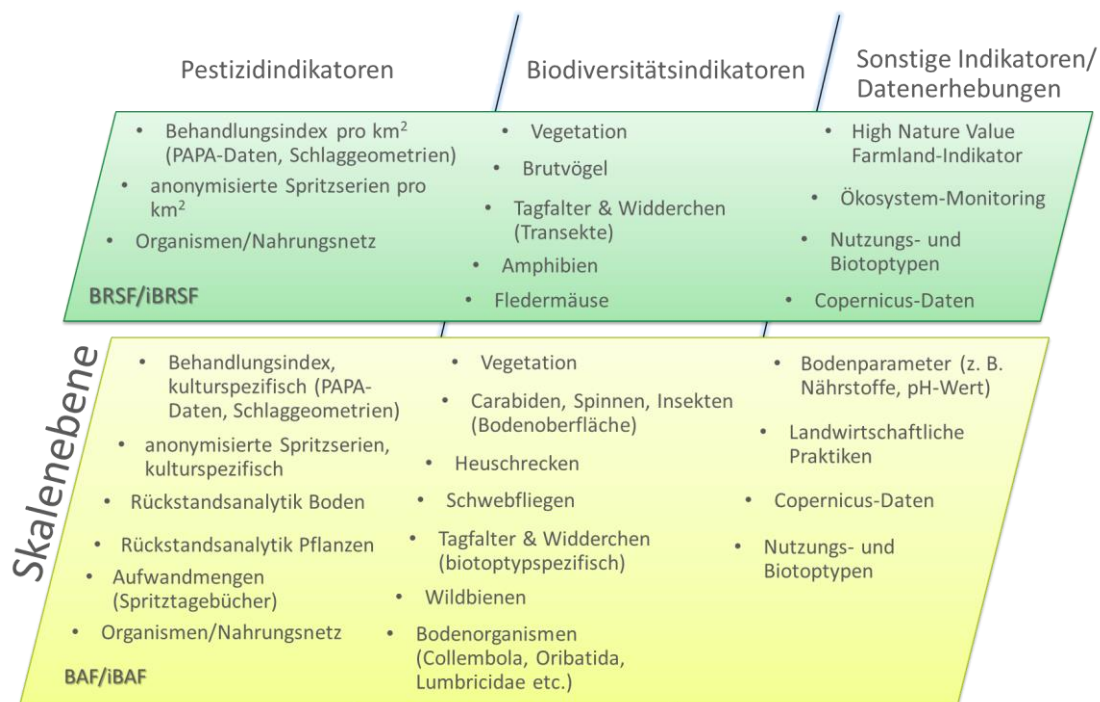


Abbildung 5: Einordnung der verschiedenen Indikatoren in die beiden räumlichen Skalenebenen, in denen eine gemeinsame Auswertung möglich ist

Vernetzungsstruktur

Das vorliegende Konzept ist darauf ausgerichtet, deutschlandweit Daten zu Biodiversität, dem 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 6):

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

Um Synergien verschiedener, teilweise bestehender Monitoringprogramme verwenden zu können, sollten die Daten möglichst von den BRSF-Betreibern, d. h. den Behörden der einzelnen Bundesländer, erhoben 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. 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 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 zusammensetzen sollte. 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.

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.

