

EINTRAG VON PFLANZENSCHUTZ- MITTELN IN LANDWIRTSCHAFTSFERNEN GEBIETEN IN NORDRHEIN-WESTFALEN

LANUK-Fachbericht 165



Inhalt

1	Einleitung	4
2	Methodik.....	6
2.1	Standorte	6
2.2	Niederschlag	12
2.3	Standardisierte Graskulturen	13
2.4	Mischungstoxikologischer Stress für Bodenorganismen	14
3	Ergebnisse und Diskussion	15
3.1	Niederschlag	15
3.1.1	Ermittelte PSM.....	15
3.1.2	Depositionsraten der PSM	21
3.1.3	Jahreszeitlicher Verlauf der Einträge	29
3.1.4	Vergleich der Einträge mit Daten zu angebauten Kulturen.....	35
3.1.5	Mischungstoxikologischer Stress für Bodenorganismen	38
3.2	Standardisierte Graskulturen	40
4	Zusammenfassung	45
5	Literatur.....	47
	Abbildungsverzeichnis.....	50
	Tabellenverzeichnis.....	51

1 Einleitung

Auf Landwirtschaftsflächen werden jedes Jahr große Mengen an Pflanzenschutzmitteln (PSM) aufgebracht (2023 ca. 75.000 t in Deutschland, BVL 2024a). Ein Teil der ausgebrachten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe kann über verschiedene Eintragspfade auch auf benachbart gelegene Flächen gelangen. Bestimmte Eintragspfade, die den Nahbereich von bis zu 50 m Entfernung vom behandelten Feld betreffen, werden im Zulassungsverfahren berücksichtigt. Dazu zählen die Spraydrift von Pflanzenschutzmitteln während der Applikation, die Verflüchtigung nach Anlagerung an die Zielfläche, die Re-Deposition im näheren Umfeld sowie der luftgetragene Transport von Beizstäuben während der Aussaat (BVL 2020).

Zusätzlich zum Nahtransport können verschiedene PSM auch über größere Entfernungen transportiert werden (Degrendele et al. 2016; Coscollà et al. 2010; Mayer et al. 2024). Die atmosphärische Verbreitung wird dabei im Rahmen der Zulassung nicht unter Freilandbedingungen, sondern lediglich per Modellierung untersucht und es gibt im Nachgang kein systematisches Monitoring der Wirkstoffe in der Umwelt. Seit einigen Jahren mehren sich die Hinweise, dass der atmosphärische Transport einzelner PSM über deutlich weitere Strecken erfolgen kann, als im Rahmen der Zulassung vorhergesagt. Bei einer Untersuchung in Bayern wurden beispielsweise die PSM Pendimethalin und Terbutylazin sowie dessen Metabolit Desethylterbutylazin auf Flächen ohne direktes landwirtschaftliches Umfeld (> 3 km Abstand) nachgewiesen (LfU 2019). Auch aus Brandenburg gibt es Hinweise auf eine relativ weiträumige Verteilung von einigen PSM, v. a. Pendimethalin und Prosulfocarb, durch Verdunstung sowie tröpfchenförmigen bzw. partikelgebundenen atmosphärischen Transport (LUGV 2015). Derzeit führt das BVL unter Beteiligung des LANUK Pilotstudien durch, die ein bundesweites Monitoring zum Umfang des atmosphärischen PSM-Transports zum Ziel haben (BVL 2020, 2024b).

Aufbauend auf den Hinweisen dieser und weiterer Untersuchungsprogramme wurde in NRW in den Jahren 2020 und 2021 das Projekt „Monitoring von Pflanzenschutzmitteln in Bioindikatoren, Niederschlagswasser und Heuschrecken“ durchgeführt. In den Freilanduntersuchungen 2020 zeigte sich, dass in den untersuchten Niederschlagsproben und Graskulturen PSM gefunden werden konnten, die nicht durch die Kulturen auf unmittelbar benachbarten Feldern erklärt werden können. Zudem fanden sich an einem Referenzstandort in einem Naturschutzgebiet mit geringer landwirtschaftlicher Nutzung im direkten Umfeld Einträge mehrerer Wirkstoffe und Metaboliten.

Um die Erkenntnisse aus diesem Vorläuferprojekt zu validieren und einen vollständigen Jahresgang der atmosphärischen PSM-Einträge über Deposition (Staub- und Regenniederschlag) zu untersuchen, wurden basierend auf den Ergebnissen aus 2020 in den Jahren 2021–2023 an insgesamt acht Messstationen des Wirkungsdauermessprogramms NRW (WDMP) selbst konstruierte Niederschlagssammler (Bulk-Sammler) aufgestellt und monatlich beprobt. Der vorliegende Bericht beinhaltet die Ergebnisse dieser Untersuchungsreihen. Die nasse und trockene Deposition wurde auf mehr als 100 PSM und Metaboliten analysiert. Diese verhältnismäßig kostengünstige Nachweismethode hat sich bewährt.

Die WDMP Standorte umfassen dabei mehrere Standorte ohne landwirtschaftliche Nutzung (im Sinne von Flächen auf denen die nachgewiesenen PSM eingesetzt werden, v. a. Ackerflächen) im direkten Umfeld, so dass ein atmosphärischer Transport von PSM besser

belegt werden kann und die anthropogene Belastung auch in entfernteren Regionen erfasst wird.

Neben der trockenen und nassen Deposition wurden auch Graskulturen an den WDMP-Messstationen exponiert und auf PSM-Wirkstoffe und Metaboliten untersucht, um zu überprüfen, ob die über den Niederschlag eingetragenen Wirkstoffe sich in den Pflanzen anreichern.

Aufgrund der bereits in den Vorläuferprojekten nachgewiesenen NRW-weiten Einträge von PSM und Metaboliten stellt sich die Frage nach den möglichen Auswirkungen für die belebte Umwelt. PSM wurden in der Vergangenheit bereits als Stressoren für Bodenlebewesen identifiziert (Beaumelle et al. 2023). Als möglicher Wirkungszusammenhang wurde daher in einer ersten Analyse der Mischungstoxikologische Stress der eingetragenen PSM für Bodenorganismen ermittelt. Dazu wurden aus den im Jahr 2023 gemessenen Depositionsdaten Bodenkonzentrationserhöhungen berechnet und mit ökotoxikologischen Daten von Bodenorganismen (Würmer, Springschwänze und Raubmilben) verrechnet. Hierzu wurden Mischungstoxikologische Ansätze verwendet, die am LANUK bereits für den aquatischen Bereich Anwendung finden und in der Literatur im Ansatz auch für den terrestrischen Bereich beschrieben wurden (Froger et al. 2023; Vašíčková et al. 2019; LANUV 2020).

2 Methodik

2.1 Standorte

Das Untersuchungsprogramm wurde 2021–2023 an acht Messstationen des Wirkungsdauermessprogramms (WDMP) durchgeführt (s. Abbildung 1). Die Messstationen sind in unterschiedlichem Maße von landwirtschaftlichen Flächen und anderen Nutzungen umgeben (s. Abbildung 2). Dabei handelt es sich um vier landwirtschaftsnahe Standorte in Bocholt, Gütersloh, Essen (LANUK-Standort) und Langenfeld sowie vier landwirtschaftsferne Standorte in Osenberg (Bergisches Land), Egge, Eifel und Hilchenbach (Rothaargebirge) (s. Abbildungen 3–10). Die landwirtschaftsnahen Standorte weisen in einem Radius von 1 km mehr als 20 % Ackerfläche im Umkreis auf; an den landwirtschaftsfernen Standorten sind es deutlich weniger (0–1,9). Die beiden Standorte in der Eifel und in Hilchenbach weisen keine Ackerfläche im Umkreis bis zu 5 km auf.

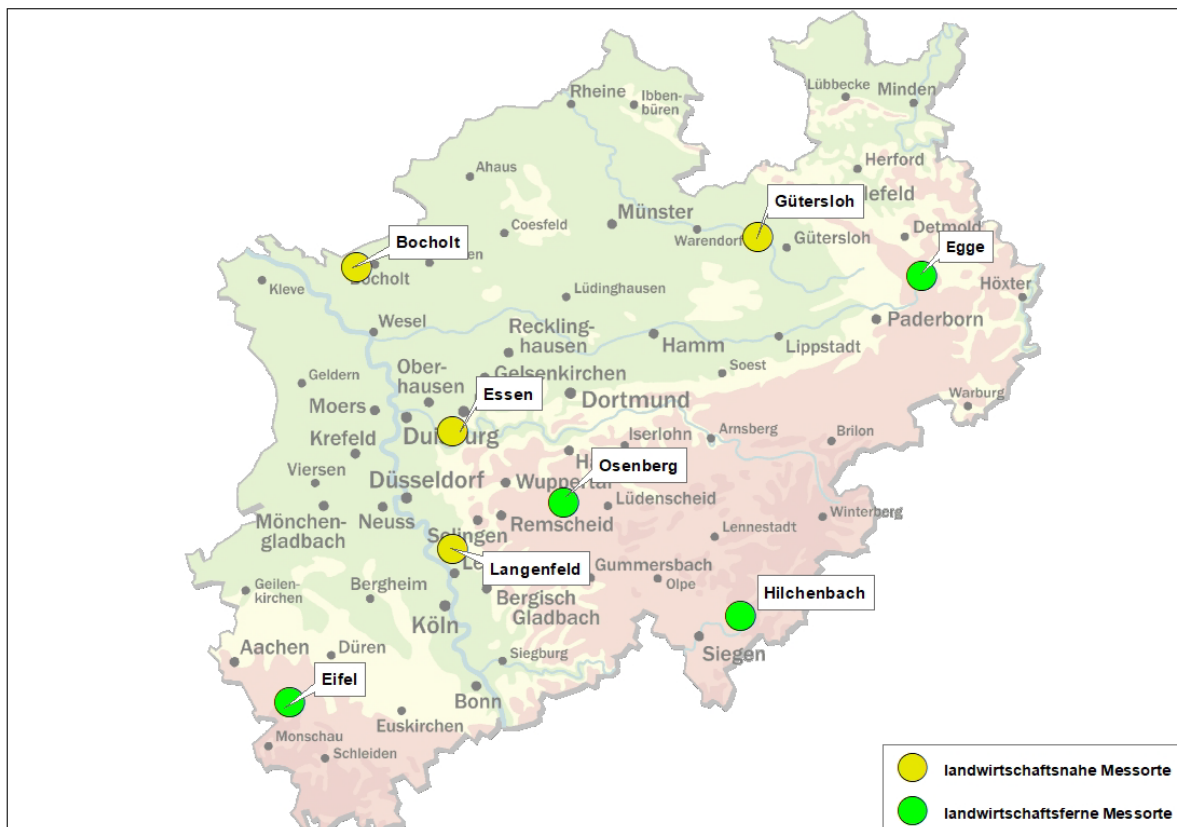


Abbildung 1: Lage der WDMP-Messstationen

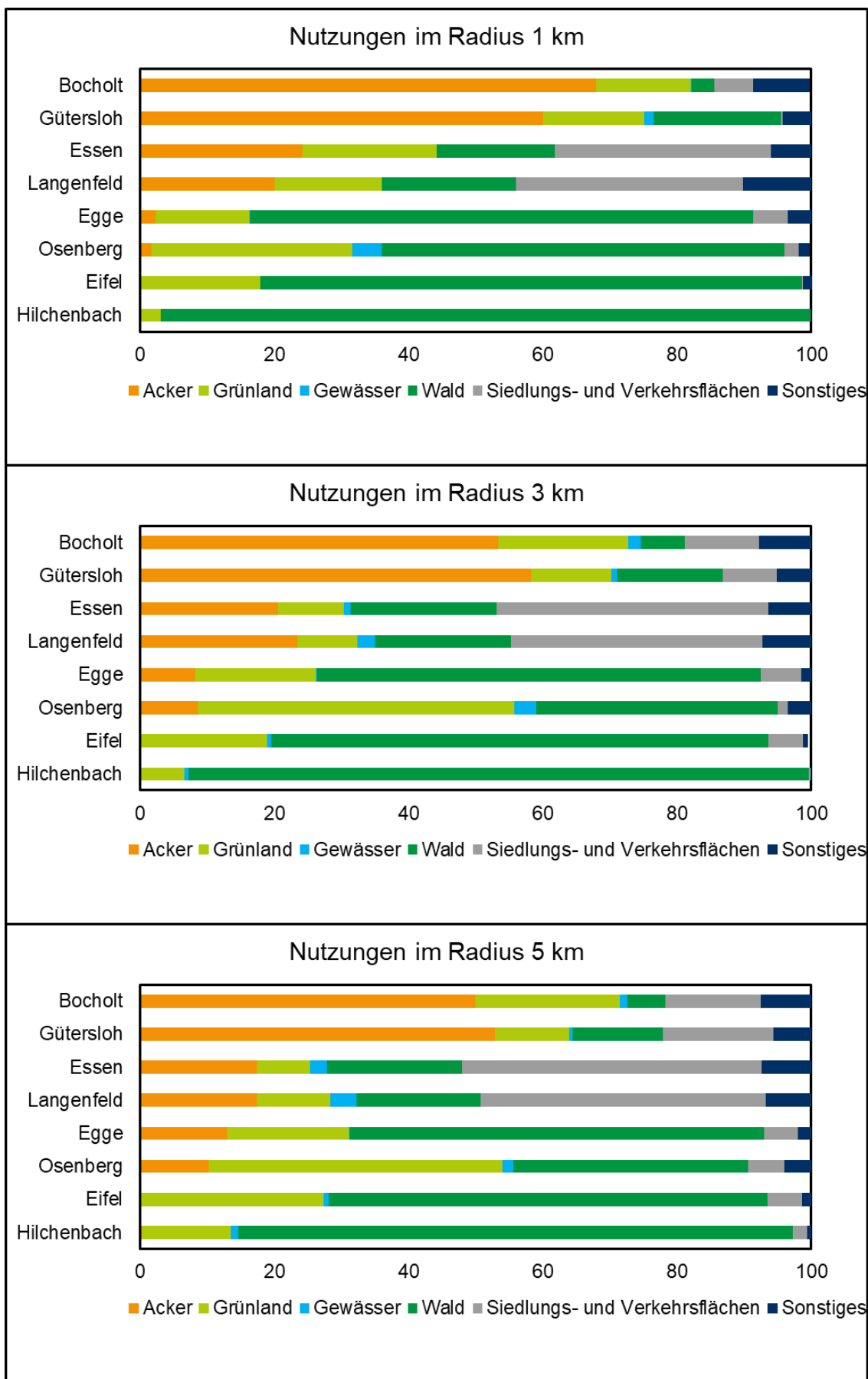


Abbildung 2: Anteile der Nutzungen im Radius von 1, 3 und 5 km um die untersuchten Messstationen (Auswertung von ATKIS® Daten 2023)