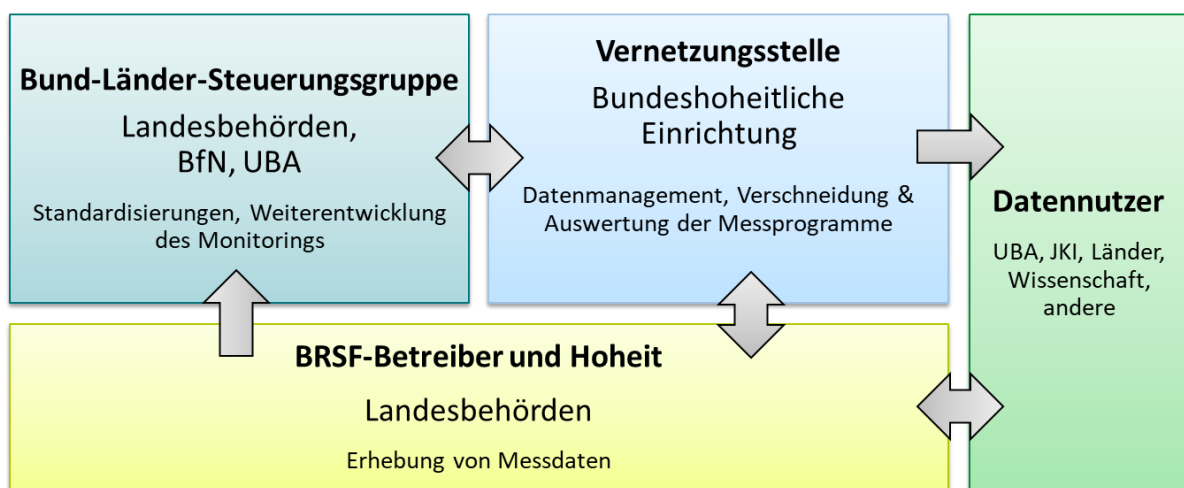


Abbildung 6: Schlüsselakteure und Vernetzungsstruktur des integrierten Pestizid-Monitorings. Verändert nach Kaufmann-Boll et al. (2020)

Fazit und abschließende Beurteilung der Möglichkeiten und Grenzen der Realisierbarkeit

Ziel des Projektes war es, ein übergreifendes Monitoringkonzept für die terrestrische Agrarlandschaft zu entwickeln, das die Belastung der Landschaft durch chemische Pflanzenschutzmittel und deren Auswirkung auf die Biodiversität erfasst. Mit der Umsetzung eines integrierten Monitoringansatzes soll der Einfluss des chemischen Pflanzenschutzes auf die Biodiversitätsentwicklung sichtbar gemacht werden und helfen, Korrelationen in diesem komplexen Wirkungsgefüge aufzudecken. Der Projektbericht beinhaltet eine Übersicht bereits bestehender Monitoring-Aktivitäten und die Darstellung des aktuellen Forschungsstands sowie eines konzeptionellen Ansatzes, der eine Zusammenstellung der Anforderungen, die stufenweise Umsetzung des Monitorings einschliesslich einer ungefähren Kostenabschätzung sowie die strukturelle Machbarkeit umfasst.

Summary

Background

In recent decades, a progressive decline in biodiversity has been observed in Germany and in large parts of the world. Indicators collected as part of the National Sustainability Strategy (NHS) and the National Biodiversity Strategy (NBS), such as the indicators "biodiversity and landscape quality" and "high nature value farmland" (HNVF), confirm this downward trend. They regularly fail to meet their target values. This is particularly true for agriculturally dominated ecosystems, which at the same time account for more than 50 % of Germany's land area.

Biodiversity in agricultural landscapes is created both by the diversity of elements in a landscape area and by qualitatively different peculiarities of these landscape elements. Each agricultural landscape type or landscape element type has a regionally specific species inventory due to different climatic, edaphic, land use-dependent and other factors (e. g. distribution areas of plants and animals). The different taxa are adapted to the habitat - structure, biotope, culture - in the connected structure of the biocenosis. The intensification of agriculture, which consists of a complex of factors that are difficult to separate and are interrelated (e. g. mechanisation, fertilisation, pesticide applications), is one of the causes of the decline in species diversity. The use of pesticides (also plant protection products [PPPs]) in agriculture is highlighted as a particularly weighty influencing factor.

The effects of pesticides on biodiversity are both direct and indirect. In addition to direct toxic effects on organisms that should not be affected, serious indirect effects occur. For example, the use of herbicides destroys the competitive balance between organisms and taxonomic groups of higher trophic levels who lose their food base. Especially for herbivorous animals, the increasing use of herbicides, which are not only used to control weeds but also to control maturation processes (siccation), reduces the supply of wild weeds as well as seeds as the basis of food chains.

On the basis of the Europe-wide directive in plant protection law (EC 1107/2009), it is stipulated that the application of PPPs must not have any unacceptable effects on biodiversity. With this EU law, biodiversity has been elevated to the status of a legally binding protection goal good. The assessment of the hazard potential of PPPs and biocides on biodiversity is currently based on the concept of prospective assessment, in which the results of ecotoxicological standard tests with usually only a few proxy species are used for the overall risk assessment. One of the concerns is the varying sensitivity of diverse proxy species. Just as one example, the safety factor used in the regulatory process does not cover the sensitivity differences of different earthworm species in soil. In this sense, the risk to the complex systems of the agricultural landscape (populations, communities in the field, biodiversity) is derived on the basis of simple practicable methods and the resulting uncertainties are compensated by safety factors. The extent to which this concept of proxy species is suitable for assessing the potential threats to aquatic and terrestrial communities remains uncertain. Doubts about this can be found above all in the alarming decline of biodiversity, especially in agricultural landscapes.