Abbildung 3: WDMP-Messstation Bocholt



Abbildung 4: WDMP-Messstation Gütersloh



Abbildung 5: WDMP-Messstation Essen



Abbildung 6: WDMP-Messstation Langenfeld



Abbildung 7: WDMP-Messstation Osenberg

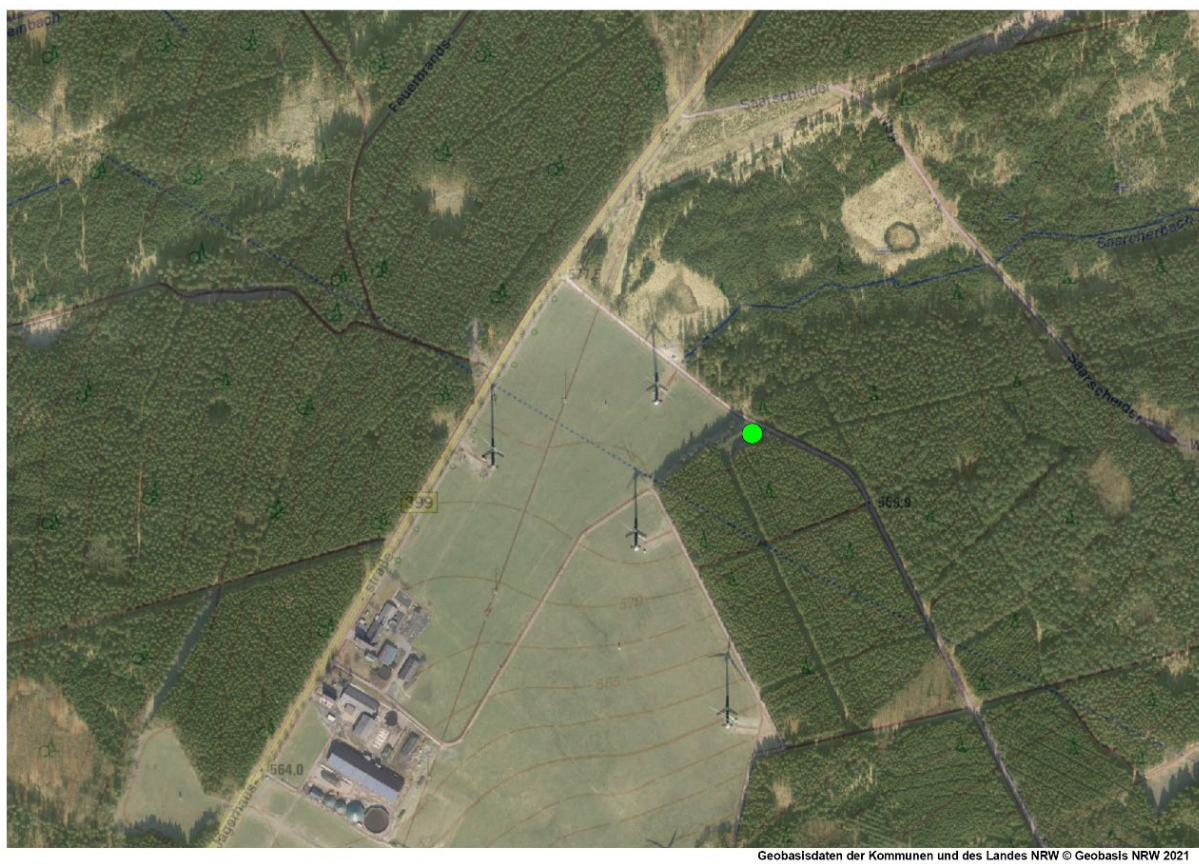


Abbildung 8: WDMP-Messstation Eifel



Abbildung 9: WDMP-Messstation Egge

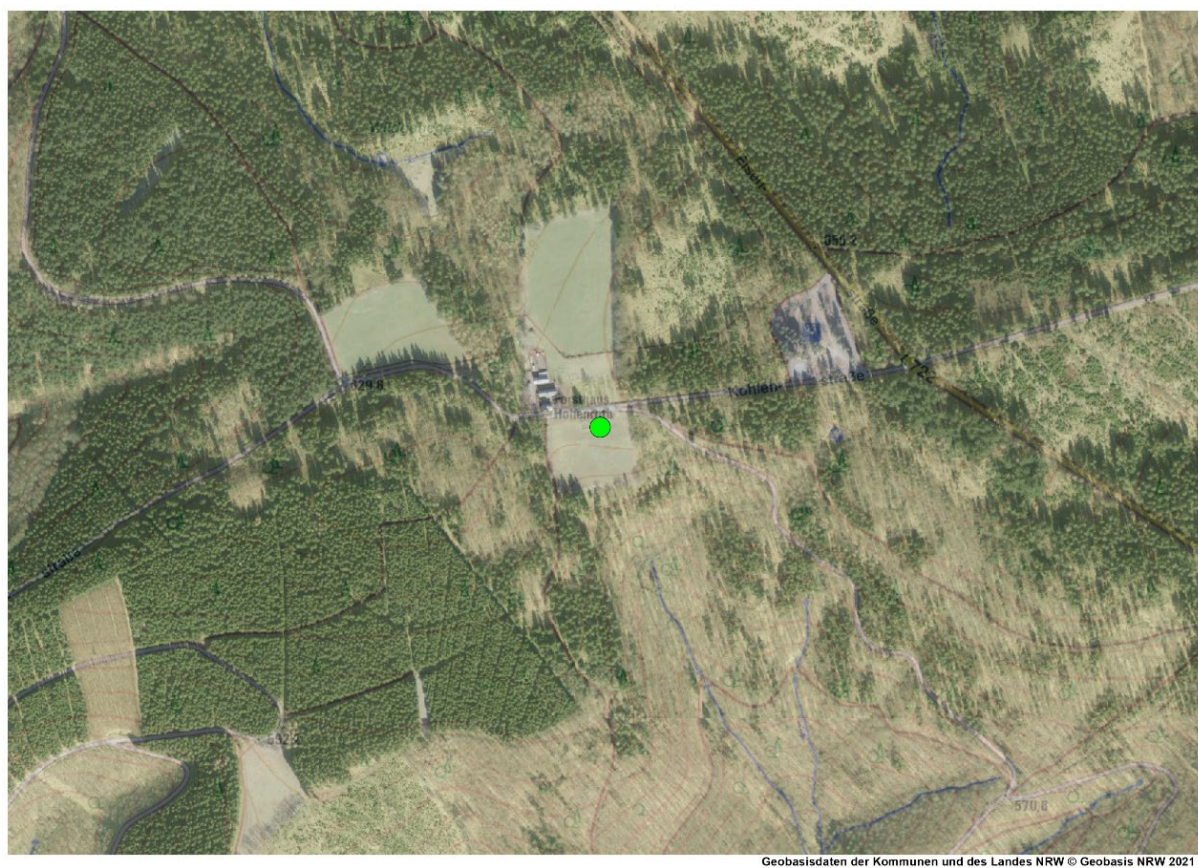


Abbildung 10: WDMP-Messstation Hilchenbach

2.2 Niederschlag

In den Jahren 2021–2023 wurde an den acht Messstationen des WDMP in selbst konstruierten Niederschlagssammlern (Bulk-Sammler) monatlich die nasse und trockene Deposition gesammelt. Pro Untersuchungsjahr wurden 12 bzw. 13 Monatsproben jeweils nach 27–29 Tagen entnommen, so dass der Expositionszeitraum, der zu einem Jahr zusammengefasst wurde, teilweise etwas mehr als 365 Tage umfasste. Aufgrund des Schemas umfasste der Expositionszeitraum in der zweiten Jahreshälfte zunehmend auch den Vormonat.

Für diese Untersuchung wurden Glasflaschen auf ca. 1,50 m Höhe aufgeständert und mit einem Trichter versehen (s. Abbildung 11). Um die Verdunstung des Niederschlags und die mögliche Zersetzung der PSM zu vermeiden, wurden die Glasflaschen durch Kunststoffbehälter vor der Sonneneinstrahlung abgeschirmt.



Abbildung 11: Niederschlagssammler am LANUK Essen in unmittelbarer Nähe zu einer landwirtschaftlichen Fläche

Im LANUK wurden umfangreiche Vorversuche zur PSM-Analytik der so erzeugten Proben durchgeführt. Zum einen wurden Blindwerte der verwendeten Glasflaschen bestimmt. Zum anderen wurde die Stabilität wässriger PSM-Standards in den Glasflaschen nach vierwöchiger Lagerung überprüft. Außerdem wurde ein Versuch zur Verdunstung aus den Bulk-Sammlern durchgeführt. Insgesamt haben sich die LANUK-Sammler zusammen mit der verwendeten Analytik als sehr zuverlässige und robuste Methode bewiesen, die valide Messwerte liefert.

Alle eingesetzten Glasflaschen wurden gewogen, so dass das Volumen der bei der Probenahme enthaltenen Niederschlagsmenge erfasst werden konnte. Über die Fläche der Trichteröffnung wurde nach der Analyse die Deposition in $\mu\text{g}/\text{m}^2$ pro Monat (Expositionsdauer 27–29 Tage) bestimmt. Daraus wurde die Gesamtdosition pro Jahr berechnet.

Nachdem die Glasflaschen jeweils vier Wochen an den WDMP-Messstationen exponiert worden waren, wurden sie entnommen, unmittelbar fest verschlossen und in einer Kühlbox ins LANUK-Labor nach Duisburg transportiert.

Dort erfolgte die Bestimmung des Volumens der Probe sowie die Untersuchung der Proben auf PSM und Metaboliten mit zwei verschiedenen Messverfahren:

- Ein Analyseverfahren wurde nach F36-Methode (DIN 38407-36) durchgeführt. Aliquote der Wasserproben werden dabei mit internen Standards versetzt und direkt in das Analysensystem injiziert. Der Nachweis und die quantitative Bestimmung erfolgt durch Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie gekoppelt mit massenspektrometrischer Detektion (LC-MS/MS bzw. LC-HRMS). Die Bestimmungsgrenze für die einzelnen Stoffe lag zwischen 5–50 ng/L. Es wurden 92 PSM und Metaboliten untersucht.
- Zusätzlich dazu wurden die Proben mittels der hochauflösenden Massenspektrometrie (LC-HRMS, Non Target Analytik, NTA) auf weitere Wirkstoffe/ Metaboliten untersucht, die bisher noch nicht in das Regelverfahren aufgenommen wurden. Sofern weitere Stoffe in den Fokus rücken, können über die aufgezeichneten hochaufgelösten Rohdaten, retrospektive Auswertungen angestoßen werden.

Insgesamt wurden die Niederschlagsproben mit den beiden analytischen Verfahren auf mehr als 100 PSM und Metaboliten analysiert.

2.3 Standardisierte Graskulturen

Die Graskulturen (*Lolium multiflorum* Lam. ssp. *italicum*) wurden angelehnt an die Richtlinie VDI 3957 Blatt 2 (VDI 3957 Blatt 2) in Pflanzcontainern mit einer Fläche von 40 × 60 cm in ca. 40 cm Höhe exponiert, um so eine für die Analytik ausreichend große Frischmasse zu erzielen (s. Abbildung 12). Auf diese Art und Weise konnten monatlich Proben entnommen und einzeln analysiert werden. Um auch möglichst geringe Einträge ermitteln zu können, wurden nach den Erfahrungen der Vorgängeruntersuchungen die Proben gefriergetrocknet und in einem externen Labor (Lufa NRW) mittels einer Multistoffmethode in der Trockenmasse auf über 450 PSM und Metaboliten analysiert.



Abbildung 12: Standardisierte Graskultur im Pflanzcontainer am LANUK Essen (im Vordergrund)

2.4 Mischungstoxikologischer Stress für Bodenorganismen

Zur Berechnung der möglichen negativen Wirkungen der gemessenen Einträge wurde für das Jahr 2023 der Mischungstoxikologische Stress für Bodenorganismen berechnet. Zur Ermittlung depositionsbedingter Bodenkonzentrationen wurde unter der Annahme, dass sich die über Deposition eingetragenen PSM und Metaboliten in der obersten Bodenschicht (0–2 cm) sammeln, unter Zuhilfenahme einer Bodendichte von 1,3 t/m³, die möglichen jährlichen depositionsbedingten Konzentrationserhöhungen berechnet. In einem zweiten Schritt wurden ökotoxikologische Daten für die im Niederschlag gefundenen PSM und Metaboliten recherchiert. Hierzu wurden in der PPDB-Datenbank (Pesticide Properties DataBase der University of Hertfordshire, Lewis et al. 2016) und den Zulassungsdokumenten der Pflanzenschutzmittel auf den Seiten der EFSA (European Food Safety Authority) chronische Kennzahlen aus Tests mit Würmern, Raubmilben und Springschwänzen zusammengetragen. Es handelt sich dabei um die Ergebnisse aus standardisierten Laborversuchen, in denen die Langzeitwirkung der PSM auf Bodenorganismen untersucht wird. Die ökotoxikologischen Kennzahlen in Form von NOECs (Konzentration, bei der im Test keine signifikante Beeinflussung der Organismen beobachtet wurde) wurden dann mit berechneten depositionsbedingten Bodenkonzentrationserhöhungen verrechnet, um eine Toxic Unit (TU) zu erhalten (vgl. Formel 1).

Formel 1: Berechnung der Toxic Units für Bodenorganismen

$$\text{Toxic Unit (TU)} = \frac{\text{berechnete Bodenkonzentration}}{\text{NOEC (Würmer/Raubmilben/Springschwänze)}}$$

Da pro Standort mehrere PSM und Metaboliten eingetragen wurden, wurde unter der Annahme, dass die Stoffe gemeinsam auf die Organismen einwirken (Konzentrationsaddition) alle TU für einen Standort und Organismus aufsummiert und eine SUM TU ermittelt. Je höher die SUM TU, desto höher der Mischungstoxische Stress für die jeweiligen Organismen. Zudem wurden die Einzelstoffe mit der höchsten TU als Treiber der Mischungstoxizität (drivers of mixture toxicity) identifiziert. Diese Mischungstoxikologischen Ansätze werden am LANUK bereits für den aquatischen Bereich verwendet (LANUV 2020) und wurden auch für den Einsatz im terrestrischen Bereich beschrieben (Froger et al. 2023; Vašíčková et al. 2019; Honert et al. 2025).

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Niederschlag

Es konnte in fast allen Proben 2021–2023 genügend Niederschlag für die Analytik gesammelt werden. Lediglich im Mai 2023 gab es nicht ausreichend Niederschläge, so dass an einigen Messstationen kein oder nur ein sehr geringes Niederschlagsvolumen ermittelt wurde. In diesen Fällen wurden die Proben mit 250 ml Wasser (LC-MS Reinheit) versetzt und so der Analytik zugeführt. Teilweise kam es in den Wintermonaten zu einem Ausfall einiger weniger Proben durch Frostsprengung der Sammelflaschen.

3.1.1 Ermittelte PSM

Im Niederschlag wurden im gesamten Untersuchungszeitraum 2021–2023 insgesamt 52 PSM und Metaboliten aus verschiedenen Wirkstoffklassen nachgewiesen (s. Tabelle 1). In den Jahren 2021 und 2022 wurden alle Proben zusätzlich mittels der NTA (LC-HRMS) untersucht, was zu einer erhöhten Wirkstoffanzahl führte; im Jahr 2023 wurde nur einige ausgewählte Substanzen mittels der Non-Target-Analytik untersucht.

Bei den gefundenen Wirkstoffen handelt es sich um vier Insektizide, 23 Herbizide und zehn Herbizid-Metaboliten sowie 13 Fungizide und zwei Fungizid-Metaboliten.

Die einzelnen PSM-Wirkstoffe und deren Anwendungsgebiete, Kulturen sowie Zulassungsdaten sind in Tabelle A1 im Anhang aufgelistet. Aus den dort beschriebenen Anwendungsdaten geht hervor, dass 85 % der in dieser Untersuchung ermittelten PSM-Wirkstoffe ausschließlich für den professionellen, landwirtschaftlichen Gebrauch zugelassen sind. Ein Eintrag dieser PSM-Wirkstoffe an den hier untersuchten Standorten aus dem nichtprofessionellen Bereich, wie z. B. die private Anwendung in Klein- und Hausgärten, ist demnach auszuschließen. Lediglich die nicht mehr zugelassenen Insektizide Dimethoat und Thiacloprid waren auch für den privaten Gebrauch zugelassen. Außerdem dürfen auch das Herbizid MCPA sowie die Fungizide Azoxystrobin, Tebuconazol, Mandipropamid und Trifloxystrobin privat angewendet werden. Diflufenican darf als einziger der ermittelten PSM-Wirkstoffe auch im Bereich von Gleisanlagen und an Wegen und Plätzen mit Holzgewächsen verwendet werden. Ein Eintrag aus diesen Nutzungen ist an den landwirtschaftsfernen Standorten unwahrscheinlich, da sich im direkten Umfeld dieser weder Haus- und Kleingärten noch Gleisanlagen oder entsprechende Plätze befinden.

Tabelle 1: In den Niederschlagsproben 2021–2023 nachgewiesene PSM und Metaboliten mit Angabe der Wirkstoffklasse und des Analyseverfahrens, das zum Nachweis führte. Bei Metaboliten wurde die Wirkstoffklasse der Ausgangssubstanz angegeben.

Typ	Wirkstoffklasse	Name	2021	2022	2023	F36	NTA	Anmerkung
Insektizide	Organophosphat	Dimethoat	x			x	x	Verbotener Altstoff (seit 2020)
	Pyridincarboxamid	Flonicamid		x			x	
	Carbamat	Pirimicarb	x			x	x	
	Neonicotinoid	Thiacloprid	x	x		x	x	Aufbrauchfrist 21.02.2021
Herbizide	Diphenylether	Aclonifen	x	x	x		x	
	Phenylharnstoff	Chlortoluron	x	x		x	x	
	Oxazolidion	Clomazone	x	x			x	
	Pyridazon	Desphenylchloridazon	x	x		x	x	Metabolit von Chloridazon (verboten seit 2020)
	Pyridazon	Methyldesphe- nylchloridazon	x	x			x	Metabolit von Chloridazon (verboten seit 2020)
	Carbonsäureamid	Diflufenican	x	x			x	
	Chloracetamid	Dimethenamid	x	x	x	x	x	
	Benzofuran	Ethofumesat	x	x	x	x	x	
	Oxyacetamid	Flufenacet	x	x	x	x	x	

Typ	Wirkstoffklasse	Name	2021	2022	2023	F36	NTA	Anmerkung
	Oxyacetamid	Flufenacet-ESA		x			x	Metabolit von Flufenacet
	Sulfonylharnstoff	Foramsulfuron		x			x	
	Uracilderivat	Lenacil	x	x	x	x	x	
	Chlorphenoxyessig-säure	MCPA	x	x			x	
	Triazinon	Metamitron	x	x	x	x		
	Triazinon	Desamino-Metamitron		x			x	Metabolit von Metamitron
	Chloracetamid	Metazachlor	x	x		x	x	
	Chloracetamid	Metazachlor ESA	x			x	x	Metabolit von Metazachlor
	Chloracetamid	Metazachlor-Sulfonsäure		x			x	Metabolit von Metazachlor
	Phenylharnstoffe	Metobromuron	x	x			x	
	Chloracetamid	Metolachlor	x	x	x	x	x	
	Chloracetamid	Metolachlor ESA	x	x		x	x	Metabolit von Metolachlor
	Chloracetamid	Metolachlor CA	x			x		Metabolit von Metolachlor
	Triazinon	Metribuzin	x			x		
	Sulfonylharnstoff	Nicosulfuron		x			x	

Typ	Wirkstoffklasse	Name	2021	2022	2023	F36	NTA	Anmerkung
	Dinitroanilin	Pendimethalin	x	x	x	x		
	Chloracetamid	Pethoxamid	x				x	
	Triazin	Propazin	x				x	Verbotener Altstoff (seit 2002)
	Benzamid	Propyzamid	x	x	x	x	x	
	Thiocarbamat	Prosulfocarb	x	x	x	x	x	
	Triazin	Terbuthylazin	x	x	x	x	x	
	Triazin	Terbuthylazin-2-hydroxy	x	x			x	Metabolit von Terbuthylazin
	Triazin	Desethyl-terbuthylazin	x	x	x	x	x	Metabolit von Terbuthylazin
	Thiocarbamat	Triallate		x			x	Seit 2003 keine Anwendung in Deutschland, aber anderen EU-Ländern
Fungizide	Strobilurin	Azoxystrobin	x	x	x	x	x	
	Carbonsäureamid	Boscalid		x	x		x	
	Amidoxim	Cyflufenamid		x			x	
	Triazol	Cyproconazol		x			x	Aufbrauchfrist 30.11.2022

Typ	Wirkstoffklasse	Name	2021	2022	2023	F36	NTA	Anmerkung
	Benzamid	2,6-Dichlor-benzamid	x				x	Metabolit von Fluopicolide und Dichlobenil (verboten seit 2004)
	Benzamid	Fluopyram			x		x	Erst ab 2023 im Messprogramm
	Benzamid	Flutolanil		x			x	
	Pyrazol	Fluxapyroxad		x			x	
	Carbonsäureamid	Mandipropamid	x	x	x		x	
	Triazol	Mefentrifluconazol			x		x	Erst ab 2023 im Messprogramm
	Carbamat	Propamocarb	x	x	x		x	
	Triazol	Prothioconazol-desthio	x	x	x	x	x	Metabolit von Prothioconazol
	Anilino-Pyrimidin	Pyrimethanil		x			x	
	Strobilurin	Trifloxystrobin		x			x	
	Triazol	Tebuconazol	x	x	x	x	x	

An den landwirtschaftsnahen Messstationen wurden im Mittel mehr PSM und Metaboliten gefunden als an den landwirtschaftsfernen. Ein eindeutiger Zusammenhang der Anzahl der gefundenen Wirkstoffe zu dem Anteil der landwirtschaftlichen Fläche in einem Radius von 1 km um die Messstation ist nicht erkennbar. In jedem Fall zeigt sich aber, dass auch an den Standorten, die nahezu keine Ackerflächen im 5 km-Radius aufweisen, PSM und Metaboliten aus Mitteln, die nur im Ackerbau angewendet werden, nachgewiesen werden konnten und folglich über größere Distanzen verfrachtet wurden.

In der Literatur finden sich Ergebnisse aus mehreren nationalen und internationalen PSM-Monitoring-Untersuchungen mit teils unterschiedlichen Messmethoden. So konnten in Regenproben aus Dänemark in den Jahren 2000–2001 an landwirtschaftsnahen Standorten 57 verschiedene Substanzen nachgewiesen werden (Asman et al. 2005). Untersuchungen aus 2019 konnten mithilfe von 49 Passivsammlern, welche über ganz Deutschland verteilt waren, insgesamt 62 verschiedene Pestizide nachweisen (TIEM 2020). In weiteren Untersuchungen konnte gezielt nachgewiesen werden, dass auch an landwirtschaftsfernen Standorten PSM eingetragen werden. Mit Hilfe von Luftsammlern wurden beispielsweise in einer Untersuchung in Frankreich in einem Untersuchungszeitraum jeweils von April bis Mitte Juni in den Jahren 2006–2008 insgesamt 41 Wirkstoffe nachgewiesen (Coscollà et al. 2010). Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU), welches seit mehr als dreißig Jahren Depositionsmessungen von PSM durchführt, wies an einem landwirtschaftsfernen Referenzstandort 2020 mindestens 16 Wirkstoffe und Metaboliten nach und bestimmte ihre Depositionsraten (Kunkel 2021).

In einer Pilotstudie des BVL, an der neben NRW auch Bayern und Brandenburg teilnahmen, wurden etwa 30 verschiedene PSM und Metaboliten im Niederschlag nachgewiesen (BVL 2024b). Die Untersuchungen liefen dabei von August bis Dezember, also nicht in den Hauptanwendungsmonaten im Frühjahr und Sommer.

In einer Untersuchung von Ethanol aus Malaise-Fallen zur Insektenbestimmung in 21 Naturschutzgebieten in ganz Deutschland konnten insgesamt 47 verschiedene Wirkstoffe ermittelt werden (Brühl et al. 2021). Die Untersuchungen mit den Malaise-Fallen sind jedoch nicht gänzlich mit den Niederschlagssammlern vergleichbar, da in ihnen gezielt flugfähige Insekten gesammelt wurden und die nachgewiesenen Stoffe somit hauptsächlich durch die Insekten und nicht durch die Luft oder über Niederschlag eingebracht wurden. Ob die Insekten am Probenahmeort oder in benachbarten Feldern mit den Stoffen in Kontakt gekommen sind, kann die Messmethodik nicht ermitteln. Dennoch wurden mit den Malaise-Fallen im Mittel ca. 17 Wirkstoffe je Standort und damit in etwa so viele wie auch in der hier vorgestellten Untersuchung ermittelt.

Bei einer Untersuchung in Naturschutzgebieten in NRW wurden PSM und Metaboliten in Vegetationsproben und im Boden nachgewiesen (WECF 2020). Dabei wurden insgesamt in den Naturschutzgebieten 53 verschiedene Substanzen gefunden, in sogenannten landwirtschaftsnahen „Pufferzonen“ sogar 66. Ein Untersuchungsprogramm im oberen Rheintal wies 62 verschiedene PSM und Metaboliten in Wasser-, Boden- und Vegetationsproben nach, wobei in nahezu allen Proben, auch landwirtschaftsfern, mindestens ein Stoff nachweisbar war (Mauser et al. 2025).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung decken sich also mit in anderen Studien erlangten Erkenntnissen, wonach Einträge einer Vielzahl von PSM und Metaboliten teilweise

auch fern von landwirtschaftlich genutzten Flächen in verschiedenen Umweltmedien nachgewiesen werden konnten.

3.1.2 Depositionsraten der PSM

In den Jahren 2022 und 2023 wurde von den mittels F36-Methode (DIN 38407-36) ermittelten Wirkstoffen und Metaboliten auch die Deposition in $[\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}]$ ermittelt. An den landwirtschaftsnahen Standorten wurde in den Jahren 2022 und 2023 eine mittlere Depositionsrate von $100 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$ und an den landwirtschaftsfernen von $62 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$ ermittelt. Der höchste Gesamteintrag von $130 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$ wurde 2022 an der Messstation Bocholt gefunden; der niedrigste 2023 an der Messstation Hilchenbach ($43 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$). Dabei handelt es sich nur um die Stoffe, die auch quantifiziert werden konnten. Stoffe, welche nur mittels Non-Target Analytik nachgewiesen wurden, konnten für die Berechnungen nicht berücksichtigt werden. Die realen Depositionsraten liegen daher höher. Es gibt 2022 eine deutliche Korrelation zwischen dem Anteil der landwirtschaftlichen Fläche im Umkreis von 1 km und der ermittelten Depositionsrate (s. Abbildung 13). 2023 fiel die Korrelation geringer aus, was vor allem durch den Standort Egge bedingt wurde. Die Messstation in der Egge liegt auf dem Berg Velmerstot im Eggegebirge und wird daher bei entsprechenden Windrichtungen sehr gut aus den landwirtschaftlich geprägten Bereichen in der Umgebung angeströmt. Somit gibt es dort vergleichsweise hohe Depositionsraten.

Insgesamt zeigen die erhobenen Daten der acht Messstationen, dass landwirtschaftsfern fast genauso viele Wirkstoffe ermittelt wurden wie landwirtschaftsnah, aber die eingetragenen Frachten geringer ausfielen.

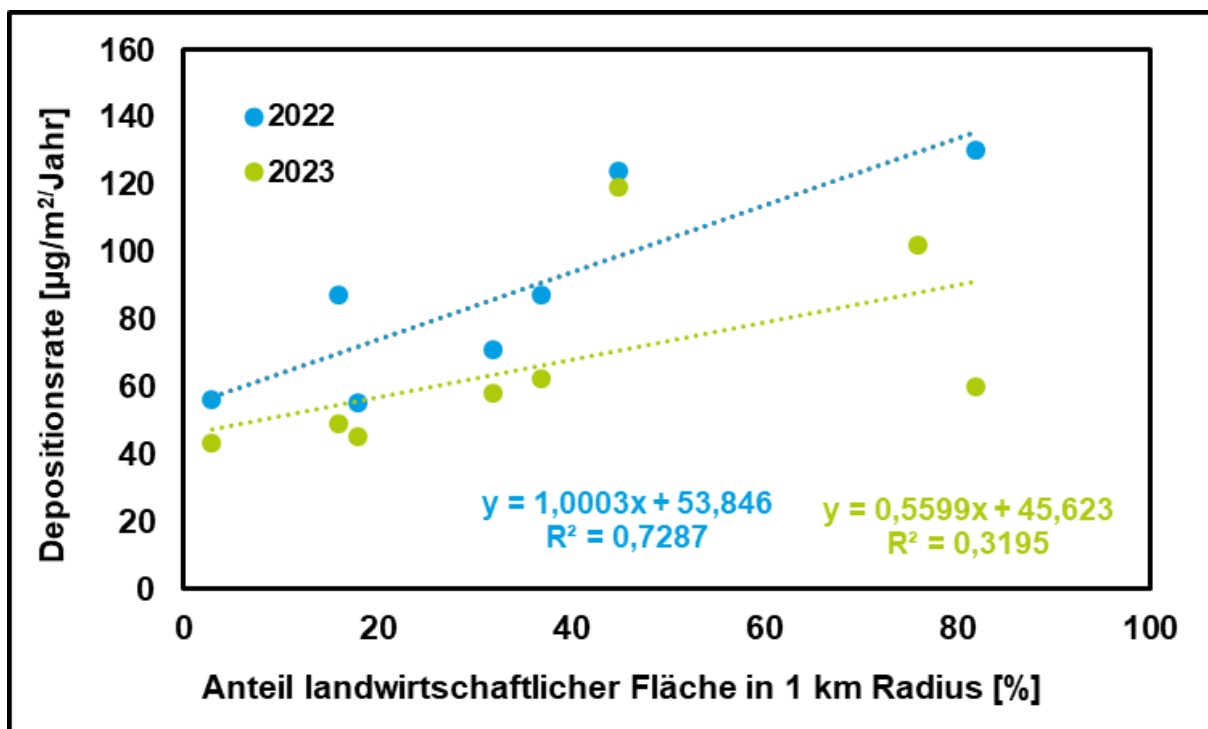


Abbildung 13: Gesamtdositionsrate der PSM pro Standort pro Jahr $[\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}]$ aufgetragen gegen den prozentualen Anteil der landwirtschaftlichen Fläche in einem Radius von 1 km in den Jahren 2022 und 2023

In verschiedenen Studien wurden ebenfalls Depositionsraten von PSM erfasst. So wurden in einer Pilotstudie in der Schweiz (BAFU 2021) in Bulk-Regensammlern in unterschiedlichem Abstand zur Anwendung ca. 50–150 µg/m²/168 d ermittelt. Die Probenahme erfolgte dabei zwischen März und September (168 Tage). In der Nähe von Obst- und Beerenkulturen wurde in diesem Zeitraum sogar eine Depositionsrates von über 250 µg/m²/168 d ermittelt. Damit liegen diese Daten bis auf den ermittelten Spitzenwert ungefähr in der Größenordnung, die in der vorliegenden Untersuchung in NRW ermittelt wurde. Auch in einer Studie aus Dänemark wurden ähnlich hohe Depositionsraten ermittelt: Für Terbutylazin und seinen Metaboliten Desethylterbutylazin wurde 2005 eine Deposition von ca. 30–33 µg/m²/Jahr und für Pendimethalin von 32–48 µg/m²/Jahr in Bulk-Sammlern ermittelt (Asman et al. 2005). In den Jahren 2012–2015 wurden in Schweden im Mittel die höchsten Depositionsraten für Prosulfocarb (ca. 100 µg/m²/Jahr), Prothioconazol-desthio (ca. 10 µg/m²/Jahr) und Desethylterbutylazin (ca. 8 µg/m²/Jahr) bestimmt (Kreuger und Lindström 2019).

Die im gesamten Jahresverlauf an den einzelnen Messstationen untersuchten PSM sind in den Tabellen 2–4 aufgeführt.

Tabelle 2: In den Niederschlagsproben 2021 nachgewiesene Wirkstoffe an den Messstationen, x: qualitativer Nachweis ohne Depositionsberechnung. (BO=Bocholt, GÜ=Gütersloh, ES=Essen, LA=Langenfeld, OS=Osenberg, EI=Eifel, EG=Egge, HI=Hilchenbach)

Typ	Name	BO	GÜ	ES	LA	OS	EI	EG	HI
Insektizide	Dimethoat				x				
	Pirimicarb				x				
	Thiacloprid					x			
Herbizide	Acclonifen	x							
	Chlortoluron	x		x					
	Clomazone	x		x	x		x		
	Desphenylchloridazon			x					
	Methyldesphenylchloridazon	x							
	Diflufenican	x	x	x					
	Dimethenamid	x	x		x		x	x	
	Ethofumesat	x		x	x	x			
	Flufenacet	x	x	x	x	x	x	x	x
	Lenacil				x				
	MCPA	x							
	Metamitron	x							
	Metazachlor	x							

Typ	Name	BO	GÜ	ES	LA	OS	EI	EG	HI
	Metazachlor-Sulfonsäure	x							
	Metobromuron	x			x				
	Metolachlor	x	x	x		x		x	
	Metolachlor ESA	x		x		x			x
	Metolachlor CA	x							
	Metribuzin	x							
	Pendimethalin	x	x	x	x	x	x	x	x
	Pethoxamid		x						
	Propazin	x			x			x	
	Propyzamid	x		x	x	x		x	
	Prosulfocarb	x	x	x	x	x	x	x	x
	Terbuthylazin	x	x	x	x	x	x	x	x
	Terbuthylazin-2-hydroxy	x	x	x			x	x	x
	Desethylterbuthylazin	x	x	x	x	x	x	x	x
Fungizide	Azoxystrobin	x	x	x	x	x		x	x
	Cyproconazol								x
	Mandipropamid	x	x						
	Propamocarb	x	x	x	x	x	x		x
	Prothioconazol-desthio	x	x	x	x	x	x	x	x
	Tebuconazol	x	x	x	x	x	x	x	x
Anzahl		29	15	18	18	14	11	13	12

Tabelle 3: In den Niederschlagsproben 2022 nachgewiesene Wirkstoffe sowie Depositionsraten [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] an den Messstationen; x: nur qualitativer Nachweis mittels Non Target Analytik, *einzelne Monate nicht auswertbar, (BO=Bocholt, GÜ=Gütersloh, ES=Essen, LA=Langenfeld, OS=Osenberg, EI=Eifel, EG=Egge, HI=Hilchenbach)

Typ	Name	BO	GÜ	ES	LA	OS	EI	EG	HI
Insektizide	Flonicamid				x				
	Thiacloprid					0,53			7,6
Herbizide	Aclonifen	x	x	x	x			x	
	Chlortoluron	9,1	1,1	1,1	1,4			0,70	
	Clomazone	x	x	x	x	x	x		
	Desphenylchloridazon	x	18						
	Methyl-desphenylchloridazon		4,0						
	Diflufenican	x	x	x	x	x	x	x	
	Dimethenamid	3,0	4,2	x	0,70	x	x	x	
	Ethofumesat	6,4		47	9,2	3,1			
	Flufenacet	30	12	12	7,3	4,5	3,0	8,7	6,6
	Flufenacet-ESA	x							
	Foramsulfuron	x							
	Lenacil	x	x	2,7	2,3	1,4	2,5	x	x
	MCPA				x				
	Metamitron				0,95				
	Desamino-Metamitron	x	x	x	x			x	
	Metazachlor				x				
	Metazachlor-Sulfonsäure		x						
	Metobromuron			x	x				
	Metolachlor	7,9	3,8	2,6	1,8	4,5	1,2	3,9	x
	Metolachlor ESA		x						
	Nicosulfuron	x							
	Pendimethalin	7,4	1,0*	2,6	4,8	3,4		1,2	3,3
	Propyzamid		x	x	x		x	x	
	Prosulfocarb	32	7,0*	28	28	39	37	29	26

Typ	Name	BO	GÜ	ES	LA	OS	EI	EG	HI
	Terbuthylazin	13	13	7,9	4,3	2,0	2,4	12	1,7
	Terbuthylazin-2-hydroxy	x							
	Desethylterbuthylazin	8,4	6,3	8,4	7,2	4,5	4,0	9,4	4,0
	Triallate						x		x
Fungizide	Azoxystrobin	x	x	x	x	x	x	x	x
	Boscalid		x		x				
	Cyflufenamid				x				
	Cyproconazol				x				
	Flutolanil	x	x	x	x	x	x	x	x
	Fluxapyroxad	x	x	x	x	x	x		x
	Mandipropamid	x					x		
	Propamocarb	x	x	x	x	x	x	x	x
	Prothioconazol-desthio	13	13	11	17	7,7	5,0	21	7,2
	Trifloxystrobin					x			x
	Tebuconazol	0,70	1,0	1,5	4,1	x	x	2,0	x
Anzahl		26	22	23	28	19	18	18	16
Deposition	[µg/m²/Jahr]	130	85	120	87	71	55	87	56

Tabelle 4: In den Niederschlagsproben 2023 nachgewiesene Wirkstoffe sowie Depositionsraten [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] an den Messstationen, x: nur qualitativer Nachweis mittels Non Target Analytik (in 2023 wurde eine geringere Auswahl an Stoffen untersucht) (BO=Bocholt, GÜ=Gütersloh, ES=Essen, LA=Langenfeld, OS=Osenberg, EI=Eifel, EG=Egge, HI=Hilchenbach)

Typ	Name	BO	GÜ	ES	LA	OS	EI	EG	HI
Herbizide	Aclonifen	x	x	x	x	x	x		
	Dimethenamid		1,3		0,058				
	Ethofumesat						0,17		
	Flufenacet	4,0	11	8,3	10	4,8	1,7	4,7	3,7
	Lenacil			0,087					
	Metamitron						0,076		
	Metolachlor			0,25	0,045			0,35	
	Pendimethalin	2,1	3,1	4,9	2,9				
	Propyzamid	2,4	1,7	1,5	3,0	2,3	1,2	3,5	
	Prosulfocarb	29	33	71	23	32	34	19	27
	Terbuthylazin	3,6	8,3	11	1,8	3,5	3,6	2,9	
	Desethylterbuthylazin	4,9	13	11	4,7	9,6	4,6	8,6	8,3
Fungizide	Azoxystrobin			0,13	1,5		0,081		
	Boscalid				3,5				
	Fluopyram	x	x	x	x	x	x	x	x
	Mandipropamid	x	x	x	x	x	x	x	x
	Mefentrifluconazol	x	x	x	x	x	x	x	x
	Propamocarb	x	x	x	x	x	x	x	x
	Prothioconazol-desthio	15	31	11	7,6	6,0	0,22	9,7	4,4
	Tebuconazol			0,092	3,8		0,068		
Anzahl		12	13	16	17	11	15	11	8
Deposition	[$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$]	60	102	119	62	58	45	49	43

Während des dreijährigen Untersuchungszeitraums wurden zahlreiche PSM und Metaboliten mindestens einmal an allen acht Messstationen, auch den landwirtschaftsfernen, nachgewiesen (s. Tabellen 2–4). Es kann daher von einer NRW-weiten Verteilung der Stoffe ausgegangen werden. Aus der Gruppe der Herbizide waren es sieben Stoffe: Flufenacet, Lenacil, Metolachlor, Pendimethalin, Prosulfocarb, Terbutylazin und dessen Metabolit Desethylterbutylazin; aus der Gruppe der Fungizide acht: Azoxystrobin, Fluopyram, Flutolanil, Mandipropamid, Mefentrifluconazol, Propamocarb und Tebuconazol sowie der Metabolit Prothioconazol-desthio. Zwischen den drei Untersuchungsjahren gab es dabei unterschiedliche Verteilungen, was zum einen durch eine variierende Anwendung einzelner Wirkstoffe erklärt werden kann (z. B. Auflagen für Terbutylazin). Zum anderen gab es im Untersuchungsprogramm einen Monat ohne Niederschlag (Mai 2023), bei dem für diese Periode typische Stoffe wie Flufenacet nicht in den Depositionssammlern nachgewiesen wurden. Zudem wurden in den Untersuchungsjahren auch unterschiedliche analytische Methoden angewendet. Mit der Non-Target Analytik in den Jahren 2021 und 2022 konnte ein erweitertes Wirkungsspektrum betrachtet und für einige Wirkstoffe auch sensitive Nachweisgrenzen ermöglicht werden. 2023 wurde aus Kapazitätsgründen nur gezielt auf wenige Wirkstoffe untersucht.

Dass in den Untersuchungen nur wenige bzw. im Jahr 2023 keine Insektizidwirkstoffe nachgewiesen wurden, sollte nicht als Beleg für eine vernachlässigbare Verfrachtung von Insektiziden über die Luft betrachtet werden. Zum einen sind die eingesetzten Wirkstoffmengen von Insektiziden aufgrund der sehr hohen Wirksamkeit meist deutlich niedriger als die Wirkstoffmengen von Herbiziden und Fungiziden (BVL), was den Nachweis erschwert. Zum anderen wurden in den vorliegenden Untersuchungen nur einzelne Wirkstoffe und Metaboliten aus der Gruppe der Insektizide untersucht.

Vergleicht man die gefundenen PSM mit den in anderen Studien im Niederschlag nachgewiesenen Stoffen, findet man große Übereinstimmungen. In Bulk-Sammlern in Schweden wurden in den Jahren 2012–2015 am häufigsten Prosulfocarb, Propamocarb und verschiedene, dort nicht mehr angewendete, Altstoffe (Lindan, Endosulfan, Chlorpyrifos) nachgewiesen (Kreuger und Lindström 2019). In Regenproben in Dänemark wurden in den Jahren 2000–2001 an landwirtschaftsnahen Standorten die höchsten Rückstandsmengen für die Wirkstoffe Pendimethalin und den Metaboliten Desethylterbutylazin gefunden (Asman et al. 2005). Depositionsuntersuchungen aus Bayern wiesen neben Prosulfocarb, Terbutylazin, Propamocarb, Pendimethalin und Desethylterbutylazin auch deutliche Einträge von Tebuconazol und Carbendazim an einem landwirtschaftsfernen Referenzstandort nach (Kunkel 2021). In einer auch durch das LANUK begleiteten Pilotstudie des BVL wurden an drei Standorten in drei Bundesländern ebenfalls zwischen August und Dezember 2023 Depositionssammler beprobt und auf 69 PSM und Metaboliten untersucht (BVL 2024b). Hier wurden viele der im Rahmen der vorliegenden Studie nachgewiesenen PSM und Metaboliten ebenfalls gefunden. Die höchsten Einträge wurden für Prosulfocarb und Flufenacet nachgewiesen, was sich mit den Ergebnissen der NRW-Untersuchung deckt.