At present, there is no sufficient national data basis for a scientifically reliable assessment of the development of biodiversity in the agricultural landscape. This data basis is also lacking for the bioactive chemicals used: It is generally unknown which pesticides are used where, how often and in what quantity, unless the farmer voluntarily shares the relevant information upon request. In terrestrial ecosystems of the agricultural landscape, no comprehensive environmental monitoring of pesticides exists at present, so that no correlations between the application of PPPs and the observed effects could be systematically shown so far. Consequently, a scientifically sound assessment of the influence of pesticides on biodiversity in the complex of

multidimensional effects (various abiotic and biotic parameters as well as anthropogenic impacts, such as nutrients, climate, land use and habitat quality) is not yet possible or only possible to a very limited extent.

The National Biodiversity Strategy (NBS) explicitly formulated the goal of improving the database on the status and development of biodiversity in Germany. The Nature Conservation Offensive 2020 also points to the need to introduce comprehensive biodiversity monitoring. In its entirety, ecological effects of chemical plant protection can only be recorded retrospectively by means of integrated (ecosystem) environmental monitoring. In order to be able to precisely describe the condition of the affected protected goods in the agricultural landscape and to analyze direct relationships, chemical-analytical determinations of PPP residues (exposure monitoring) must be coupled with biological effect studies or ecological indicators (effect monitoring). The inclusion of additional influencing factors, such as the application of fertilizers, mechanical tillage of the soil or climatic measured variables, is necessary. Furthermore, the regional specificity, which is closely linked to the landscape-typical potential of biodiversity, has to be considered as a basis. For these reasons, organismic, ecotoxicological, environmental chemistry, and landscape expertise are required for an integrative monitoring.

Existing monitoring and research projects as well as existing conceptual approaches related to the project

At the beginning of the research project, a comprehensive research was conducted with the aim to identify monitoring programs or initiatives that could potentially be used for the objectives of the present project. The result is that several long-term monitoring programs with different backgrounds and frameworks are already in place. Some of these monitoring activities take place nationwide and according to standardized methodology and record different parameters, such as biodiversity or individual environmental factors. In some cases, selected plots in different habitat types have been established according to specific criteria and are studied at defined intervals. Other projects are more regionally limited and some more comprehensive monitoring approaches are currently in the planning phase. In addition, various initiatives and concepts exist to develop and implement methods that may be usable for an integrated monitoring of pesticide exposure in normal landscapes.

In Germany, no routine and comprehensive soil monitoring programs for pesticides and their metabolites exist, although soil provides indispensable ecosystem services to life on earth, such as nutrient supply to plants as the basis of food chains, groundwater supply, filtration of harmful environmental chemicals, material cycling, and climate regulation. Of the few soil sample plots studied as part of the operation of the Environmental Sample Bank (UPB), only a few are located in agricultural areas. In addition, the range of active substances investigated for the UPB is very small compared to the number of products used in Germany.

Numerous actors are involved in the various activities and have different relationships with each other. The results of the research are presented in detail in the report.

Theoretical requirements and technical prerequisites for recording the influence of chemical pesticides on biodiversity

The aim of an integrated monitoring is to record and assess the effects of chemical plant protection products on biodiversity in the agricultural landscape. In the agricultural landscape, PPPs are largely applied in a targeted manner on so-called in-crop areas, i. e. on farmland. Direct or indirect effects on adjacent habitats, such as field margins, hedgerows, watercourse margins and water bodies, cannot be excluded. Causes include direct overspray as well as drift or run-off processes. Each of these adjacent habitats have a biotic community (biocenosis) adapted to the habitat (biotope type) and consisting of plants and animals, which is typical and can be

characterized. In order to evaluate the influence of PPPs, it is therefore necessary to investigate any effects of PPP use on the target area as well as on the spatially adjacent non-target areas on a biotope type-specific basis. In this regard, it is necessary to investigate the application rates of the various PPPs as well as their possible residues in the soil and in the organisms together with the biotope type-specific (or biotope complex-specific) changes in the biotic community in a spatial as well as temporal context. Since other factors besides PPPs (fertilization, soil cultivation, type of management, etc.) can also cause changes in the biotic communities, it is necessary to record these as well.

In order to be able to relate the observed biodiversity to the corresponding stressors and to detect causes of changes in the biotic communities, a common spatial as well as ecological reference of the different measurements is necessary (see Figure 1). The establishment or use of a survey grid, which ensures the linkage of the different measurements, is therefore an essential basis.

With the help of the survey grid, spatial-ecological as well as temporal links between stressors and biodiversity have to be mapped. While the spatial and temporal relationship is ensured by recording at the same location in an immediate temporal sequence, the spatial-ecological relationship is ensured by the fact that the respective surveys also take place in the same biotope type (plant community, land use type, landscape type, etc.).

When selecting the taxa to be surveyed, those that are representative of species communities in agricultural habitats must be chosen. They should both colonize the existing essential landscape structures (field, grassland, hedgerow, etc.) and, in order to cover as many functions within the complex food webs as possible, belong to different trophic levels. Furthermore, the natural range limits, the rarity as well as the conservation value of species should be included in the selection of indicator groups (cf. BfN, uniform method guide "Insect Monitoring").

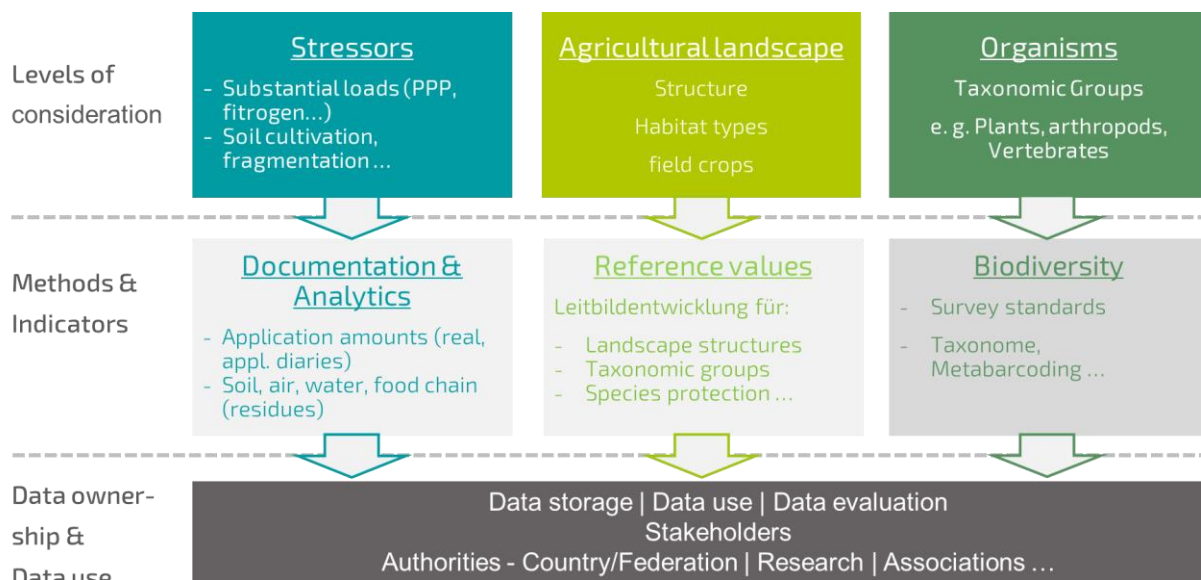


Figure 1: Structural set-up of an integrated monitoring of plant protection products (PPPs) in the field

When selecting the species groups, the survey methodology is also important, with particular attention being paid to the use of practicable and standardized methods. This is particularly necessary for quantitative data collection over several years in order to be able to reproduce the results and make them comparable. In addition, biological systems or populations are subject to phenological development over the course of the year, to which corresponding recording methods must be adapted.

Practical requirements also include the time and financial effort that must be adapted to the requirements of the surveys in a balancing process. Overall, the technical requirements for the recording methodology should take precedence over the financial burdens, with the possibilities of minimizing time and costs being incorporated into the further development of standard methods.

Technical requirements for the inclusion of pesticide data

For the analysis of soil and organism samples, classical extraction methods will probably also be used in the future. Time-application based sampling should be used where information is available. Since multiple pesticide applications occur in typical chemical agricultural practice - up to twenty applications in a season, sometimes even more frequently - multiple times of chemical analysis should be scheduled within the growing season, taking into account the application times of the active ingredients. In addition, samples for chemical analysis should be taken from the topsoil (0 cm to 10 cm depth) and deeper layers (10 cm to 50 cm depth). For a pragmatic approach that can analyze as many active ingredients as possible, generally applicable extraction methods such as the QuEChERS method and "pressurized liquid extraction" (PLE) with a standard solvent mixture are suitable. Sensitive analytical methods, e. g., using high-resolution mass spectrometry (LC-HRMS), now achieve extremely low quantification limits, but different extraction and analytical approaches must be used for a complete spectrum of active ingredients.