Die Analyse des Ethanolis aus Malaise-Fallen zur Insektenbestimmung in 21 Naturschutzgebieten in ganz Deutschland aus dem Jahr 2020 bestätigt diese Ergebnisse ebenfalls: Hier wurden an allen untersuchten Standorten die Herbizide Metolachlor, Prosulfocarb und Terbutylazin sowie das Fungizid Azoxystrobin ermittelt (Brühl et al. 2021). Das dort ebenfalls durchgängig detektierte Fungizid Fluopyram wurde am LANUK im Jahr

2023 das erste Mal mittels Non-Target-Analytik in den Niederschlagsproben untersucht und an allen acht Standorten nachgewiesen.

Unterschiede in den Befunden verschiedener Studien lassen sich zum Teil über eine geänderte Anwendungspraxis für einzelne Wirkstoffe sowie unterschiedliche Ackerkulturen im Umland erklären. Besonders das Ende der Zulassung einzelner PSM wird in der umfangreichen Zeitreihe des LfU Bayern gut sichtbar (Kunkel 2021).

Die in den Jahren 2022 und 2023 ermittelte Gesamtdeposition der quantifizierbaren Wirkstoffe über alle Standorte und Monate ist in Abbildung 14 aufgetragen. An den hier untersuchten Messstationen wurde im Jahr 2023, genau wie im Vorjahr, die höchste Depositionsrates für das Herbizid Prosulfocarb gefunden, gefolgt vom Fungizid-Metabolit Prothioconazol-desthio. Die nächst höheren Depositionsrates wurden für Herbizid Flufenacet (2022) bzw. den Herbizid-Metaboliten Desethylterbuthylazin (2023) ermittelt.

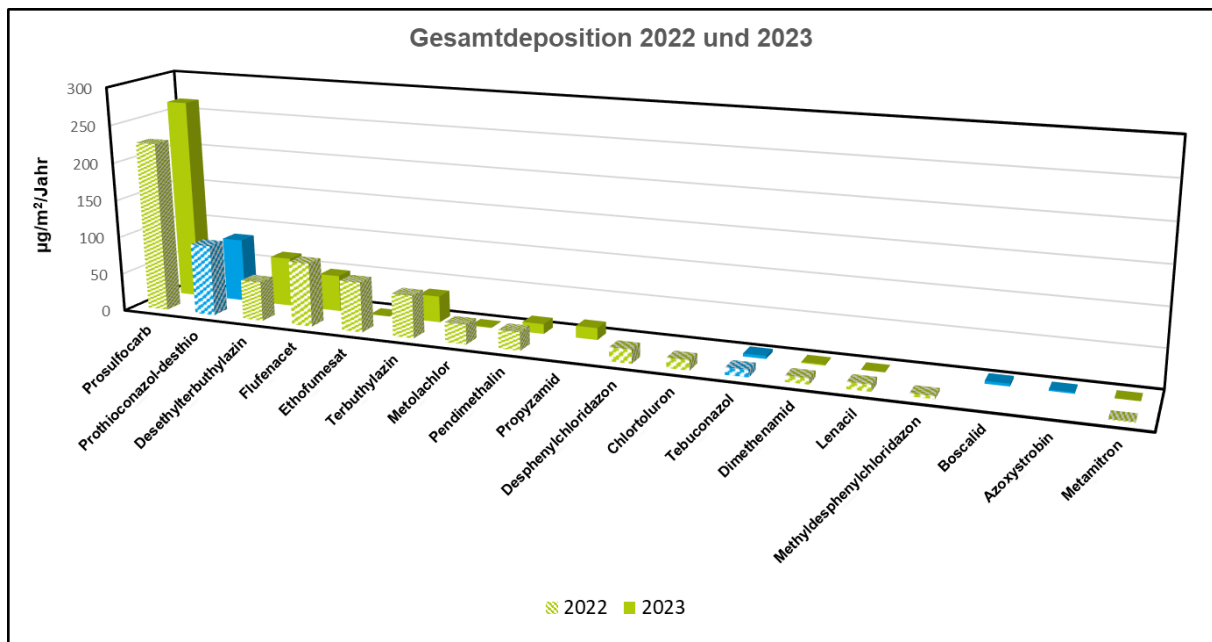


Abbildung 14: Gesamtdeposition [µg/m²/Jahr] der quantitativ erfassten Wirkstoffe (grün: Herbizide, blau: Fungizide) an allen Messstationen in den Jahren 2022 und 2023

3.1.3 Jahreszeitlicher Verlauf der Einträge

Im Folgenden werden exemplarisch die Ergebnisse für 2023 näher betrachtet. Die Beobachtungen aus 2021 und 2022 decken sich überwiegend mit denen aus 2023.

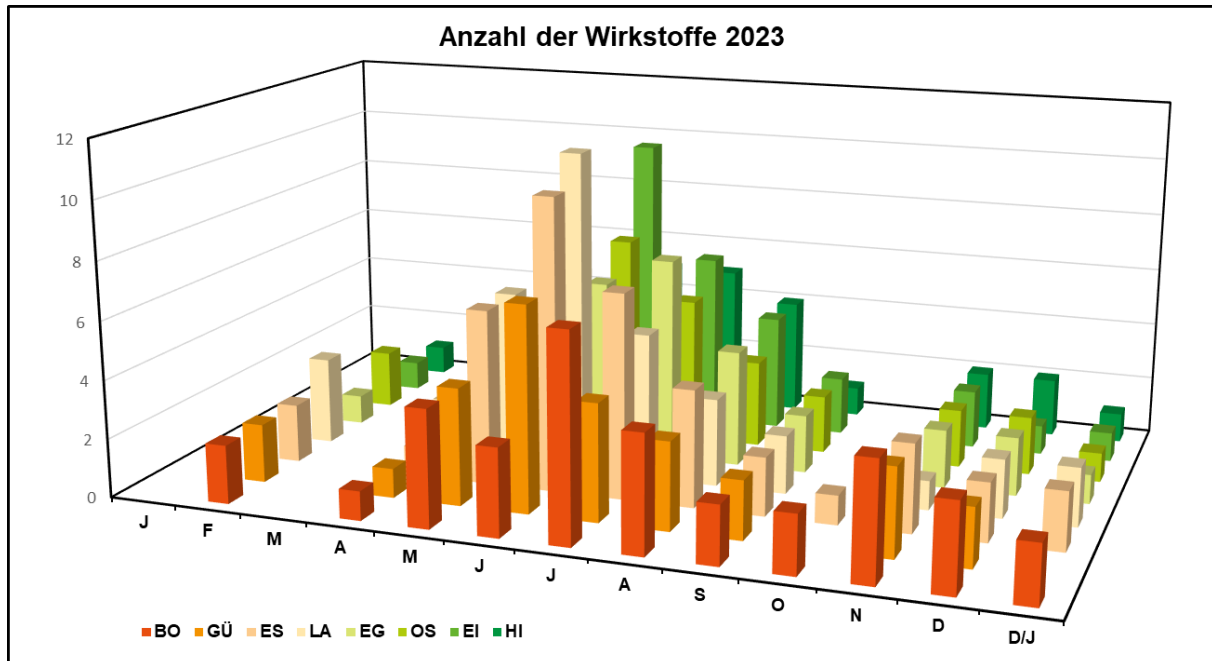


Abbildung 15: Anzahl der erfassten PSM-Wirkstoffe und Metaboliten an den einzelnen Messstationen im Jahreslauf 2023 (BO=Bocholt, GÜ=Gütersloh, ES=Essen, LA=Langenfeld, OS=Osenberg, EI=Eifel, EG=Egge, HI=Hilchenbach)

Die meisten PSM-Wirkstoffe und Metaboliten wurden in den Untersuchungen jeweils im Frühjahr/ Sommer (Mai–Juli) gefunden (s. Abbildung 15, exemplarisch für 2023). In jedem Monat wurde mindestens an einer Messstelle ein Stoff im Niederschlag nachgewiesen, so dass nahezu ganzjährig Einträge in NRW gezeigt werden konnten.

Betrachtet man nicht die Anzahl PSM pro Monat, sondern die Depositionsrates, so zeigt sich, dass die größten Einträge i. d. R. nicht im Frühjahr/ Sommer, sondern Ende des Jahres (Oktober bis Januar) zu verzeichnen waren (s. Abbildung 16, exemplarisch für 2023). Diese hohen Einträge sind nur auf wenige Wirkstoffe zurückzuführen. Es handelt sich dabei um die Herbizide Prosulfocarb, Flufenacet und Pendimethalin, die als Vorlaufherbizide eingesetzt werden, um unerwünschte Pflanzen von den Ackerflächen zu entfernen, bevor die Kulturpflanzen aufaufen.

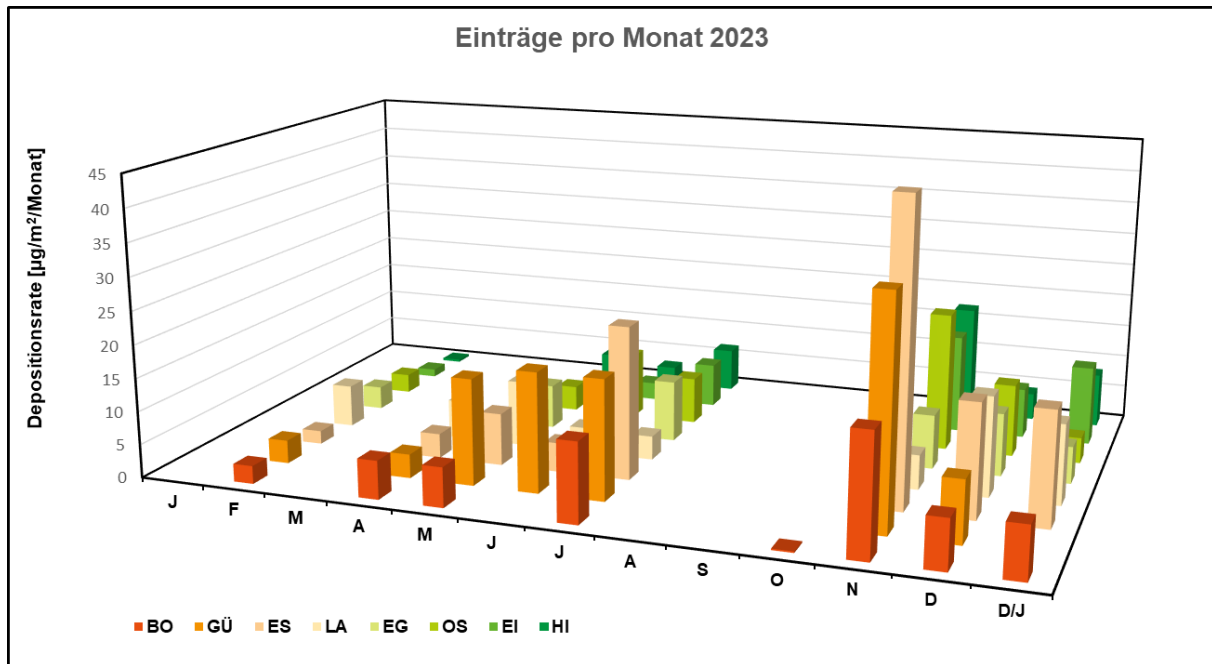


Abbildung 16: Depositionsraten [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Monat}$] der erfassten PSM-Wirkstoffe und Metaboliten an den einzelnen Messstationen im Jahreslauf 2023 (BO=Bocholt, GÜ=Gütersloh, ES=Essen, LA=Langenfeld, OS=Osenberg, EI=Eifel, EG=Egge, HI=Hilchenbach)

Der Eintrag der einzelnen PSM-Wirkstoffe war zeitlich sehr unterschiedlich. In der Abbildung 17 werden exemplarisch die acht in der Deposition am stärksten vertretenen Wirkstoffe mit verschiedenen Eintragsmustern dargestellt.

Das Herbizid Prosulfocarb wurde an der Messstation in Essen im Mai gefunden und an allen Messstationen, auch an den landwirtschaftsfernen, zwischen November und Dezember/Januar, wo die Einträge deutlich höher waren.

Das Herbizid Flufenacet wurde ebenfalls zu unterschiedlichen Zeiten an den Messstationen ermittelt: Es gab Einträge im Februar, im Juni und Juli sowie von November bis Dezember/Januar. Auch bei Flufenacet wurden Ende des Jahres deutlich höhere Depositionsraten ermittelt. Zum einen spielen unterschiedlich große Anwendungsmengen für die verschiedenen Einsatzzeiten im Jahr eine Rolle, zum anderen können auch die schlechteren Abbaubedingungen im Herbst/ Winter (weniger UV-Strahlung, niedrigere Temperaturen, höhere Niederschläge) mitursächlich sein.

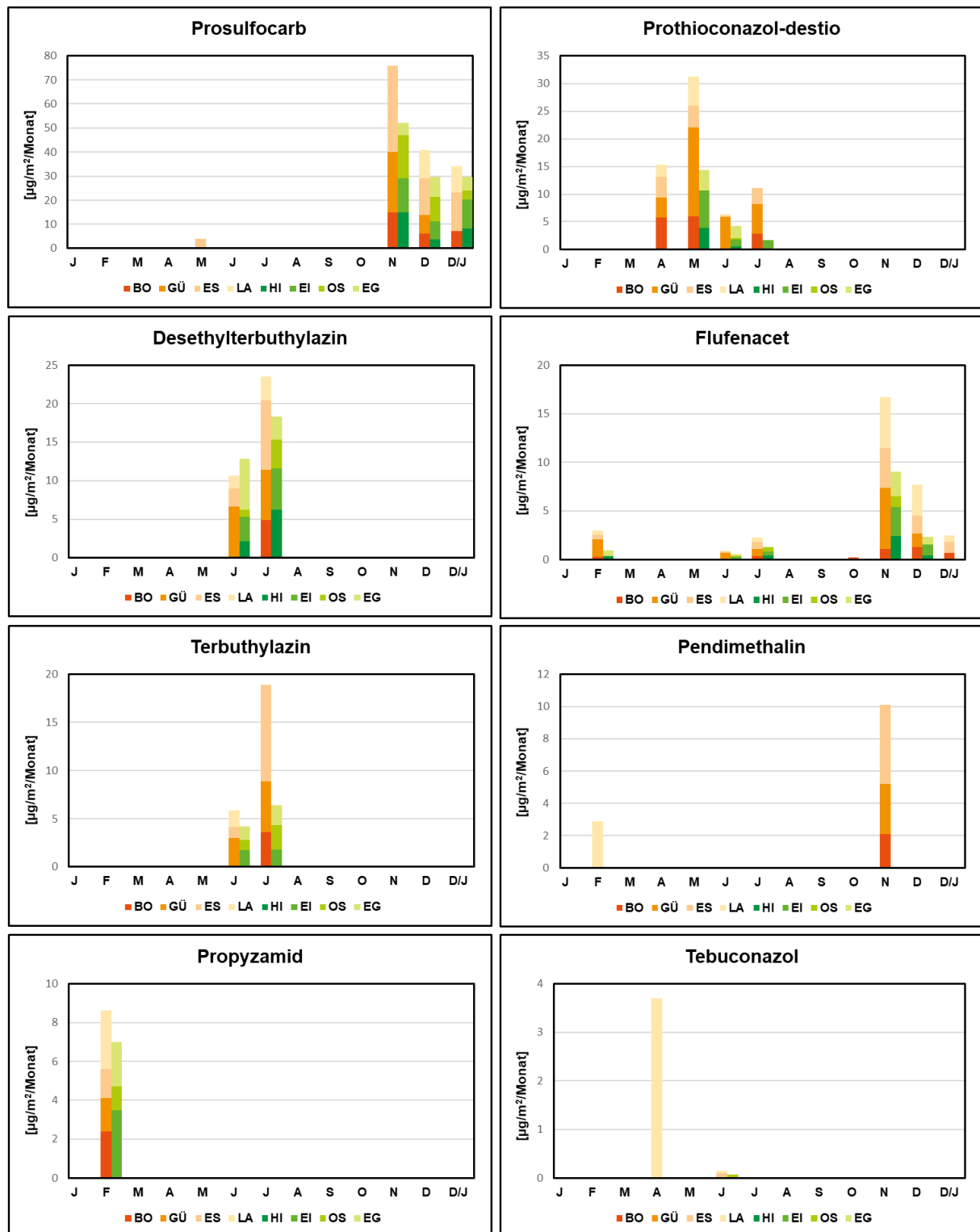


Abbildung 17: Depositionsraten $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Monat}$ an den landwirtschaftsnahen (rot/orange) und -fernen (grün) Messstationen 2023, an denen der jeweilige PSM-Wirkstoff bzw. der Metabolit gefunden wurde. Anm.: Pendimethalin und Flufenacet konnten in der Maiprobe nicht analysiert werden. (BO=Bocholt, GÜ=Gütersloh, ES=Essen, LA=Langenfeld, OS=Osenberg, EI=Eifel, EG=Egge, HI=Hilchenbach).

Prosulfocarb wird beim Anbau von Kartoffeln, Zwiebeln und Wintergetreide zur Bekämpfung von Gräsern und zweikeimblättrigen Beikräutern angewendet (BVL 2023; JKI 2024). Das erklärt die Ausbringung sowohl im Frühjahr und Sommer als auch in den Herbst- und Wintermonaten (Wintergetreide) als sogenanntes Vorlaufherbizid. Prosulfocarb ist eines der in Deutschland meistverkauften Pflanzenschutzmittel (s. Abbildung 18, (BVL)). Es werden ca. 1.500 t dieses Wirkstoffes pro Jahr verbraucht. Prosulfocarb wird vermutlich teils gasförmig, teils partikelgebunden verbreitet (LfU 2019). Dadurch kann es auch über weite Strecken verfrachtet und so auch in landwirtschaftsferne Gebiete eingetragen werden (Brühl et al. 2021; LUGV 2015; Kunkel 2021).

Auch Flufenacet ist ein Vorlaufherbizid und wird im Acker-, Gemüse- und Obstbau, bevorzugt auch bei Wintergetreide, eingesetzt. Dementsprechend wurde auch Flufenacet in den Herbst- und Wintermonaten im Niederschlag gefunden. Flufenacet gehört ebenfalls zu den PSM, die in Deutschland im Jahr 2023 in großen Mengen (680 t/Jahr) abgesetzt wurden (s. Abbildung 18). Über die Verfrachtung ist weniger bekannt, aber es ist nach den hier vorliegenden Untersuchungen davon auszugehen, dass sich dieser Wirkstoff auch über größere Entfernungen verbreiten kann, da er auch an den landwirtschaftsfernen Messstationen nachgewiesen wurde. Der Wirkstoff wurde auch in anderen Untersuchungsprogrammen in Pflanzen aus nicht landwirtschaftlich genutzten Bereichen detektiert (LUGV 2015; WECF 2020; Kunkel 2021).