Ideally, sites and sample types (soil, vegetation, insects, and other organisms) should be coupled for chemical and biological monitoring to establish an effect relationship with exposures. Both directly exposed areas and indirectly impacted landscape elements should be considered. When sampling these landscape elements, the respective, relevant input pathways should be covered on an element-specific basis. In addition to overspray from in-crop areas, this will also account for drift and run-off to adjacent off-crop elements.

It would be desirable to make the spectrum of active ingredients to be studied in the monitoring as broad as possible. If it were possible to obtain detailed information on the applications by the farmers, i. e. if they digitally entered their records in the "spray diaries" and if the database could be viewed under certain conditions (e. g. by authorities or research institutions to answer specific questions), the spectrum of active ingredients could be reduced and adapted regionally. With such improved transparency, targeted research projects on PPP contamination of the environment in agricultural areas could be designed.

Requirements for uniform data management

The basis for the evaluations of the collected data is their uniform recording, storage and processing, which enables a supraregional and comprehensive evaluation of the results, e. g. with the help of multivariate analyses. The establishment of such an information system is therefore the prerequisite for an integrated monitoring of PPPs in the agricultural landscape.

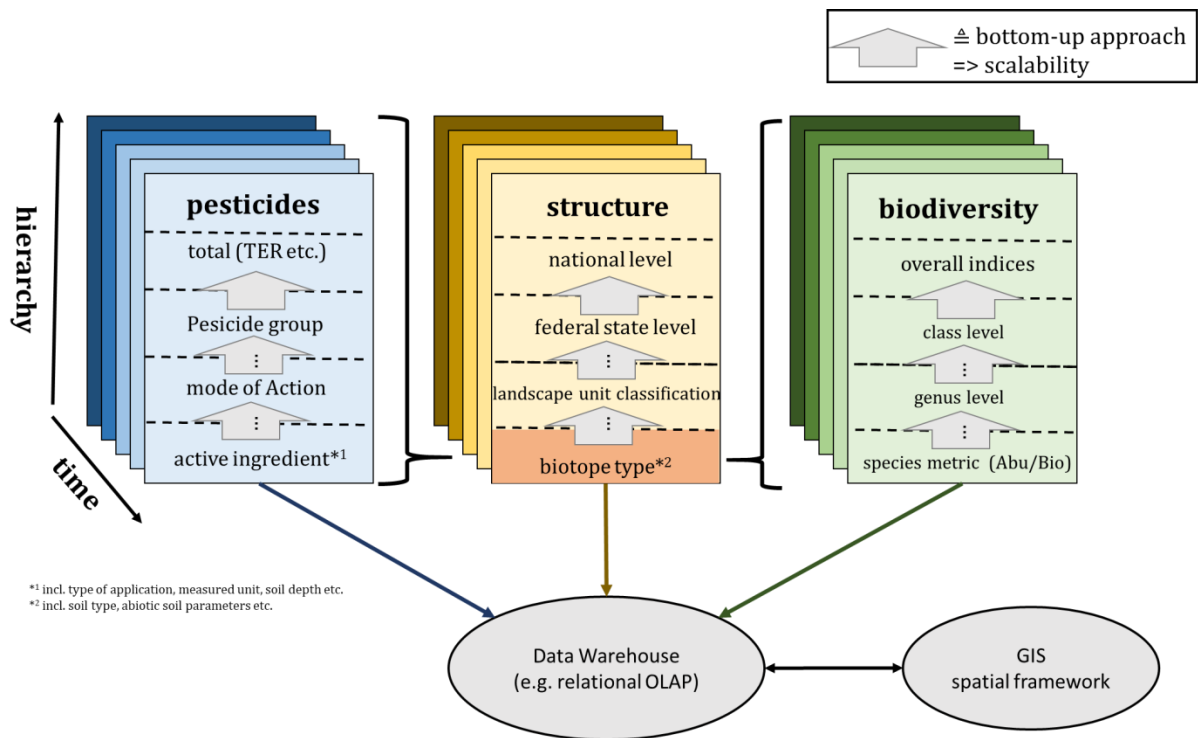


Figure 2: Hierarchical scheme of the structural set-up of the necessary data of a national PPP & biodiversity monitoring in the agricultural landscape

Monitoring data are often available in extremely heterogeneous structures, formats and scales, making a national description of the state of biodiversity in agricultural landscapes difficult. For this reason, minimum requirements for the quality of harmonized data collection, data storage and data provision will be developed and integrated into the monitoring concept as data-related requirements. Important criteria for the application of a harmonized database strategy (see Figure 2) of an integrated monitoring concept are presented in the report.

Concept and design of an integrated monitoring of plant protection products in the agricultural landscape

For the design of an "integrated monitoring in the agricultural landscape for the ecological effect of plant protection products" (IMoP), the following minimum requirements are set:

1. consideration of spatial biotope complexes
2. recording of vegetation to determine the biotope type
3. biotope type accurate recording of selected and representative indicators of the biocenosis as well as general site data
4. specific minimum requirements for PPP measurements
5. guaranteeing a representative sample for the agricultural landscape
6. modular design

For these aspects, there are partly large synergies on the "Bundesweit Repräsentative Stichprobenflächen (BRSF)" (Federal Representative Sampling Areas):

Ad 1: Since the BRSF are 1 x 1 km² sections in the landscape, it is possible to select biotope complexes specifically, as described above.

Ad 2: Standardized biotope type mapping is planned as part of the ecosystem monitoring. For this purpose, necessary prior comparisons with the different biotope type keys from the different federal states are planned, so that the IMoP can fall back on this.

Ad 3: Within the scope of the nationwide insect monitoring, the recording of different insect groups and spiders is specifically planned or has already been started in some federal states. Studies already exist in North Rhine-Westphalia and in Baden-Württemberg.

Ad 4: The PPP measurements can be carried out on the BRSFs in close proximity to the biodiversity surveys due to the recorded biotope types and landscape elements. The representativeness of the BRSF and the associated consideration of the relevant crops (as well as special crops) and their specific active ingredient and exposure patterns also ensures an adequate consideration of the assumed PPP application variability in the agricultural landscape.

Ad 5: The BRSF are based on a stratified random sample of 1000 nationwide sample plots and additional 1,637 state-specific plots.

Ad 6: Various data collections are already being conducted on the BRSFs or are in the planning stages, such as the HNV indicator or the nationwide insect monitoring. To minimize the time and cost of the integrated monitoring, it makes sense to be able to draw on these surveys or modules.

Necessary structural refinement - development of Federal Agricultural Windows (BAF)

For the surveys of species groups that have a larger spatial reference, such as birds, bats, and amphibians, no structural adjustments are necessary against the background of the IMoP. These surveys can thus take place on the BRSFs, as has already been partially tested. For the survey of taxa with a concrete local relation to the biotope, the following adaptations are proposed with regard to the minimum necessary sampling size described above: The sampling area is not investigated in its entirety (1 x 1 km²), but only one spatial biotope complex in a concretely defined section is considered per area, which is suitable to settle the effect structure. As a minimum program, the following biotope complexes are examined:

- ▶ Field - woodland (hedge, shrubbery, forest edge, etc.)
- ▶ Field - grassland (e. g. grassy field margins)
- ▶ Field - riparian strips

The particular section within the sample area is referred to as the "Federal Agricultural Window (BAF)" (see Figure 3). A selection of areas will also be kept as intensive Federal Agricultural Windows (iBAF) for research as well as development work and studied more intensively. These will be used for testing and development of new methods for monitoring, temporal condensation of sampling, and addressing research questions.