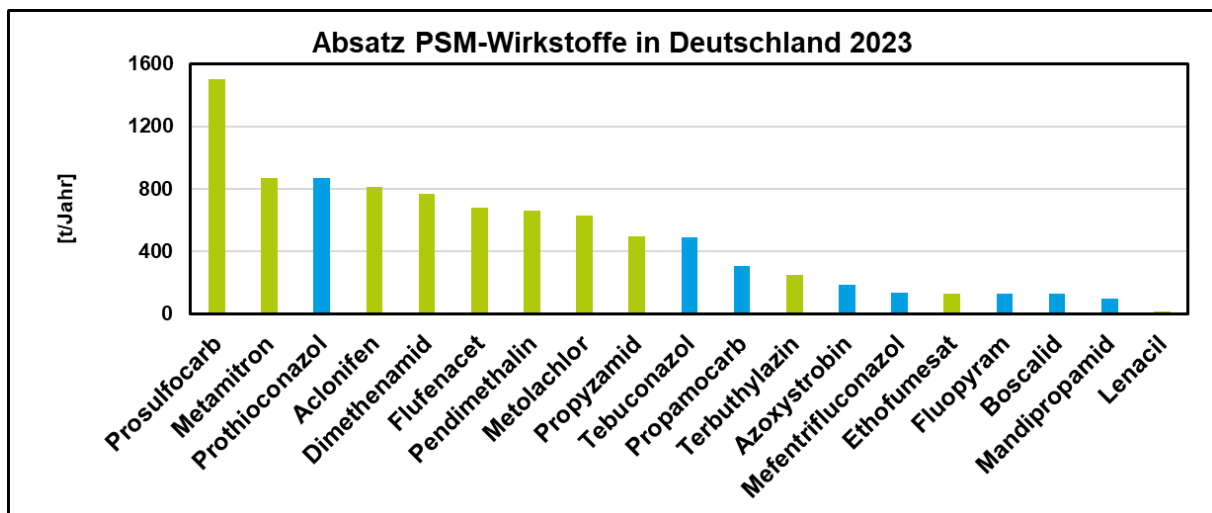


Abbildung 18: Absatz der nachgewiesenen PSM in Deutschland 2023 [t/Jahr]; Quelle: BVL 2024b; blau Fungizide, grün: Herbizide

Das Herbizid Terbuthylazin und sein Metabolit Desethylterbuthylazin wurden jeweils nur im Juni und Juli in den Bulk-Sammlern gefunden (s. Abbildung 17). Der Herbizid-Wirkstoff Propyzamid wurde nur im Februar ermittelt; Pendimethalin im Februar und im November.

Terbuthylazin ist ein Herbizid, welches in der Regel im Frühjahr zur Bekämpfung von Schadhirs, Rispengras und zweikeimblättrigen Beikräutern in Maiskulturen ausgebracht wird. Es wurden im Jahr 2023 in Deutschland 250 t davon abgesetzt (s. Abbildung 18). In der Atmosphäre liegt Terbuthylazin hauptsächlich partikelgebunden vor und kann so über weite Distanzen verdriftet werden (Mai 2012). So wurde es bereits in anderen Studien auch fernab der Anwendungsgebiete in der Luft gemessen, u. a. über der zentralen Nordsee oder in

Brandenburg in einem Biosphärenreservat (Mai 2012; LUGV 2015; Kunkel 2021). Desethylterbuthylazin ist der Hauptmetabolit von Terbuthylazin und weist ein herbizides Restwirkungspotenzial auf (LfU 2019). Da der Dampfdruck dieses Metaboliten deutlich höher ist als der Ausgangsstoff, kann er leichter ausgasen und sich auf diese Weise auch gut in der Atmosphäre verbreiten. Der Nachweis von Terbuthylazin und seinen Metaboliten an den untersuchten Messstationen gibt dementsprechend die gängige Praxis der Ausbringung dieses Herbizids im Frühjahr wieder. Terbuthylazin und sein Metabolit Desethylterbuthylazin wurden dabei auch an allen landwirtschaftsfernen Messstationen nachgewiesen, somit zeigte sich die atmosphärische Verteilung über größere Entfernungen auch im vorliegenden Messprogramm.

Pendimethalin wird laut Literaturangaben vornehmlich im Herbst zur Bekämpfung von Gräsern und zweikeimblättrigen Beikräutern in Wintergetreidekulturen ausgebracht (LfU 2019). Das kann in der hier vorgestellten Untersuchung bestätigt werden, wobei zusätzlich auch ein Eintrag im Februar beobachtet werden konnte (s. Abbildung 17). Der Wirkstoff Pendimethalin wurde im Jahr 2023 in hohen Tonnagen verkauft (Absatz 660 t/ Jahr, s. Abbildung 18). Pendimethalin hat einen vergleichsweise hohen Dampfdruck, so dass davon auszugehen ist, dass dieser Wirkstoff schnell in die Gasphase übertritt und damit weit in der Atmosphäre verbreitet werden kann (LfU 2019).

Weitere in dieser Untersuchung festgesellte Herbizide, die auch quantifizierbar waren, sind die beispielsweise im Rübenanbau und einigen anderen Kulturen angewendeten Wirkstoffe Ethofumesat (auch im Spinatanbau) und Lenacil (auch in Erdbeerkulturen und in Baumschulen angewendet). Beide Wirkstoffe wurden im Jahr 2023 deutschlandweit etwas weniger häufig eingesetzt als die bisher besprochenen Herbizide (Ethofumesat: 140 t/Jahr; Lenacil: 18 t/ Jahr). Propyzamid ist ein Bodenherbizid gegen mono- und dikotyle Pflanzen (Absatz 2023: 500 t/Jahr) und wird z. B. im Nachauflauf bei Raps eingesetzt. In der vorliegenden Untersuchung wurde es ausschließlich im Februar gefunden (s. Abbildung 17). Dimethenamid (Absatz 2023: 770 t/Jahr) und Metolachlor (Absatz 2023: 630 t/Jahr) werden hauptsächlich im Maisanbau verwendet. Aus diesen Gründen findet man diese Wirkstoffe hauptsächlich im Frühjahr/ Sommer.

Die in den Niederschlagsproben ermittelten Fungizide weisen ebenfalls unterschiedliche Eintragszeiträume auf (s. Abbildung 17). Der Metabolit Prothioconazol-desthio wurde zwischen April und Juli ermittelt. Tebuconazol wurde sowohl im April als auch im Juli detektiert.

Prothioconazol-desthio ist ein Metabolit des Fungizids Prothioconazol. Es gehört zu den PSM mit hohen Absatzmengen in Deutschland (Absatz 2023: 870 t/Jahr, s. Abbildung 18). Das Fungizid findet im Ackerbau vor allem bei Winter-Raps- und Winter-Getreidekulturen Anwendung, ist aber auch für Mais zugelassen. Es wird neben der direkten Ausbringung auf Ackerflächen auch für die Saatgutbehandlung eingesetzt. Prothioconazol-desthio wurde an allen untersuchten Messstationen gefunden. Der Zeitraum der Ermittlung deckt sich, wie oben beschrieben, mit der gängigen Praxis der Ausbringung im Frühjahr. Prothioconazol-desthio wurde in anderen Untersuchungsprogrammen in verschiedenen Umweltmedien (Luft, Niederschlag, Boden und Pflanzen) nachgewiesen (WECF 2020; BAFU 2021; Kunkel 2021; BVL 2024b).

Tebuconazol wurde in deutlich geringeren Depositionsraten ermittelt als Prothioconazol-desthio und im landwirtschaftlichen Bereich z. B. gegen Getreidebrand und Kornfäule

eingesetzt sowie im Zierpflanzenbau gegen Mehltau und Rost, fungiert aber auch als Holzschutzmittel. Tebuconazol wurde in Deutschland in niedrigerer Tonnage ausgebracht als Prothioconazol (Absatz 2023: 490 t/Jahr, s. Abbildung 18).

Weitere Fungizide, die nicht quantitativ erfasst wurden, zeigten sich in anderen Ausbringungsphasen: Propamocarb (Absatz 2023: 310 t/Jahr) wird in der gängigen Praxis hauptsächlich im Sommer (Juli–September) z. B. im Erdbeer- und Gemüsebau und der Kartoffelkultur eingesetzt. Das in den hier vorgestellten Untersuchungen ermittelte Zeitfenster deckt sich damit.

Azoxystrobin (Absatz 2023: 190 t/Jahr) wurde zwischen Mai und Juni an einigen Messstationen ermittelt. Es handelt sich um ein Fungizid mit einem breiten landwirtschaftlichen Anwendungsspektrum u. a. bei Getreide, Obst, Kartoffeln, beim Gemüsebau sowie bei Zuckerrüben- und Rapskulturen. Der Wirkstoff ist auch in Produkten für Privatanwender enthalten. Für Tebuconazol und Azoxystrobin wurde die Deposition an landwirtschaftsfernen Standorten auch in anderen Untersuchungsprogrammen beobachtet, dort auch v. a. während der Anwendungszeit (Kunkel 2021; BAFU 2021).

Im Jahr 2023 wurden noch weitere Fungizid-Wirkstoffe an allen Messstationen nachgewiesen. Dazu zählen Fluopyram, Mandipropamid und Mefentrifluconazol, die in dieser Untersuchung nur qualitativ erfasst wurden, weil sie bislang nur mittels Non-Target-Analytik nachweisbar waren. Diese Wirkstoffe wurden in Deutschland 2023 in niedrigeren Tonnagen abgesetzt als die zuvor beschriebenen (Absatz: 100–140 t/Jahr). Das Fungizid Fluopyram wird in vielen verschiedenen Kulturen (Getreide-, Mais- und Gemüseanbau) gegen unterschiedliche Pilzkrankheiten eingesetzt. Mandipropamid wird hauptsächlich im Kartoffel- und Gemüseanbau verwendet, Mefentrifluconazol überwiegend beim Getreide- und Maisanbau. Mefentrifluconazol wurde erst 2020 auf dem deutschen Markt eingeführt und ist in den darauffolgenden Jahren sehr schnell auf eine Verkaufstonnage von über 100 t gestiegen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass auch an den landwirtschaftsfernen Messstationen zahlreiche PSM nachgewiesen wurden. Die in dieser Untersuchung in den Bulk-Sammlern ermittelten PSM und Metaboliten entsprachen den gängigen in Deutschland eingesetzten Wirkstoffen. Dabei werden die in Deutschland am meisten abgesetzten Wirkstoffe auch mengenmäßig am häufigsten in den Bulk-Sammlern gefunden. Der Haupteintrag erfolgte in den Herbst- und Wintermonaten durch die im Vorlauf bei Winterkulturen eingesetzten Herbizide Prosulfocarb, Flufenacet und Pendimethalin. Unterschiede bei den Nachweisen zeigen sich in den meisten Fällen bedingt durch die unterschiedlichen Anwendungszeiten der PSM und den unterschiedlichen Anwendungsweisen (Spritzanwendung, Saatgutbehandlung etc.).

3.1.4 Vergleich der Einträge mit Daten zu angebauten Kulturen

Mithilfe von GIS erfolgte eine Auswertung der angebauten Kulturen in verschiedenen Umkreisen der einzelnen Standorte (Teilschläge in NRW 2023 – Open Data¹). In der Abbildung 19 werden die an den einzelnen Standorten ermittelten Gesamtdepositionsraten der Wirkstoffe pro Jahr dem prozentualen Flächenanteil der angebauten Kulturen gegenübergestellt.

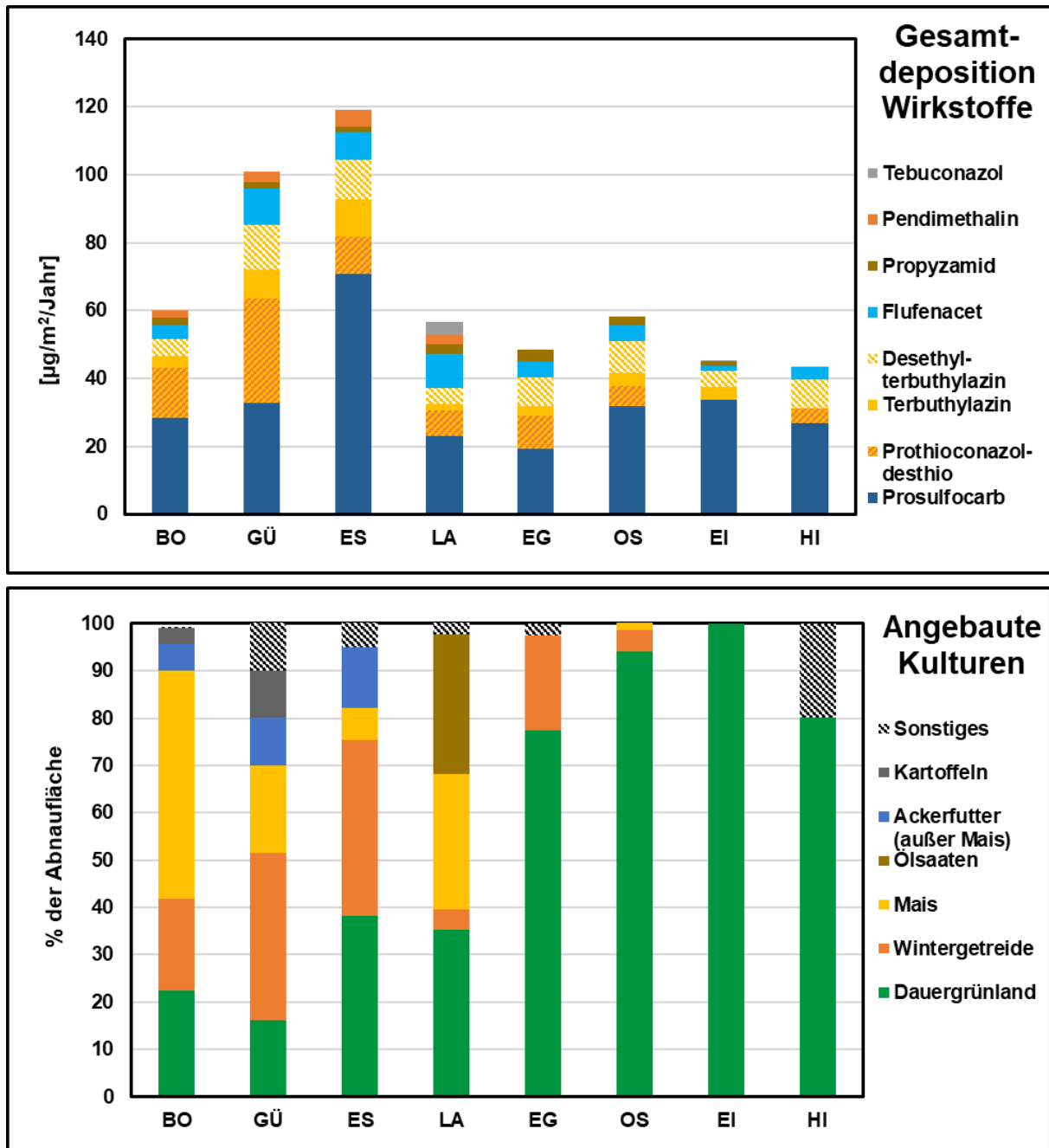


Abbildung 19: Gesamtdeposition [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] der 8 häufigsten, quantitativ erfassten PSM-Wirkstoffe und Metaboliten (oben) an den Messstationen im Jahr 2023 sowie prozentuale Anbaufläche einzelner Kulturen im Radius von 1 km im Jahr 2023 (unten)

¹ Landwirtschaftskammer NRW. Open Data. Hist. beantragte und als förderfähig festgestellte Teilschläge in NRW. Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0. Abgerufen 17.05.2024. https://www.opengeodata.nrw.de/produkte/umwelt_klima/bodennutzung/landwirtschaft.

An den landwirtschaftsnahen Standorten wurden im Umkreis von 1 km unterschiedliche Kulturen angebaut (s. Abbildung 19): In Bocholt überwog der Maisanbau (48 %) vor dem Dauergrünland (23 %) und dem Wintergetreide (19 %). Weitere Kulturen waren Ackerfutter und Kartoffeln. In Gütersloh wurde hauptsächlich Wintergetreide angebaut (35 %); außerdem Mais (19 %), Dauergrünland (16 %), Ackerfutter und Kartoffeln. In Essen und Langenfeld überwog jeweils das Dauergrünland. In Essen wurden zudem auch Wintergetreide (37 %), Ackerfutter, Mais und Erdbeeren angebaut. In Langenfeld gab es zudem Ölsaaten (30 %), Mais (29 %) und Wintergetreide.

An den landwirtschaftsfernen Messstationen wurde im Umkreis von 1 km anteilig an der Gesamtanbaufläche überwiegend bzw. ausschließlich (Eifel, Hilchenbach) Dauergrünland ermittelt (s. Abbildung 19). In Osenberg und in der Egge gab es auch einen Anteil an Wintergetreideanbau bzw. in Osenberg aus Maisanbau.

Unabhängig von den verschiedenen Hauptkulturen wurde im 1 km Radius (314,2 ha) an allen landwirtschaftsnahen und -fernen Messstationen in den Bulk-Sammlern der Wirkstoff Prosulfocarb in der jeweils größten Menge ermittelt (s. Abbildung 19). Trotz der relativ großen Anbaufläche für Mais in Bocholt wurden dort das typische Maisherbizid Terbuthylazin und dessen Metabolit in verhältnismäßig geringen Mengen in der Deposition gefunden. Dagegen wurde dieses, insbesondere der Metabolit, auch an den landwirtschaftsfernen Messstationen in höheren Konzentrationen ermittelt, obwohl es in der direkten Umgebung sehr wenig bzw. überhaupt keinen Maisanbau gab.

Standortnahe Einträge (z. B. durch Abdrift) können anhand der Auswertungen nicht gesondert zugeordnet werden.

Auch mithilfe der PAPA-Anwendungsstatistiken (JKI 2024) sind nur in Einzelfällen eindeutige Zusammenhänge zwischen beobachteten Einträgen und angebauten Kulturen ableitbar (s. Abbildungen 20 und 21). Für detaillierte Auswertungen wären beispielsweise Informationen über die lokalen Windverhältnisse (Eintragsvektor aus der Hauptwindrichtung) und die feldschlagspezifischen PSM-Anwendungsdaten notwendig.

Im Folgenden werden verschiedene PSM-Wirkstoffe mit der Anbaufläche aus den PAPA-Anwendungsstatistiken verglichen. Dabei wurden exemplarisch der Maisanbau und der Wirkstoff Terbuthylazin sowie der Wintergetreideanbau und die dort entsprechend eingesetzten Herbizide betrachtet.