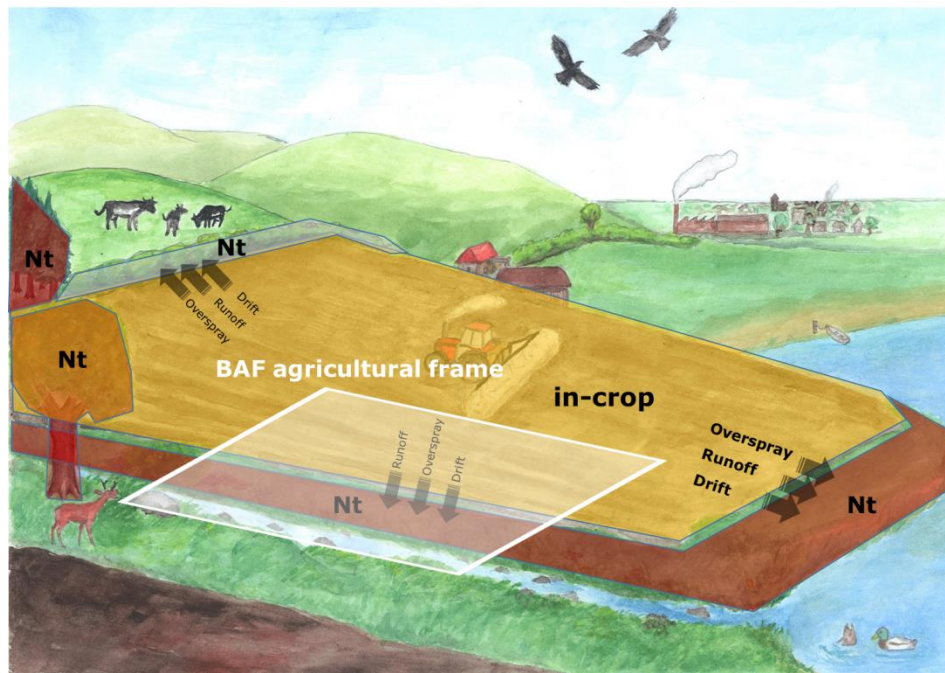


Figure 3: Schematic representation of the spatial location of Federal Agricultural Windows (BAF); NZ = non-target area

Tiered approach of the monitoring concept

The implementation of the monitoring modules in the BAF and iBAF or on the entire BRSF is planned to be realized in different stages (Figure 4):

Stage 1: Here, those modules are foreseen in the BAF that can be implemented directly without further testing or because they have already been tested (e. g. insect monitoring in Baden-Württemberg, activities on the ÖFS in NRW, ecosystem monitoring of the BfN). Method standards already exist and can be used and adapted.

Accompanying first application tests for further indicator groups are carried out in the iBAF and corresponding method standards are developed, which supposed to be implemented in stage two. In addition, a compressed data set can be created for the iBAF, e. g. by compressing the data collection over time.

Stage 2: In stage two, indicator groups that were tested in the iBAF in stage one are integrated into the BAF as a supplement.

In the iBAF, extended additional modules necessary for answering further questions are developed. These may relate to additional survey modules or to the development and testing of emerging methods, such as DNA metabarcoding.

Stage 3: In accordance with stage two, the previously tested survey methods are implemented in this stage.

In stage three, the investigations in the iBAF are understood as "work in progress", so that necessary changes can be continuously adapted to the changing requirements over time.

Monitoring element	Step 1	Immediately realisable	BAF
		by collaboration/ extension with/ of existing programs	
	Step 2	Testing of existing / established methods	iBAF
		<i>e.g. Established biodiversity measurements and temporal compression of PPP measurements</i>	
	Step 2	realisable after short trial period	BAF
		Supplement to the existing BAF-monitoring with tested elements in step 1	
Step 3	Development / testing of new methods	iBAF	
	<i>e.g. DNA barcoding in further combination with PSM measurements in organisms</i>		
Step 3	realisable after longer trial period	BAF	
	Supplement to the existing BAF-monitoring with tested elements in step 2		
	Further development of existing methods Investigation of current PSM issues	iBAF	
	<i>Establishment of more cost-efficient methodologies and adapting new state of the art; Complementing BAF monitoring with new research findings in the field of PPP impact on biodiversity (e.g. new sampling methods; ...)</i>		

Figure 4: Schematic representation of the step-by-step implementation of monitoring modules within the framework of the integrated monitoring to record the effects of chemical pesticides

Possible levels of intersection and analysis of collected data

In order to assess the effects of pesticides on biodiversity, it is necessary to consider different scale levels at which effects become visible. The present approach takes these scale levels into account by integrating, on the one hand, concrete spatial effect structures (BAF) and, on the other hand, the higher spatial scale level of a BRSF. Both the pesticide as well as the biodiversity data collected for the respective questions can or must be assigned to one of these two scale levels and can accordingly only be evaluated at this level. Figure 5 provides an overview which of the listed pesticide indicators can be blended with which biodiversity indicators and evaluated. Furthermore, it shows which other indicators from already existing monitoring programs could be included.

Pesticide indicators	Biodiversity indicators	Other indicators/ Data collection
<p>BRSF/IBRSF</p> <ul style="list-style-type: none"> • Treatment index per km² (PAPA-data, field geometries) • anonymised spray series per km² • Organisms/food web 	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetation • Breeding birds • Butterflies & Zyganidae (Transekte) • Amphibians • Bats 	<ul style="list-style-type: none"> • High Nature Value Farmland-Indicator • ecosystem-monitoring • Land use – and habitattype • Copernicus-ata
<p>BAF/IBAF</p> <ul style="list-style-type: none"> • Treatment index, crop specific (PAPA-data, field geometries) • anonymised spray series, crop specific • Residue analytics in soil • Residue analytics in plants • Application rates (application diaries) • Organisms/food web 	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetation • Carabids, Spiders, Insects (Soil surface) • Locusts • Hoverflies • Butterflies & Zygaenidae (habitat specific) • Wild bees • Soil organisms (Collembola, Oribatida, Lumbricidae etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Soil parameters (z. B. Nutrients, pH-value) • Agricultural practices • Copernicus-data • Land use – and habitattype