Terbuthylazin ist als PSM nur im Maisanbau zugelassen (vgl. Kapitel 3.1.3). Folglich wäre es plausibel, bei einer Auftragung der Gesamtdosition des PSM Terbuthylazin bzw. dessen Metaboliten Desethylterbuthylazin an einem Standort gegen die Maisanbaufläche [ha] im Umkreis einen Zusammenhang zu finden. Eine entsprechende Auswertung zeigte jedoch keine aussagekräftige Korrelation (s. Abbildung 20). Das ist auch bei einer Betrachtung von einem größeren Radius von 3 bzw. 5 km um die Messstationen zu beobachten. Laut PAPA-Statistik verwenden etwa die Hälfte der maisanbauenden Betriebe Terbuthylazin (JKI 2024). Zudem differenzieren die Umkreisauswertungen nicht nach Hauptwindvektor.

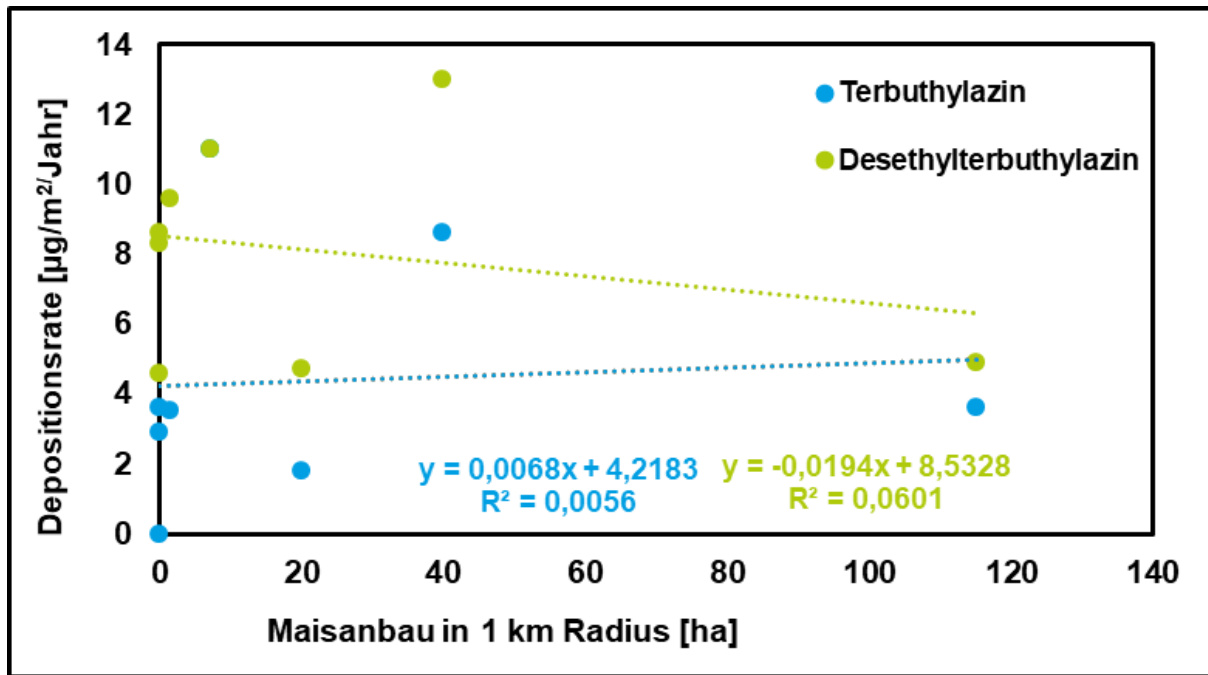


Abbildung 20: Gesamtdeposition [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] des PSM Terbutylazin und seines Metaboliten Desethylterbutylazin 2023 gegen die Maisanbaufläche [ha] im Umkreis von 1 km

Im Herbst wurden vor allem bei den Winterkulturen die höchsten Einträge an PSM detektiert. Um diese hohen Einträge möglicherweise einzelnen Anbaukulturen zuzuordnen, wurden die beiden Vorlaufherbizide Prosulfocarb und Flufenacet exemplarisch dem Anteil der Wintergetreidekulturen gegenübergestellt (s. Abbildung 21). Zusätzlich wurde und der Fungizidmetabolit Prothioconazol-desthio in die Gegenüberstellung mit aufgenommen, da für den Wirkstoff Prothioconazol der Behandlungsindex bei über 70 bzw. 85 % der Wintergetreidekulturen liegt (JKI 2024).

Für Prosulfocarb kann keine Korrelation zur Anbaufläche festgestellt werden. Auch an den Standorten mit vergleichsweise wenig Wintergetreide im Umkreis finden sich hohe Einträge des Herbizids. Laut PAPA-Statistik ist dies plausibel, da nur wenige Kulturen von Winterweizen und –gerste damit behandelt werden (JKI 2024). Prosulfocarb wird auch in weiteren Kulturen eingesetzt, was eine eindeutige Zuordnung erschwert.

Laut PAPA-Statistik werden die meisten Kulturen von Winterweizen und –gerste mit Flufenacet behandelt (JKI 2024). Hierbei korreliert die Höhe des Eintrags von Flufenacet mit dem Anteil der Anbaufläche an Wintergetreide in der Umgebung. Am deutlichsten zeigt sich die Korrelation bei einem Umkreis von 3 km, weshalb diese Grafik hier gezeigt wird. Im Umkreis von 1 und 5 km ist die Korrelation ebenfalls gut zu erkennen (nicht abgebildet). Allgemein schwanken die Depositionsraten für Flufenacet zwischen allen Standorten weniger deutlich als die für Prosulfocarb.

Beim Fungizid-Metaboliten Prothioconazol-desthio gibt es eine noch stärkere Korrelation als für Flufenacet (s. Abbildung 21). Für den Wirkstoff Prothioconazol liegt der Behandlungsindex bei über 70 bzw. 85 % der Wintergetreidekulturen (JKI 2024).

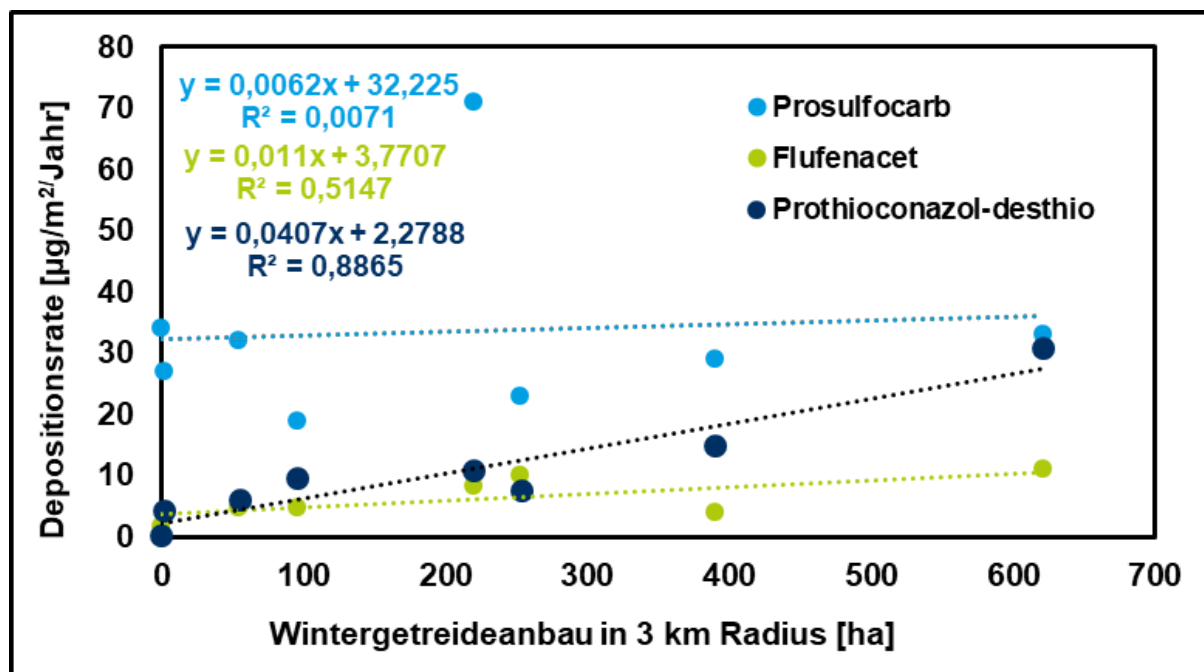


Abbildung 21: Gesamtdeposition [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] der Wirkstoffe Prosulfocarb, Flufenacet und Prothioconazol-desthio 2023 gegen die Anbaufläche von Wintergetreide [ha] im Umkreis von 3 km

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass ein Teil der PSM-Einträge ortsunabhängig erfolgt und nicht ausschließlich von der ortsnahen Anbaupraxis beeinflusst wird. Dazu zählen offensichtlich die Einträge des typischerweise im Maisanbau verwendeten Wirkstoffs Terbutylazin und dessen Metaboliten Desethylterbutylazin im Frühjahr/Sommer sowie des Vorlaufferbizids Prosulfocarb, welches in großen Mengen im Herbst/Winter gefunden wurde. Der Wirkstoff Flufenacet weist zwar eine gewisse Korrelation zur Anbaufläche auf, wird aber insbesondere im Herbst/Winter an allen untersuchten Messstationen gefunden. Der Fungizid-Metabolit Prothioconazol-desthio konnte gut mit der Anbaufläche an Wintergetreide korreliert werden. Weitere detailliertere Auswertungen, z. B. mit Hauptwindrichtungsvektoren, könnten in Zukunft noch genauere Aussagen ermöglichen.

3.1.5 Mischungstoxikologischer Stress für Bodenorganismen

Die Ergebnisse der Berechnungen zum mischungstoxikologischen Stress für Bodenorganismen sind in Tabelle 5 und 6 aufgeführt. In Tabelle 5 sind alle Einträge für 2023 aufsummiert worden und in Tabelle 6 die Summe der Einträge von Mai bis Juli dargestellt. Es zeigt sich, dass Würmer an allen Standorten die Organismengruppe mit dem höchsten mischungstoxikologischen Stress sind. Springschwänze belegen den zweiten Platz mit deutlich niedrigeren SUM TU und Raubmilben den dritten Platz. Für Raubmilben lagen für viele Stoffe keine ökotoxikologischen Daten vor. Die höchsten SUM TU wurden für die Standorte Gütersloh, Essen und Bocholt (landwirtschaftsnah) ermittelt, die niedrigsten für die Standorte Eifel und Hilchenbach. Tabelle 6 zeigt, dass der Großteil des toxikologischen Stresses im Zeitraum der Frühjahrsanwendung (Mai–Juli) vorhanden ist und somit in Zeiträumen, die die eingesetzten ökotoxikologischen Testverfahren abdecken. Der chronische Regenwurmversuch geht über einen Zeitraum von acht Wochen.

Auf das Jahr gerechnet sind die Treiber der Mischungstoxizität bei den Regenwürmern vor allem Prothioconazol-desthio, Flufenacet und Terbutylazin bzw. Desethylterbutylazin. Diese vier Stoffe machen i. d. R. den Großteil (ca. 90 %) der SUM TU aus. Betrachtet man einzelne Monate, verteilt sich die Gewichtung der einzelnen Stoffe auf die verschiedenen Anwendungsphasen im Jahr (z. B. Prothioconazol-desthio auf Frühjahr/Sommer und Flufenacet auf Herbst/Winter).

Tabelle 5: Mischungstoxikologischer Stress (SUM TU) der kumulierten Einträge aus dem Jahr 2023 für Bodenorganismen. Die Farbgebung dient lediglich der besseren Lesbarkeit der Tabelle (steigende Werte von grün zu rot).

	SUM TU Würmer	SUM TU Springschwänze	SUM TU Raubmilben
Bocholt	1,06E-03	3,79E-05	6,36E-06
Gütersloh	2,20E-03	5,40E-05	1,35E-05
Essen	1,77E-03	4,81E-05	6,14E-06
Langenfeld	7,57E-04	3,44E-05	7,48E-06
Osenberg	7,81E-04	3,15E-05	2,87E-06
Eifel	3,41E-04	1,47E-05	6,63E-07
Egge	9,53E-04	4,61E-05	4,40E-06
Hilchenbach	3,80E-04	6,84E-06	2,00E-06

Tabelle 6: Mischungstoxikologischer Stress (SUM TU) der kumulierten Einträge der Monate Mai–Juli 2023 für Bodenorganismen. Die Farbgebung dient lediglich der besseren Lesbarkeit der Tabelle (steigende Werte von grün zu rot).

	SUM TU Würmer	SUM TU Springschwänze	SUM TU Raubmilben
Bocholt	6,92E-04	5,85E-06	3,42E-06
Gütersloh	1,79E-03	2,47E-05	1,07E-05
Essen	1,34E-03	5,59E-06	2,93E-06
Langenfeld	3,32E-04	5,57E-06	2,46E-06
Osenberg	6,28E-04	3,92E-06	2,33E-06
Eifel	2,91E-04	1,52E-06	5,10E-07
Egge	7,79E-04	6,80E-06	3,83E-06
Hilchenbach	2,80E-04	3,00E-06	1,57E-06

Die Ergebnisse liefern einen ersten Hinweis auf einen Wirkungsbezug der eingetragenen PSM und Metaboliten für Bodenorganismen. Für die Berechnungen wurden verschiedene Annahmen getroffen, die die Aussagekraft einschränken. Zum einen wurde der Abbau der PSM und Metaboliten für die Betrachtungen vernachlässigt. Zum anderen ist unklar, ob die Stoffe sich in den oberen 2 cm Bodenschicht sammeln oder auch in tiefergelegene Bodenschichten verteilt werden oder in Pflanzen aufgenommen werden können. Die zugrundeliegenden ökotoxikologischen Daten für Bodenorganismen weisen große Datenlücken auf, was das Ergebnis ebenfalls beeinflusst. So liegen beispielsweise kaum Daten für Raubmilben vor und es gibt Datenlücken bei Metaboliten und einzelnen Wirkstoffen, z. B. fehlen chronische Regenwurmversuche für Prosulfocarb, da der Wirkstoff, laut Zulassungsbericht, eine kurze Halbwertszeit im Boden hat. Die Depositionsdaten zeigen

dagegen, dass Prosulfocarb in mehreren aufeinanderfolgenden Monaten nachweisbar ist, also durchaus chronische Relevanz in der Umwelt besitzen kann.

Der ermittelte Mischungstoxikologische Stress liegt deutlich unterhalb der im Labor beobachteten Wirkkonzentrationen der PSM und Metaboliten. Trotzdem konnte durch die durchgeführten Auswertungen eine erste Näherung zu einem konkreten Wirkungsbezug auf Bodenorganismen hergestellt werden. Im Rahmen einer Risikobetrachtung der Stoffkonzentrationen würden weitere Parameter und Sicherheitsfaktoren eingerechnet, welche das Ergebnis nochmal verändern würden.

3.2 Standardisierte Graskulturen

Es werden hier die Ergebnisse für das Jahr 2023 dargestellt. Auch in den Jahren 2021 und 2022 wurden bereits Graskulturen exponiert, allerdings gab es noch Herausforderungen mit der Probenvorbereitung und Analytik, so dass die Ergebnisse nicht so aussagekräftig waren wie die aus 2023. Im Jahr 2023 wurden die Graskulturen parallel zu den Niederschlagssammlern alle vier Wochen beprobt (insgesamt 5 Messsätze zwischen Mai und September). Alle Proben wurden schonend getrocknet (Gefriertrocknung), homogenisiert und anschließend per Multimethode auf PSM und Metaboliten untersucht.

Tabelle 7: In 2023 (April bis September) in Graskulturen nachgewiesene PSM und Metaboliten an den Messstationen [$\mu\text{g/kg TM}$]. TM = Trockenmasse.

Typ	Name	BO	GÜ	ES	LA	OS	EI	EG	HI
Herbizide	Metazachlor			9,0					
	Pendimethalin	2,1						1,7	
	Prosulfocarb		29						
	Terbuthylazin	1,9	1,9	20				44	
	Desethylterbuthylazin	5,9	6,4	21	23	2,0	2,1	7,7	6,3
Fungizide	Difenoconazol		2,9						
	Fluopyram		2,1	1,6				18	
	Propamocarb	2,7	13	1,9					1,2
	Prothioconazol-desthio	10	15	8,0	8,1	1,4	6,0	22	1,7
Wirkstoffe	Anzahl	5	7	6	2	2	2	5	3
Gehalt	[$\mu\text{g/kg TM}$]	23	70	62	31	3,4	8,1	54	9,2

An allen landwirtschaftsnahen und -fernen Messstationen wurden im Jahr 2023 mehrere PSM in den Graskulturen nachgewiesen. Insgesamt wurden acht PSM und zwei Metaboliten gefunden (s. Tabelle 7 und Abbildung 22).

Es wurden die vier Herbizid-Wirkstoffe Prosulfocarb, Terbutylazin, Metazachlor und Pendimethalin sowie der Metabolit Desethylterbutylazin gefunden. Der Gesamteintrag von Desethylterbutylazin war am höchsten (s. Abbildung 22).

Ähnlich hoch war der Eintrag des Fungizid-Metaboliten Prothioconazol-desthio. Es wurden noch drei weitere Fungizid-Wirkstoffe (Fluopyram, Propamocarb und Difenconazol) ermittelt.

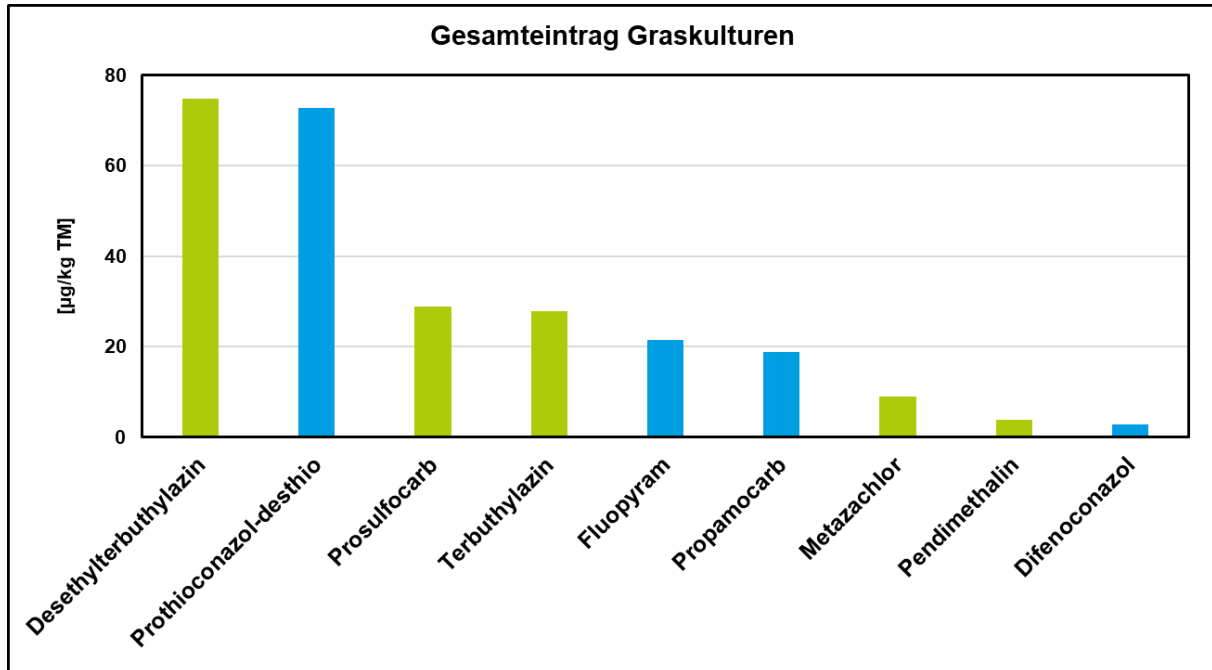


Abbildung 22: Gesamteintrag [µg/kg TM] in den Graskulturen aller Messstationen. TM = Trockenmasse

Die beiden Metaboliten Desethylterbutylazin und Prothioconazol-desthio wurden an allen acht untersuchten Messstationen gefunden. Die Anzahl der an den einzelnen Messstationen gefundenen PSM ist in Abbildung 23 dargestellt. In Gütersloh wurden die meisten Wirkstoffe (sieben) nachgewiesen. In Langenfeld, Osenberg und in der Eifel wurden jeweils nur zwei Metaboliten in den Graskulturen gefunden.

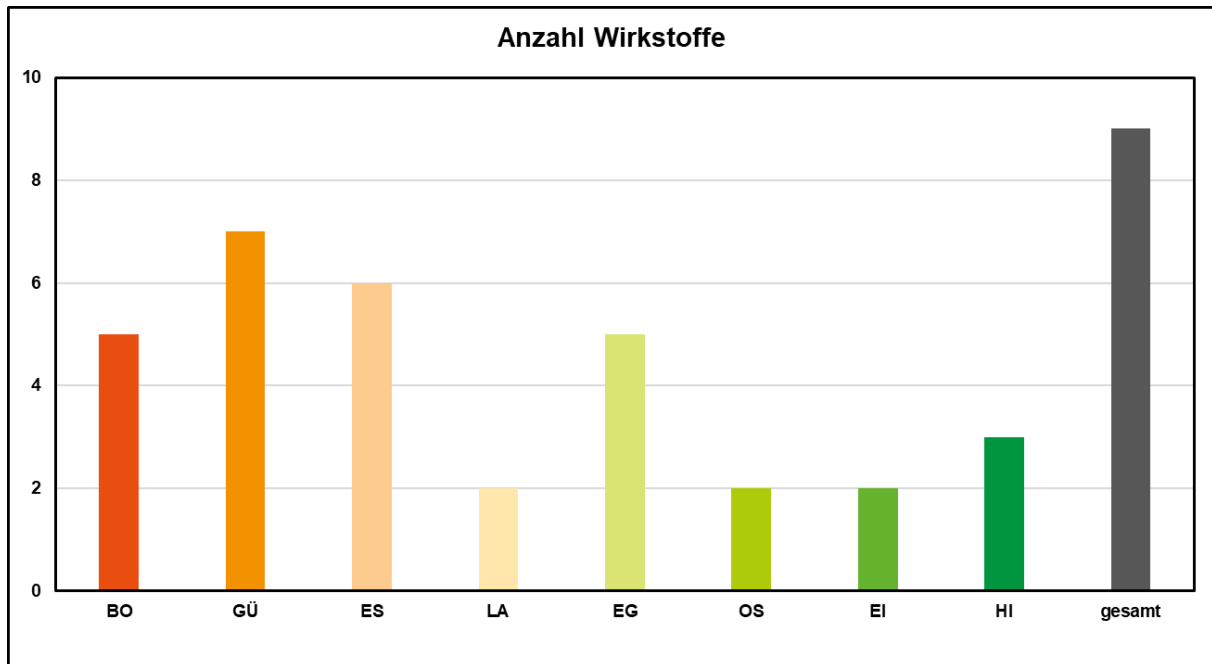


Abbildung 23: Anzahl der ermittelten PSM in den Graskulturen an den einzelnen Messstationen

An der Messstation Gütersloh wurde in den Monaten April–September auch die größte Menge an PSM und Metaboliten in der Deposition und in der Graskultur ermittelt (s. Abbildung 24). Ansonsten ist ein Zusammenhang zwischen den Mengen der ermittelten Einträge in der Deposition und in den Graskulturen an allen Messstationen vorhanden. So wurden beispielsweise an den landwirtschaftsfernen Messstationen Osenberg und Egge ähnliche Depositionsraten gefunden, aber in Osenberg ein deutlich geringerer Gehalt an PSM-Wirkstoffen und Metaboliten im Gras als in der Egge.

Generell wurden in den untersuchten Monaten in der Deposition mengenmäßig an allen Standorten hauptsächlich der Wirkstoff Terbutylazin sowie die Metaboliten Desethylterbutylazin und Prothioconazol-desthio gefunden.

Die Zusammensetzung der PSM, die in der Graskultur quantitativ erfasst wurden, war teilweise differenzierter als in der Deposition (s. Abbildung 24). So konnte beispielsweise in der Egge auch ein relativ hoher Eintrag des Herbizids Metamitron in der Graskultur ermittelt werden, der sich in den Bulk-Sammlern nicht zeigte.

Insgesamt betrachtet gab es in der landwirtschaftsfernen Messstation in der Egge sowohl in den Bulk-Sammlern als auch in der Graskultur verhältnismäßig hohe Einträge an PSM. Dies konnte auch schon im Jahr 2022 beobachtet werden. Offensichtlich wird diese Messstation, die auf dem Berg Velmerstot im Eggegebirge liegt, sehr gut aus den landwirtschaftlich geprägten Bereichen in der Umgebung angeströmt (vgl. Kapitel 3.1.2)

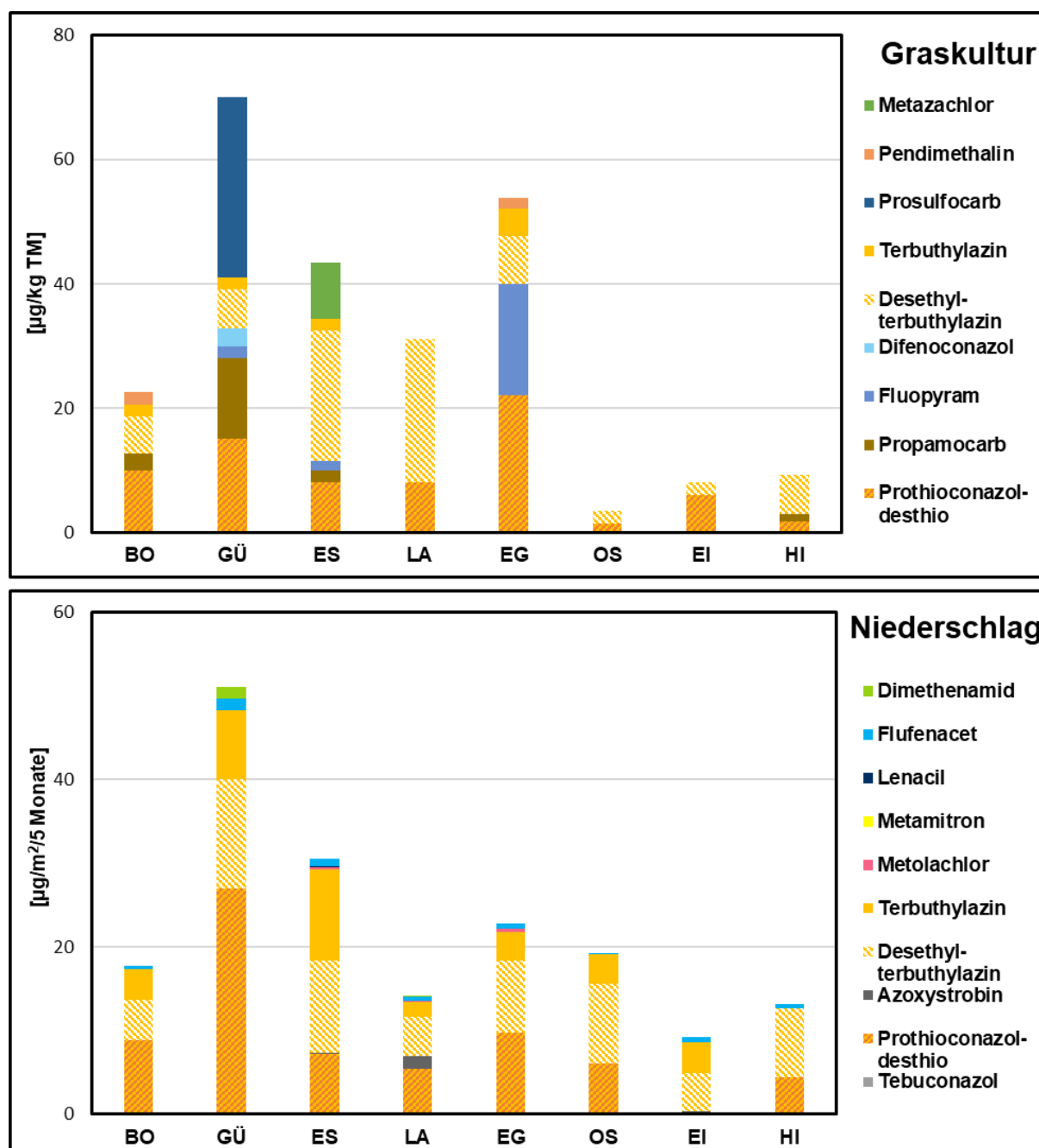


Abbildung 24: In Graskulturen (Trockenmasse, TM) und Niederschlag 2023 quantifizierte PSM und Metaboliten an den Messstationen

In einer anderen Untersuchung in NRW wurden deutlich mehr PSM im Pflanzenaufwuchs gefunden. Die dabei eingesetzten Analysemethoden ermöglichten niedrigere Nachweisgrenzen in der Pflanzenmatrix (WECF 2020). In dieser Untersuchung waren zehn Wirkstoffe für fast 90 % der Wirkstoffkonzentrationen in der Vegetation verantwortlich (WECF 2020). Den höchsten Anteil hatte in dieser Untersuchung Diphenyl, den zweithöchsten Pendimethalin. In der hier vorgestellten Untersuchung wurde Diphenyl nicht in den Graskulturen gefunden. Pendimethalin wurde an den Messstationen Bocholt und Egge ermittelt. In einer weiteren Untersuchung mit Aufwuchs wurden vor allem Terbuthylazin und Fluopyram in Aufwuchsproben nachgewiesen, beide Stoffe wurden auch in den vorliegenden Untersuchungen an mehreren Standorten gefunden (Bakanov et al. 2023). In einer Studie von

Mauser et al. (2025) wurden bei Untersuchungen im Rheintal 43 verschiedene PSM und Metaboliten in Aufwuchsproben gefunden. Viele der auch in den Graskulturen nachgewiesenen PSM wurden in der Studie auch in Aufwuchsproben gefunden (Fluopyram, Pendimethalin, Propamocarb, Azoxystrobin, Terbuthylazin, Tebuconazol, Dimethenamid und Metolachlor). Die in der vorliegenden Untersuchung gefundenen PSM und Metaboliten wurden überwiegend auch in anderen umweltexponierten Pflanzenproben nachgewiesen. Abweichungen ergeben sich aus unterschiedlichen analytischen Methoden, unterschiedlichem Pflanzenmaterial und dem Probenahmezeitpunkt. Insgesamt zeigen die Untersuchungen, dass der Einsatz von standardisierter Graskultur für das Monitoring von PSM-Einträgen ein wichtiger Baustein ist, da teilweise PSM erfasst werden, welche in den Niederschlagsproben, vermutlich aufgrund der analytischen Nachweisgrenze, nicht nachgewiesen wurden (z. B. Metamitron).

4 Zusammenfassung

In den Jahren 2021–2023 wurde in mehreren Projekten zum Monitoring von Pflanzenschutzmitteln im Niederschlag und in Bioindikatoren in selbst konstruierten Niederschlagssammlern monatlich die nasse und trockene Deposition gesammelt und auf PSM und deren Abbauprodukte untersucht. Diese kostengünstige Nachweismethode hat sich bewährt: Es wurden im gesamten Untersuchungszeitraum insgesamt 52 PSM und Metaboliten aus verschiedenen Wirkstoffklassen nachgewiesen. An den landwirtschaftsfernen Messstationen, die im Fokus dieser Untersuchung standen, wurden im Mittel weniger PSM und Metaboliten im Jahreslauf nachgewiesen als landwirtschaftsnah. Eine Ausnahme hiervon bildet der Standort Egge, bei dem es im Umkreis relativ wenig Ackerbauflächen gibt. Die exponierte Lage der Messstelle auf einem Berg führt jedoch dazu, dass 2023 16 PSM und Metaboliten quantitativ nachgewiesen wurden. Dies entspricht der durchschnittlichen Anzahl an gefundenen PSM an den landwirtschaftsnahen Messstationen

Während des dreijährigen Untersuchungszeitraums wurden zahlreiche PSM-Wirkstoffe und Metaboliten an allen Messstationen, auch den landwirtschaftsfernen, nachgewiesen. Aus der Gruppe der Herbizide waren es sieben Stoffe (Flufenacet, Lenacil Metolachlor, Pendimethalin, Prosulfocarb, Terbutylazin und dessen Metabolit Desethylterbutylazin) und aus der Gruppe der Fungizide acht (Azoxystrobin, Fluopyram, Flutolanil, Mandipropamid, Mefentrifluconazol, Propamocarb und Tebuconazol sowie der Metabolit Prothioconazol-desthio). Es wurde demnach eine NRW-weite Verteilung der Stoffe über einen atmosphärischen Transport nachgewiesen. Sofern weitere Stoffe in den Fokus rücken, können über die aufgezeichneten hochaufgelösten Rohdaten, retrospektive Auswertungen angestoßen werden.

Der monatliche Probenrhythmus zeigte zusätzlich, dass in den meisten Monaten während des dreijährigen Untersuchungszeitraums PSM in den Niederschlagssammlern nachgewiesen werden konnten. Neben den Einträgen im Frühjahr und Sommer wurden auch im vierten Quartal an allen untersuchten Messstationen die in diesem Zeitraum im Vorlauf eingesetzten Herbizide Prosulfocarb, Flufenacet und Pendimethalin gefunden. Die Depositionsraten dieser Substanzen waren verhältnismäßig hoch, was an hohen Aufbringungsmengen, aber möglicherweise auch an einem witterungsbedingt geringeren Abbau in dieser Jahreszeit liegen könnte.

Sowohl die in den Bulk-Sammlern gefundene Anzahl an PSM und Metaboliten als auch die ermittelten Depositionsraten stimmen gut mit den Daten von anderen Untersuchungen überein.

Parallel zu den Bulk-Sammlern wurden in allen Untersuchungsjahren zwischen Ende April und September auch Graskulturen an den Messstationen exponiert und auf PSM untersucht, wobei die Methodik und Analytik in den ersten beiden Jahren noch optimiert werden musste. Es konnten im Jahr 2023 an allen landwirtschaftsnahen und -fernen Messstationen PSM in den Graskulturen nachgewiesen werden. Insgesamt handelt es sich um acht PSM und zwei Metaboliten. Die beiden Metaboliten Desethylterbutylazin und Prothioconazol-desthio wurden an allen acht untersuchten Messstationen gefunden. An den Messstationen in Langenfeld, Osenberg und in der Eifel wurden jeweils nur diese zwei Metaboliten in den Graskulturen gefunden. In der Egge wurden mit fünf PSM und Metaboliten ähnlich viele Substanzen gefunden wie an den landwirtschaftsnahen Standorten.

Berechnungen zum Mischungstoxikologischen Stress der eingetragenen PSM und Metaboliten für Bodenorganismen zeigen, dass Würmer die höchsten TU aufweisen und dabei vier Stoffe einen Großteil der SUM TU erklären (Prothioconazol-desthio, Flufenacet und Terbutylazin sowie der Metabolit Desethylterbutylazin). Es zeigt sich auch eine Differenzierung nach landwirtschaftsnahen und -fernen Standorten. Die wirkungsbezogenen Auswertungen ermöglichten es die Depositionseinträge nach ihrer toxikologischen Relevanz für Bodenorganismen zu gewichten. Die Datengrundlage ist aber lückenhaft und es wurden zudem berechnete Bodenkonzentrationen der Wirkstoffe verwendet.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es auch an landwirtschaftsfernen Messstationen Einträge von PSM und Metaboliten gibt, die i. d. R. nicht aus dem direkten Umfeld stammen und offensichtlich über weitere Strecken verbreitet wurden. Dazu zählen insbesondere die im Herbst und Winter im Wintergetreideanbau eingesetzten Vorlaufherbizide Prosulfocarb, Flufenacet und Pendimethalin, die auch mengenmäßig in Deutschland zu den meistverkauften Wirkstoffen zählen. Ebenfalls weit verbreitet wird das vor allem im Maisanbau eingesetzte Herbizid Terbutylazin, von dem insbesondere in den Pflanzenproben hauptsächlich der Metabolit Desethylterbutylazin gefunden wurde. Zudem werden auch mehrere Fungizide und der Metabolit Prothioconazol-desthio an den landwirtschaftsfernen Standorten gefunden. Allgemein werden, verglichen mit den ausgebrachten Mengen, geringe Gehalte von PSM von den Ackerflächen ausgetragen. Diese Gehalte verteilen sich jedoch über weite Strecken auch in Gebiete von NRW in denen nur sehr wenig Ackerflächen vorhanden sind und kann dort im Niederschlag und Pflanzen (Graskulturen) nachgewiesen werden. Eine offene Frage ist, welche Einflüsse diese Einträge von PSM und Metaboliten auf die belebte Umwelt und damit auch die Biodiversität außerhalb der Anwendungsflächen haben kann. Zukünftig möchte sich das LANUK weiter mit dem Thema befassen und beispielsweise Bodenuntersuchungen zu PSM und Metaboliten durchführen, um mögliche über Deposition eingetragene PSM- und Metaboliten-Rückstände auch dort analysieren zu können.