Figure 5: Classification of the different measurement indicators in the different spatial scale levels, in which a common evaluation is possible

Network structure

The present concept is designed to collect data on biodiversity, pesticide use and various associated parameters throughout Germany and to evaluate these data on a cross-state basis. However, since data collection is to take place on BRSFs operated by state authorities, the use of central coordination and decision-making bodies is necessary. In this regard, the key players, who are closely networked with each other, consist of (see Figure 6):

- ▶ the BRSF operators (state authorities)
- ▶ the central networking office
- ▶ the federal-state steering group
- ▶ the data users

To take advantage of synergies among different monitoring programs, some of which already exist, data should be collected by the BRSF operators, i. e., the authorities of the individual states, if possible. In order to be able to centrally evaluate the data collected in the states with regard to the ecological effects of pesticides, a superordinate networking body is needed. This federal institution has the task of centrally compiling and managing the data. This requires a database system that meets the requirements of such a networking institution. Another task of the networking center is to merge the various data (e. g. data from the biodiversity monitoring and pesticide measurements) and to evaluate them. Synergy effects could also be used with regard to the networking office, since, for example, a new national monitoring center is currently being established by the BfN.

Another body is the federal-state steering group, which is composed of representatives of the state authorities as well as the BfN and the UBA. In addition, experts for various animal groups

should be consulted. The tasks of this group include the development of standards that should be adhered to in the context of data collection and evaluation as well as a general further development of the monitoring.

For the implementation of the IMoP, it is important that the federal-state steering group, the networking office and the BRSF operators (state authorities) cooperate closely. This allows, on the one hand, new methods, developments and ideas to be implemented in the federal states and, on the other hand, feedback on problems and suggestions for improvement to be processed in the central bodies.

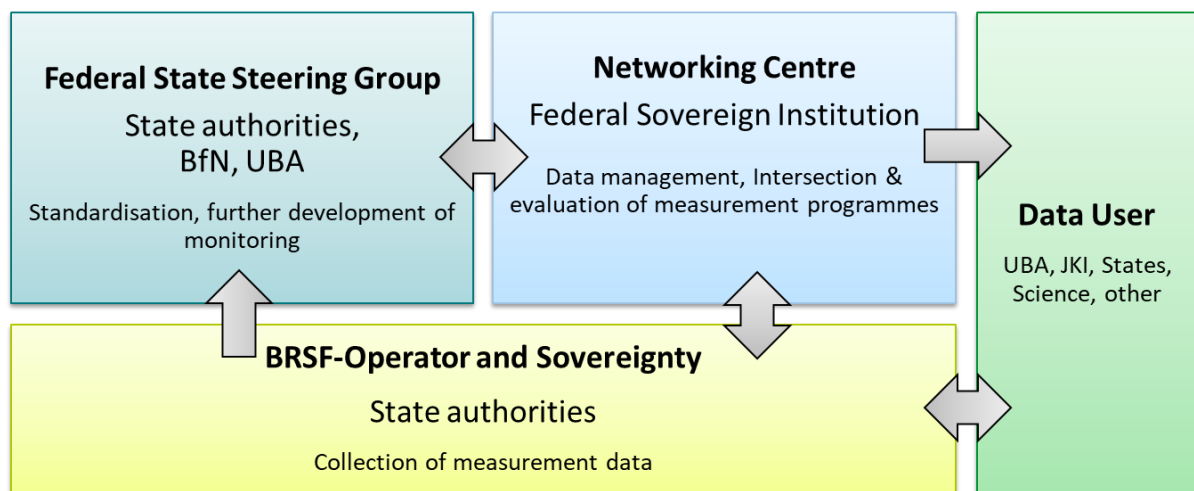


Figure 6: Key actors and networking structure of integrated pesticide monitoring. Modified according to Kaufmann-Boll et al. (2020)

Conclusion and final assessment of the possibilities and limits of feasibility

The aim of the project was to develop an overarching monitoring concept for the terrestrial agricultural landscape in which the exposure of the landscape to plant protection products and their impact on biodiversity are recorded. With the implementation of an integrated monitoring approach, the influence of chemical pesticides on biodiversity development should be made visible in a sustainable way and help to establish corresponding correlations. The project report includes a presentation of the current state of research, an overview of already existing monitoring activities, and a conceptual approach comprising a compilation of requirements, the stepwise implementation of the monitoring including a rough cost estimate, and the structural feasibility.