5 Literatur

- Asman, Willem A. H.; Jørgensen, Andreas; Bossi, Rossana; Vejrup, Karl V.; Mogensen, Betty Bügel; Glasius, Marianne (2005): Wet deposition of pesticides and nitrophenols at two sites in Denmark: measurements and contributions from regional sources. In: *Chemosphere* 59 (7), S. 1023–1031. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.11.048.
- BAFU (2021): Pilot-Messungen von Pflanzenschutzmittel in Luft und Regen in der Schweiz. Bericht Pilotprojekt. Basel.
- Bakanov, Nikita; Honert, Carolina; Eichler, Lisa; Lehmann, Gerlind U. C.; Schulz, Ralf; Brühl, Carsten A. (2023): A new sample preparation approach for the analysis of 98 current-use pesticides in soil and herbaceous vegetation using HPLC-MS/MS in combination with an acetonitrile-based extraction. In: *Chemosphere* 331, S. 138840. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.138840.
- Beaumelle, Léa; Tison, Léa; Eisenhauer, Nico; Hines, Jes; Malladi, Sandhya; Pelosi, Céline et al. (2023): Pesticide effects on soil fauna communities—A meta-analysis. In: *J Appl Ecol* 60 (7), S. 1239–1253. DOI: 10.1111/1365-2664.14437.
- Brühl, Carsten A.; Bakanov, Nikita; Köthe, Sebastian; Eichler, Lisa; Sorg, Martin; Hörren, Thomas et al. (2021): Direct pesticide exposure of insects in nature conservation areas in Germany. In: *Scientific reports* 11 (1), S. 24144. DOI: 10.1038/s41598-021-03366-w.
- BVL: Absatzmengen von Wirkstoffen in Pflanzenschutzmitteln 1987 bis 2023. Hg. v. BVL. Online verfügbar unter https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/03_PSMInlandsabsatzAusfuhr/psm_PSMInlandsabsatzAusfuhr_node.html.
- BVL (2020): Machbarkeitsanalyse für ein Monitoring über Rückstände in unbehandelten Flächen und auf unbehandelten Kulturen über die Verfrachtung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen. Zur Information für die Öffentlichkeit. Unter Mitarbeit von H. Bolz und R. Kubiak.
- BVL (2023): Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. Abgerufen am 19.06.2023. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Online verfügbar unter <https://apps2.bvl.bund.de/psm/jsp/index.jsp>.
- BVL (2024a): Absatz an Pflanzenschutzmitteln in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der Meldungen gemäß § 64 Pflanzenschutzgesetz für das Jahr 2023. Hg. v. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit.
- BVL (2024b): Bericht zur Pilotstudie Verfrachtung von Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen über die Luft. Pilotstudie 2023. Hg. v. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit.
- Coscollà, Clara; Colin, Patrice; Yahyaoui, Abderrazak; Petrique, Olivier; Yusà, Vicent; Mellouki, Abdelwahid; Pastor, Agustin (2010): Occurrence of currently used pesticides in ambient air of Centre Region (France). In: *Atmospheric Environment* 44 (32), S. 3915–3925. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.07.014.
- Degrendele, C.; Okonski, K.; Melymuk, L.; Landlová, L.; Kukučka, P.; Audy, O. et al. (2016): Pesticides in the atmosphere: a comparison of gas-particle partitioning and particle size

- distribution of legacy and current-use pesticides. In: *Atmos. Chem. Phys.* 16 (3), S. 1531–1544. DOI: 10.5194/acp-16-1531-2016.
- DIN 38407-36, 2014-09: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Gemeinsam erfassbare Stoffgruppen (Gruppe F) - Teil 36: Bestimmung ausgewählter Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und anderer organischer Stoffe in Wasser - Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS bzw. -HRMS) nach Direktinjektion (F 36). Online verfügbar unter <https://www.dinmedia.de/en/standard/din-38407-36/208008665>.
- Froger, Claire; Jolivet, Claudy; Budzinski, Hélène; Pierdet, Manon; Caria, Giovanni; Saby, Nicolas P. A. et al. (2023): Pesticide Residues in French Soils: Occurrence, Risks, and Persistence. In: *Environmental science & technology* 57 (20), S. 7818–7827. DOI: 10.1021/acs.est.2c09591.
- Honert, Carolina; Mauser, Ken; Jäger, Ursel; Brühl, Carsten A. (2025): Exposure of insects to current use pesticide residues in soil and vegetation along spatial and temporal distribution in agricultural sites. In: *Scientific reports* 15 (1), S. 1817. DOI: 10.1038/s41598-024-84811-4.
- JKI (2024): Statistische Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. PAPA-Daten für 2022. Julius Kühn-Institut. Online verfügbar unter <https://papa.julius-kuehn.de>.
- Kreuger, Jenny; Lindström, B. (2019): Long-term monitoring of pesticides in air and atmospheric deposition in Sweden. IUPAC. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). IUPAC. Ghent, Belgium, 20.05.2019. Online verfügbar unter https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/ckb/publikationer/presentationer/presentation-luft_kreuger-iupac-2019.pdf.
- Kunkel (2021): PSM in Depositionsproben. 40. Sitzung des AK Umweltmonitoring. LfU Bayern. LfU, 26.11.2021.
- LANUV (2020): Bewertung der Mischungstoxizität in Oberflächengewässern. Ergebnisse für die Beispielgewässer Erft und Wupper. LANUV-Fachbericht 104. Unter Mitarbeit von Stefan Rhiem und N. Markert. Hg. v. LANUV NRW. Recklinghausen.
- Lewis, Kathleen A.; Tzilivakis, John; Warner, Douglas J.; Green, Andrew (2016): An international database for pesticide risk assessments and management. In: *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal* 22 (4), S. 1050–1064. DOI: 10.1080/10807039.2015.1133242.
- LfU (2019): Biomonitoring persistenter Schadstoffe. Immissionsökologisches Monitoring persistenter organischer und anorganischer Schadstoffe im Hintergrund und bei quellenspezifischer Belastung. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) (UmweltSpezial).
- LUGV (2015): Durchführung einer Bioindikation auf Pflanzenschutzmittelrückstände mittels Luftgüte-Rindenmonitoring, Passivsammlern und Vegetationsproben. Heft Nr. 147. Hg. v. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg.

- Mai, Carolin (2012): Atmospheric deposition of organic contaminants into the North Sea and the western Baltic Sea. Dissertation. University of Hamburg, Hamburg. Department of Chemistry.
- Mauser, Ken M.; Wolfram, Jakob; Spaak, Jürg W.; Honert, Carolina; Brühl, Carsten A. (2025): Current-use pesticides in vegetation, topsoil and water reveal contaminated landscapes of the Upper Rhine Valley, Germany. In: *Commun Earth Environ* 6 (1). DOI: 10.1038/s43247-025-02118-2.
- Mayer, Ludovic; Degrendele, Céline; Šenk, Petr; Kohoutek, Jiří; Přibyllová, Petra; Kukučka, Petr et al. (2024): Widespread Pesticide Distribution in the European Atmosphere Questions their Degradability in Air. In: *Environ Sci Technol* 58 (7), S. 3342–3352. DOI: 10.1021/acs.est.3c08488.
- TIEM (2020): Pestizid-Belastung der Luft. Eine deutschlandweite Studie zur Ermittlung der Belastung der Luft mit Hilfe von technischen Sammlern, Bienenbrot, Filtern aus Be- und Entlüftungsanlagen und Luftgüte-Rindenmonitoring hinsichtlich des Vorkommens von Pestizid-Wirkstoffen, insbesondere Glyphosat. Hg. v. Umweltinstitut München e.V. und Bündnis für enkeltaugliche Landwirtschaft e.V. München.
- Vašíčková, Jana; Hvězdová, Martina; Kosubová, Petra; Hofman, Jakub (2019): Ecological risk assessment of pesticide residues in arable soils of the Czech Republic. In: *Chemosphere* 216, S. 479–487. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.10.158.
- VDI 3957 Blatt 2, 2016: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Biomonitoring) - Verfahren der standardisierten Graskultur.
- WECF (2020): Insektenschwund und Pestizidbelastungen in Naturschutzgebieten in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz. Forschungsbericht. WECF e.V. München.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der WDMP-Messstationen	6
Abbildung 2: Anteile der Nutzungen im Radius von 1, 3 und 5 km um die untersuchten Messstationen (Auswertung von ATKIS® Daten 2023).....	7
Abbildung 3: WDMP-Messstation Bocholt	8
Abbildung 4: WDMP-Messstation Gütersloh.....	8
Abbildung 5: WDMP-Messstation Essen	9
Abbildung 6: WDMP-Messstation Langenfeld	9
Abbildung 7: WDMP-Messstation Osenberg	10
Abbildung 8: WDMP-Messstation Eifel	10
Abbildung 9: WDMP-Messstation Egge.....	11
Abbildung 10: WDMP-Messstation Hilchenbach.....	11
Abbildung 11: Niederschlagssammler am LANUK Essen in unmittelbarer Nähe zu einer landwirtschaftlichen Fläche.....	12
Abbildung 12: Standardisierte Graskultur im Pflanzcontainer am LANUK Essen.....	13
Abbildung 13: Gesamtdepositionsrate der PSM pro Standort pro Jahr [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] aufgetragen gegen den prozentualen Anteil der landwirtschaftlichen Fläche in einem Radius von 1 km in den Jahren 2022 und 2023	21
Abbildung 14: Gesamtdeposition [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] der quantitativ erfassten Wirkstoffe an allen Messstationen in den Jahren 2022 und 2023	28
Abbildung 15: Anzahl der erfassten PSM-Wirkstoffe und Metaboliten an den einzelnen Messstationen im Jahreslauf 2023.....	29
Abbildung 16: Depositionsraten [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Monat}$] der erfassten PSM-Wirkstoffe und Metaboliten an den einzelnen Messstationen im Jahreslauf 2023.....	30
Abbildung 17: Depositionsraten [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Monat}$] an den landwirtschaftsnahen (rot/orange) und –fernen (grün) Messstationen 2023, an denen der jeweilige PSM-Wirkstoff bzw. der Metabolit gefunden wurde	31
Abbildung 18: Absatz der nachgewiesenen PSM in Deutschland 2023 [t/Jahr].	32
Abbildung 19: Gesamtdeposition [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] der 8 häufigsten, quantitativ erfassten PSM-Wirkstoffe und Metaboliten (oben) an den Messstationen im Jahr 2023 sowie prozentuale Anbaufläche einzelner Kulturen im Radius von 1 km im Jahr 2023 (unten).....	35
Abbildung 20: Gesamtdeposition [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] des PSM Terbutylazin und seines Metaboliten Desethylterbutylazin 2023 gegen die Maisanbaufläche [ha] im Umkreis von 1 km	37
Abbildung 21: Gesamtdeposition [$\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] der Wirkstoffe Prosulfocarb, Flufenacet und Prothioconazol-desthio 2023 gegen die Anbaufläche von Wintergetreide [ha] im Umkreis von 3 km	38

Abbildung 22: Gesamteintrag [$\mu\text{g/kg TM}$] in den Graskulturen aller Messstationen.	41
Abbildung 23: Anzahl der ermittelten PSM in den Graskulturen an den einzelnen Messstationen	42
Abbildung 24: In Graskulturen (Trockenmasse, TM) und Niederschlag 2023 quantifizierte PSM und Metaboliten an den Messstationen	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In den Niederschlagsproben 2021 - 2023 nachgewiesene PSM und Metaboliten mit Angabe der Wirkstoffklasse und des Analyseverfahrens, das zum Nachweis führte. Bei Metaboliten wurde die Wirkstoffklasse der Ausgangssubstanz angegeben.....	16
Tabelle 2: In den Niederschlagsproben 2021 nachgewiesene Wirkstoffe an den Messstationen, x: qualitativer Nachweis ohne Depositionsberechnung. (BO=Bocholt, GÜ=Gütersloh, ES=Essen, LA=Langenfeld, OS=Osenberg, EI=Eifel, EG=Egge, HI=Hilchenbach).....	22
Tabelle 3: In den Niederschlagsproben 2022 nachgewiesene Wirkstoffe sowie Depositionsraten [$\mu\text{g/m}^2/\text{Jahr}$] an den Messstationen; x: nur qualitativer Nachweis mittels Non Target Analytik, *einzelne Monate nicht auswertbar, (BO=Bocholt, GÜ=Gütersloh, ES=Essen, LA=Langenfeld, OS=Osenberg, EI=Eifel, EG=Egge, HI=Hilchenbach).....	24
Tabelle 4: In den Niederschlagsproben 2023 nachgewiesene Wirkstoffe sowie Depositionsraten [$\mu\text{g/m}^2/\text{Jahr}$] an den Messstationen, x: nur qualitativer Nachweis mittels Non Target Analytik (in 2023 wurde eine geringere Auswahl an Stoffen untersucht) (BO=Bocholt, GÜ=Gütersloh, ES=Essen, LA=Langenfeld, OS=Osenberg, EI=Eifel, EG=Egge, HI=Hilchenbach).....	26
Tabelle 5: Mischungstoxikologischer Stress (SUM TU) der kumulierten Einträge aus dem Jahr 2023 für Bodenorganismen.	39
Tabelle 6: Mischungstoxikologischer Stress (SUM TU) der kumulierten Einträge der Monate Mai - Juli 2023 für Bodenorganismen.....	39
Tabelle 7: In 2023 (April bis September) in Graskulturen nachgewiesene PSM und Metaboliten an den Messstationen [$\mu\text{g/kg TM}$]. TM = Trockenmasse.....	40

Tabelle A1: Übersicht der nachgewiesenen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und Metaboliten. Das Zulassungsende ist das Datum an dem die Zulassung erlischt, in der Regel werden viele Stoffe erneut zugelassen. Bei Metaboliten wurden die Informationen zum Ausgangsstoff angegeben. Sollte eine Zulassung auslaufen gibt es eine Abverkaufs- und Aufbrauchfrist von mehreren Monaten. Bei den Kulturen nur explizite Nennung, wenn der Stoff nicht für eine Vielzahl von Kulturen zugelassen ist. Rot: Stoffe mit abgelaufener Zulassung (Stand Mitte 2025).

Typ	Name	Zulassung		Zulassungsende (EU) ²	Kulturen ³
		Beruflich	privat		
Insektizide	Dimethoat	x	x	30.06.2019	
	Flonicamid	x		30.11.2026	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau
	Pirimicarb	x		31.10.2026	Ackerbau (Getreide)
	Thiacloprid	x	x	03.02.2020	Aufbrauchfrist 03.02.2021
Herbizide	Aclonifen	x		31.10.2026	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Ackerbau
	Chlortoluron	x		15.08.2026	Ackerbau (Wintergetreide)
	Clomazone	x		30.09.2026	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Ackerbau
	Desphenylchloridazon	x		31.12.2018	Metabolit von Chloridazon
	Methyl-desphenylchloridazon	x		31.12.2018	Metabolit von Chloridazon
	Diflufenican	x		15.01.2026	Ackerbau, Zierpflanzenanbau, Nichtkulturland (Wege und Plätze mit Holzgewächsen und Gleisanlagen)

² <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/start/screen/active-substances> - das Zulassungsende ist bei nicht Verlängerung der Zulassung in der Regel gefolgt von einer Abverkaufs- und Aufbrauchfrist von mehreren Monaten (Stand Juni 2025)

³ <https://psm-zulassung.bvl.bund.de/psm/jsp/> anhand der BVL Zulassungsliste (Stand Juni 2025)

Typ	Name	Zulassung	Zulassungs- ende (EU) ²	Kulturen ³
		Beruflich privat		
	Dimethenamid	x	31.08.2034	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau
	Ethofumesat	x	31.10.2031	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Ackerbau
	Flufenacet	x	10.06.2025	Ackerbau; Aufbrauchfrist 10.12.2026
	Flufenacet-ESA	x	10.06.2025	Metabolit von Flufenacet
	Foramsulfuron	x	31.05.2035	Ackerbau (Rüben, Mais)
	Lenacil	x	30.06.2040	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau
	MCPA	x x	15.08.2026	Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau, Grünland, Hopfenanbau
	Metamitron	x	30.11.2026	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau
	Desamino-Metamitron	x	30.11.2026	Metabolit von Metamitron
	Metazachlor	x	31.10.2026	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Ackerbau
	Metazachlor ESA	x	31.10.2026	Metabolit von Metazachlor
	Metazachlor-Sulfonsäure	x	31.10.2026	Metabolit von Metazachlor

Typ	Name	Zulassung	Zulassungs- ende (EU) ²	Kulturen ³
		Beruflich privat		
	Metobromuron	x	31.05.2027	Ackerbau und Gemüsebau
	Metolachlor	x	22.01.2024	Ackerbau (Mais)
	Metolachlor ESA	x	22.01.2024	Metabolit von Metolachlor
	Metolachlor CA	x	22.01.2024	Metabolit von Metolachlor
	Metribuzin	x	24.11.2024	Ackerbau und Gemüsebau sowie Zierpflanzenanbau
	Nicosulfuron	x	31.03.2027	Ackerbau (Mais) und Zierpflanzenanbau
	Pendimethalin	x	15.01.2027	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau
	Pethoxamid	x	31.11.2033	Ackerbau und Zierpflanzenanbau
	Propazin		20.11.2002	
	Propyzamid	x	30.11.2027	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau; Forst, Wein
	Prosulfocarb	x	31.01.2027	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Ackerbau
	Terbuthylazin	x	31.05.2027	Ackerbau (Mais)
	Terbuthylazin-2- hydroxy	x	31.05.2027	Metabolit von Terbuthylazin
	Desethyl- terbuthylazin	x	31.05.2027	Metabolit von Terbuthylazin
	Triallate	x	31.03.2027	Seit 2003 keine Anwendung in Deutschland

Typ	Name	Zulassung	Zulassungs- ende (EU) ²	Kulturen ³
		Beruflich privat		
Fungizide	Azoxystrobin	x x	31.05.2027	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau; Forst, Wein
	Boscalid	x	15.04.2026	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau; Forst, Wein
	Cyflufenamid	x	30.06.2027	Ackerbau und Zierpflanzenbau, Wein
	Cyproconazol	x	31.05.2021	Ackerbau, Aufbrauchfrist 30.11.2022; bis 2020 in Holzschutzmitteln (Biozide) zugelassen
	2,6-Dichlorbenzamid			Metabolit von Fluopicolide (zugelassen bis 31.08.2026) und Dichlobenil (verboten seit 2004)
	Fluopyram	x	30.06.2026	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau; Wein
	Flutolanil	x	15.06.2026	Ackerbau (Kartoffel)
	Fluxapyroxad	x	31.10.2027	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Ackerbau; Wein
	Mandipropamid	x x	31.12.2025	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Ackerbau; Forst, Wein
	Mefentrifluconazol	x	20.03.2029	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Ackerbau; Forst, Wein

Typ	Name	Zulassung	Zulassungs- ende (EU) ²	Kulturen ³
		Beruflich privat		
	Propamocarb	x x	31.01.2027	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Ackerbau
	Prothioconazol- desthio	x	31.03.2027	Ackerbau und Gemüsebau sowie Zierpflanzenanbau; Metabolit von Prothioconazol
	Pyrimethanil	x	30.06.2026	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Ackerbau; Wein
	Trifloxystrobin	x x	31.07.2033	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau
	Tebuconazol	x x	15.06.2026	Gemüsebau und Zierpflanzenanbau sowie Obst- und Ackerbau, Wein In Holzschutzmitteln zugelassen (Biozid)

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesamt für Natur, Umwelt und Klima Nordrhein-Westfalen (LANUK NRW) Leibnizstraße 10, 45659 Recklinghausen Telefon 02361 305-0 E-Mail: poststelle@lanuk.nrw.de
Bearbeitung	Dr. Katja Hombrecher, Astra Segelcke, Helena Pannekens, Dr. Stefan Rhiem, Dr. Uwe Bieling (alle LANUK)
Stand	Juni 2025
Veröffentlichung	August 2025
Titelbild	LANUK
ISSN	3052-9409 (Online), LANUK-Fachberichte
Informationsdienste	Informationen und Daten aus NRW zu Natur, Umwelt und Klima unter • www.lanuk.nrw.de Aktuelle Luftqualitätswerte zusätzlich im • WDR-Videotext
Bereitschaftsdienst	Nachrichtenbereitschaftszentrale des LANUK (24-Std.-Dienst) Telefon 0201 714488

Landesamt für Natur, Umwelt und Klima
Nordrhein-Westfalen

Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
poststelle@lanuk.nrw.de

www.lanuk.nrw.de
